PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PAKET INFORMASI TERSELEKSI

ENERGI TERBARUKAN

Seri Artikel Jurnal bersumber dari:

Indonesia One Search
E-Resource Perpustakaan Nasional RI
Media Massa Online





Paket Informasi Terseleksi

Sumber Energi Terbarukan

Seri:
Kumpulan Artikel Bersumber dari Indonesia One Search(IOS), E-Resources, serta Media Massa Nasional Online

Paket informasi ini merupakan kumpulan artikel jurnal mengenai Sumber Energi Terbarukan, yang bersumber dari:Jenis-jenis sumber energi terbarukan,

1. Portal Jejaring Indonesia One Search (IOS)
2. E-Resources yang dilanggan Perpustakaan Nasional Republik Indonesia
3. Media Massa Nasional On-line

Pada paket ini terkumpul artikel jurnal sebanyak 228 (Dua ratus delapan delapan) judul, serta 23 berita dari media massa.

Topik Artikel Mengenai Sumber Energi Terbarukan dan Pemanfaatanya

Perpustakaan Nasional Republik Indonesia
Tahun 2023

Sumber Energi Terbarukan

Seri:
Kumpulan Artikel Bersumber dari Indonesia One Search (IOS)*, E-Resources, serta Media Massa Nasional Online*

Pengumpul Data

Tuty Hendrawati, S.Sos., MTI
Umbara Purwacaraka, S. I. Kom.

Pengemas:

Tuty Hendrawati, S.Sos., MTI

Validasi:

Dr. Ahmad Masykuri, SS, MM.

Desain Grafis dan Lay Out

Tri Susanti, S. Ds

Perpustakaan Nasional Republik Indonesia
Tahun 2023

Kata Pengantar

Paket Informasi ini merupakan kumpulan artikel jurnal dan berita mengenai Topik Sumber Energi terbarukan. Adapu ruang lingkup baatasan sub topik pada paket informasi ini meliputi: Jenis-jenis Sumber energi terbarukan, Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan, serta Pengembangan Sumber Energi Terbarukan yang tersedia dari alam serta bisa dimanfaatkan secara terus menerus.

Seri ini merupakan kumpulan artikel jurnal yang bersumber dari Portal Jejaring Nasional Indonesia One Search (IOS, E-resources yang dilanggan oleh Perpustakaan Nasional RI, serta Media Massa Nasional Online. Adapun jenis informasi yang terkumpul adalah artikel yang terkini serta retrospektif. Dengan berlandas manfaat atas berbagai informasi yang disajikan, maka Perpustakaan Nasional RI merasa tergugah untuk mengumpulkan seluruh informasi mengenai Seumber Energi Terbarukan

Kami berharap paket informasi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca. Kritik dan saran membangun kami nantikan perbaikan paket informasi selanjutnya.

Jakarta, Februari 2023

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Daftar Isi

HALAMAN JUDUL
INFORMASI PUBLIKASI
KATA PENGANTAR
DAFTAR ISI
I. CARA PENGGUNAAN

II. KUMPULAN ARTIKEL JURNAL DAN BERITA

A. KOLEKSI PORTAL JEJARING NASIONAL *INDONESIA ONE SEARCH* (IOS)

1. Analisa CFD Penggunaan Duct pada Turbin Kombinasi Darrieus-Savonius
2. Analisa Potensi Angin Dan Cahaya Matahari Sebagai Alternatif Sumber Tenaga Listrik Di Wilayah Laut Sawu
3. Analisa potensi energi terbarukan di kabupaten kaimana propinsi papua barat
4. Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan Wind Turbine Untuk Konversi Energi Pada Kapal Ikan Yang Menggunakan Sistem Pendingin Refrigrated Sea
5. Analisis Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Skala Rumah Tangga
6. Analisis Efisiensi Keluaran Energi Listrik Sistem Pembangkit Tenaga Pico Hydro Dengan Menggunakan Turbin Jenis Archimedes Screw
7. Analisis Karakteristik Elektrik Limbah Kulit Singkong Berbentuk Pasta Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Terbarukan
8. Analisis Kecepatan Angin Pesisir Pantai Monpera sebagai Sumber Energi Terbarukan Kota Balikpapan
9. Analisis open government pada direktorat jendereal energi baru, terbarukan dan konservasi energi, kementerian energi dan sumber daya miner
10. Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Subtitusi BBM
11. Analisis pengaruh konsumsi energi terbarukan dan energi tidak terbarukan terhadap gdp negara anggota oecd (organitation for economic co-op
12. Analisis Potensi Elektrik Berbagai Elektrolit Alam Sebagai Sumber Energi Terbarukan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

13. Analisis Potensi Energi Sinar Matahari Dan Energi Angin di Pusat Kota Semarang
14. Analisis Produksi Energi dari Inverter pada Grid-connected PLTS 1 MWp di Desa Kayubihi Kabupaten Bangli
15. Aplikasi teknologi tepat guna melalui pemanfaatan energi terbarukan untuk penerangan dan pengembangan wisata watu tekek kulonprogo
16. Audit Sistem Pencahayaan dan Sistem Pendingin Ruangan di Gedung Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Cilegon
17. Biobriket enceng gondok (eichhornia crassipes) sebagai bahan bakar energi terbarukan
18. Biogas kombinasi ampas tebu-kotoran sapi sebagai upaya konversi energi terbarukan
19. Biokonversi Limbah Tongkol Jagung Menjadi Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan
20. Biopellet bambu betung (dendrocalamus asper) sebagai sumber energi terbarukan
21. Crowdfunding sebagai pemaknaan energi gotong royong terbarukan
22. Desain Power Sistem PV pada DC Microgrid berdasarkan Kombinasi Supercapacitor dan Battery
23. Energi Terbarukan dan Ekonomi Syariah Sinergitas Mewujudkan Sustainable Development
24. Energi terbarukan dan pengurangan emisi gas rumah kaca dari palm oil mill effluent
25. Energi Terbarukan dari Jerami Padi Review Potensi dan Tantangan Bagi Indonesia
26. Evaluasi dan Usulan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Keberlangsungan Energi Nasional
27. Evaluasi Kebijakan Pembangunan Desa melalui Energi Terbarukan (Studi Kasus Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Desa Rawasari, Jambi)
28. Evaluasi Peraturan Pembelian Energi Terbarukan Pada Desa Peternak Sapi untuk Meningkatkan Keamanan Energi di Ciater, Subang
29. Evaluasi produksi listrik sumber energi terbarukan sel elektrokimia berbasis mikroba pada volume reaktor yang berbeda
30. Hybrid solar lighting sebagai alternatif teknologi penerangan alami bangunan untuk efisiensi energi dan pemanfaatan energi terbarukan
31. Identifikasi Sumber Energi Terbarukan (SET)
32. Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional
33. Implementasi rumah listrik berbasis solar cell
34. Jaringan mikro arus searah (dc microgrid) sebagai upaya ketersediaan energi listrik dalam pengembangan energi terbarukan
35. Kaji eksperimental mesin stirling tipe β menggunakan variasi bahan bakar biomassa

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

36. Kajian Peningkatan Potensi Ekspor Pelet Kayu Indonesia sebagai Sumber Energi Biomassa yang Terbarukan
37. Konsep Integrasi Pembangkit Berbasis Energi Terbarukan Sebagai Sistem Mikrogrid Di Kabupaten Pesisir Selatan
38. Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan
39. Konversi limbah plastik menjadi minyak sebagai bahan bakar energi baru terbarukan
40. Kulit durian sebagai bahan baku pembuatan bio-oil sumber energi terbarukan
41. Memahami Pembangunan Ekonomi Provinsi Nusa Tenggara Timur Berbasis Energi Baru dan Terbarukan
42. Menelisik dampak penggunaan energi terbarukan pada laporan keuangan
43. Mengembangkan Potensi Energi Terbarukan Di Jaringan Irigasi Dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh)
44. Mengukur dan merancang model ketahanan energi melalui perubahan perilaku konsumen energi terbarukan
45. Meningkatkan Keamanan Energi Melalui Perincian Indikator Energi Terbarukan dan Efisiensi Guna Membangun Ketahanan Nasional Dari Daerah
46. Mikroalga- sumber energi terbarukan masa depan
47. Mikroalgae sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan
48. Model Kebijakan Pengembangan Energi Baru dan Terbarukan di Provinsi Banten
49. Multi input energi terbarukan pada sistem dc bus menggunakan buck boost converter
50. Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya
51. Optimalisasi limbah serbuk kayu menjadi bioetanol sebagai energi alternatif terbarukan menggunakan distilasi gelombang mikro
52. Optimalisasi ruang terbuka hijau berupa taman energi baru terbarukan sebagai upaya pemanfaatan lahan kosong di lingkungan kampus (studi ka
53. Optimasi Sistem Cerdas Pada Pengering Tanaman Obat Berbasis Internet Of Thing dengan Memanfaatkan Sumber Energi Terbarukan
54. Optimasi Sistem Turbin Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan Metode Particle Swarm Optimization (PSO
55. Optimisasi energi terbarukan pada micro grid di pulau rakit indramayu menggunakan homer
56. Optimization of output power dual axis solar tracker with umbrella system
57. Pelatihan Pembuatan Bahan Bakar Minyak Nyamplung (Calophyllum inophyllum) bagi Masyarakat Banyuwangi Jawa Timur

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

58. Peluang Energi terbarukan di Industri Pemanfaatan Termal Surya Pada Proses Pengeringan Kayu
59. Pemanfaatan biomassa kayu sebagai sumber energi terbarukan
60. Pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber energi listrik pada desain kapal wisata di kepulauan riau
61. Pemanfaatan energi terbarukan untuk perancangan sistem rotary dryer pada tahap pengeringan daun teh hijau di Kulonprogo
62. Pemanfaatan Kotoran Ternak sebagai Energi Terbarukan Melalui Pembangunan Biodigester Komunal
63. Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Laut Atau Angin Laut dengan Pengendali Gravitasi Bumi
64. Pemberdayaan Masyarakat dengan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan pada Tambak Udang
65. Pembuatan dan pemasangan lampu tenaga surya di desa naluk kecamatan cimalaka kabupaten sumedang
66. Penelitian potensi energi arus laut sebagai sumber energi baru terbarukan di perairan toyapakeh nusa penida bali
67. Penerapan Algoritma SMARTER-ROC untuk Scoring Wilayah Potensial Pengembangan Energi Terbarukan dari Limbah Kelapa Sawit
68. Penerapan Energi Terbarukan untuk Proses Thermal Bagian I. Pengeringan Hasil Pertanian
69. Penerapan Teknologi Tepat Guna Berbasis Energi Terbarukan di desa Kiama Kabupaten Kepulauan Talaud
70. Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pirolisis Sampah Organik menjadi Bio-Oil sebagai Sumber Energi Terbarukan
71. Pengaruh Penambahan Minyak Kulit Pisang Terhadap Unjuk Kerja Mesin Diesel
72. Pengembangan bahan ajar ipa terpadu bebasis salingtemas dengan tema biomassa sumber energi alternatif terbarukan
73. Pengembangan Briket Bonggol Jagung sebagai Sumber Energi Terbarukan
74. Pengembangan energi terbarukan melalui evaluasi program konversi minyak tanah ke lpg di pulau gili raja-sumenep (developing renewable ener
75. Pengembangan sumber energi terbarukan secara desentralisasi untuk mewujudkan masyarakat mandiri energi
76. Pengujian Sistem Konversi Energi Suara menjadi Energi Listrik menggunakan Piezoelektrik
77. Penyimpanan Energi Listrik Dalam Bentuk Hidrogen Melalui Proses Hidrolisis Larutan Kalium Hidroksida
78. Peran Sumber Energi Terbarukan dalam Penyediaan Energi Listrik dan Penurunan Emisi CO2 di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta
79. Perancangan alat inducsion heating pada pengolahan teh sangrai dengan teknologi energi terbarukan (solar cell)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

80. Perancangan Konsep Alat Praktek PLTS Skala Rumah Tangga Berbasis PV Roof Top Installation
81. Perancangan Perahu Nelayan Ramah Lingkungan Menggunakan Motor Listrik Bertenaga Surya
82. Perancangan Thermoelectric Generator (TEG) sebagai Sumber Energi Terbarukan
83. Perbandingan harga energi dari sumber energi baru terbarukan dan fosil
84. Perubahan kuantitas dan nilai kalor char dengan variasi temperatur pada pirolisis limbah brem
85. Perubahan skema kerja sama pemanfaatan energi baru dan terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik menggunakan tenaga air
86. Pkm pelatihan pembuatan briket kulit kelapa sawit dalam mewujudkan alternatif energi terbarukan
87. PLN vs Energi Terbarukan Peraturan Menteri ESDM Terkait Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap
88. Potensi Energi Baru Terbarukan Untuk Pengembangan Pariwisata di Kota Ambon
89. Potensi energi terbarukan di kabupaten kediri propinsi jawa timur
90. Potensi Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan Di Wilayah Kalimantan Barat
91. Potensi pemanfaatan atap gedung untuk plts di kantor dinas pekerjaan umum, perumahan dan energi sumber daya mineral
92. Produksi gas metana dari limbah jerami padi dengan inokulasi mikroorganisme rumen sebagai sumber energi terbarukan
93. Prospek Keberlanjutan Wisata Energi Terbarukan Di Pantai Baru, Kabupaten Bantul
94. Prototype sumber energi solar cell sebagai penerangan untuk hama ladang bawang daerah pancalang kuningan
95. Rancang bangun dan implementasi kincir angin di pantai selatan jampang kulon
96. Rancang bangun sistem pengendali dan monitoring baterai dengan algoritma numerik untuk sumber energi listrik terbarukan
97. Rancang bangun solar tracker sumbu tunggal berbasis motor stepper dan real time clock
98. Review Potensi limbah Plastik dan Biomassa sebagai Sumber Energi Terbarukan Dengan Proses Pirolisis
99. Scoring keputusan penentuan pusat pengembang energi terbarukan berdasarkan cluster wilayah menggunakan metode sawp
100. Simulasi Sistem Hibrid Pembangkit Energi Surya, Angin, dan Generator Untuk Mengoptimalkan Pemanfaatan Daya Energi Terbarukan
101. Sistem Catu Daya Antarmuka Grid berdasarkan Energi Baru Terbarukan
102. Sosialisasi Pemanfaatan Energi Terbarukan Dan Pelatihan Teknologi Tepat Guna Berbasis Solarcell Untuk Pelajar SMPIT Ibnu Sina Merauke

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

103. Sosialisasi potensi energi terbarukan angin (bayu) antara universitas mataram (unram) bekersama dengan uversitas teknologi sumbawa (uts) d
104. Status Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan dan Opsi Nuklir dalam Bauran Energi Nasional
105. Strategi pengembangan energi terbarukan studi pada biodiesel, bioethanol, biomassa, dan biogas di indonesia
106. Studi Awal Pengolahan Sampah kota Sebagai Energi Baru Terbarukan Dengan Anaerobic Biodigester
107. Studi Biobriket Enceng Gondok (Eichhornia Crassipes) sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan
108. Studi Desain Generator Magnet Permanen Fluks Radial pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Kecepatan Putaran Rendah
109. Studi Eksperimental pada Emulator Surya Berdasarkan Intensitas Matahari Terhadap Unjuk Kerja Sel Surya 10 Wp Tipe Polycristalline
110. Studi Kelajuan Elektrolit Terhadap Kapasitas Baterai Dinamis Asam Timbal Sel Tunggal
111. Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Cilaki Kapasitas 5000 kW
112. Studi Pemanfaatan Catu Daya Hibrida PLTS 3,7 kWp Dan PLN Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Desa Pemecutan Kaja Denpasar Bali
113. Studi Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Sumber Biogas di Nagari Aie Tajun Kecamatan Lubuk Alung Kabupaten Padang Pariaman
114. Studi Perencanaan Atap Panel Surya di Hotel The Royale Krakatau Cilegon
115. Studi potensi limbah tembakau menjadi bio-oil menggunakan metode fast-pyrolysis sebagai energi terbarukan
116. Sumber daya wireless untuk menghasilkan energi listrik terbarukan
117. Sumber Energi Terbarukan dan Pupuk Organik dari Limbah Kotoran Sapi
118. Support Vector Regression untuk Prediksi Produktivitas Kelapa Sawit di Provinsi Riau
119. Survei Penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Di Tanah Laut Berdasarkan Citra Radar Banjarmasin
120. Tata kelola energi terbarukan di sektor ketenaglistrikan dalam kerangka pembangunan hukum nasional
121. Uji Unjuk Kerja dan Durability 5000 Km Mobil Bensin 1497 Cc Berbahan Bakar Campuran Bensin-Bioetanol
122. Upaya Pemanfaatan Sumberdaya Pedesaan Berbasis Pengembangan Kelompok Peternak melalui Pengolahan Limbah Kotoran Menjadi Produk Energi Terb
123. Variabilitas Angin dan Gelombang Laut Sebagai Energi Terbarukan di Pantai Selatan Jawa Barat

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

B. KOLEKSI ARTIKEL JURNAL E-REOURCES PERPUSTAKAAN NASIONAL RI

1) Jurnal Dalam Negeri Berbahasa Indonesia

1. A Renewable Energy Joint Strategy For The Implementation
2. Alokasi Optimal Dg Sumber Energi Terbarukan Menggunakan Algoritme
3. Alternatif Anoda Limbah Kulit Udang Dan Cangkang Telur
4. Analisis Dampak Sosial Ekonomi Budaya Kegiatan Eksplorasi Panas Bumi Di Wkp
5. Analisis Kecepatan Angin Pesisir Pantai Monpera Sebagai Sumber Energi
6. Analisis Kinerja Solar Cell Di Gedung Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia
7. Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif
8. Analisis Performa Model Eco-Cooler Sebagai Alterna
9. Biobriket Enceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Seb
10. Biodiesel Sebagai Sumber Energi Terbarukan Proses
11. Dampak Ekspansi Biomassa Sebagai Energi Terbarukan
12. Diseminasi Teknologi Energi Terbarukan Berbasis Sa
13. Efektivitas Pemanfaatan Energi Terbarukan Biogas D
14. Eksplorasi Potensi Nipah Untuk Restorasi Ekosistem
15. Energi Terbarukan Dan Ekonomi Syariah Sinergitas
16. Energi Terbarukan Dari Sampah Plastik Di Tpa Puuwa
17. Energi Terbarukan Peraturan Menteri Esdm T
18. Hambatan Penerapan Kebijakan Energi Terbarukan Di
19. Impact Of The Renewable Energy Sources On The Ener
20. Implementasi Kebijakan Energi Baru Dan Energi Terb
21. Implementasi Pompa Air Pada Tambak Udang Dengan Pe
22. Kajian Kelayakan Penempatan Solar Pond Sebagai Sum
23. Kajian Sinergitas Agroindustri Kelapa Sawit Dan Us
24. Keadilan Ekologis Dan Kebijakan Elektrifikasi Perd
25. Kelayakan Finansial Near Zero Energy Building Deng
26. Kinerja Pembangkit Biolistrik Salt Bridge Microbia
27. Konsep Legislasi Hijau Regional (Regional Green Le
28. Manfaat Sosial Ekonomi Energi Terbarukankasus Negara-Negara Asean
29. Menelisik Dampak Penggunaan Energi Terbarukan Pada
30. Menggali Potensi Energi Listrik “Energi Baru Terbarukan
31. Mengukur Dan Merancang Model Ketahanan Energi Melalui Perubahan Perilaku Konsumen Energi Terbarukan
32. Meningkatkan Keamanan Energi Melalui Perincian Ind
33. Metode Penelitian Untuk Energi Terbarukan
34. Mikroalga Sumber Energi Terbarukan Masa Depan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

35. Model Pemberdayaan Berbasis Pemanfaatan Sumberdaya
36. Optimasi Sistem Cerdas Pada Pengering Tanaman Obat
37. Optimisasi Energi Terbarukan Pada Micro Grid Di Pulau Rakit Indramayu Menggunakan Homer
38. Peluang Energi Terbarukan Di Industri Pemanfaatan Termal Surya Pada Proses Pengeringan Kayu
39. Pemahaman Siswa Pada Pemanfaatkan Energi Terbarukan Sebagai Energi Alternatif
40. Pemanfaatan Dan Penelitian Energi Medan Magnet Bumi Sebagai Sumber Energi Listrik
41. Pemanfaatan Energi Terbarukan Dalam Upaya Swasemba
42. Pemanfaatan Energi Terbarukan Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Komunitas
43. Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Energi Terbaruka Melalui Pembangunan Biodigester
44. Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu Didesa Ranjok Kecamatan Gunung Sari Lombok Barat
45. Pembuatan Mesin Pengering Kelapa Menggunakan Sumber Energi Terbrukan
46. Pendidikan Magister Energi Terbarukan Untuk Lintasan Karir Anda Di Era Milenial
47. Penerapan Teknologi Energi Terbarukan Melalui Model Science Techno Park
48. Pengaruh Jenis Bahan Pada Proses Pirolisis Sampah Organik
49. Pengaruh Penerapan Model Pembelajaran Project Based Learning
50. Pengembangan Desa Mandiri Energi (Dme) Berbasis Energi Terbarukan (Biogas) Di Desa Gunungsari Kota Batu
51. Pengembangan Potensi Energi Alternatif Dengan Pemanfaatan Limbah Cair
52. Pengembangan Teknik Kultivasi Spirulina Sp. Sebagai Sumber Biomassa Energi Terbarukan
53. Pengembangan Teknologi Energi Terbarukan Terpadu Melalui Pemanfaatan Mikrohidro Dan Biogas
54. Pengolahan Sampah Organik Menjadi Biobriket Sebagai Energi Terbarukan
55. Pengujian Sistem Konversi Energi Suara Menjadi Energi Suara
56. Peran Pemuda Dalam Pengembangan Eduwisata Energi Terbarukan Dan Implikasinya
57. Perancangan Thermoelectric Generator (Teg) Sebagai Sumber Energi Terbarukan
58. Pkm Pelatihan Pembuatan Briket Kulit Kelapa Sawit
59. Potensi Penerapan Energi Terbarukan Sebagai Upaya Mewujudkan Kemandirian Desa

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

60. Potensi Sumber Energi Terbarukan Dari Biomassa Yang Berasal Dari Sumber Daya Alam Di Balikpapan
61. Produksi Bioetanol Sebagai Energi Terbarukan Dari Rumput Laut
62. Prospek Utama Pengembangan Energi Terbarukan Di Negara-Negara Asean
63. Prototipe Sistem Monitoring Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro
64. Proyeksi Masa Depan Kendaraan Listrik Di Indonesia
65. Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan
66. Rancang Bangun Alat Uji Biomassa Untuk Mengetahui Emisi Gas Buang
67. Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Untuk Penggerak Pompa
68. Rancangan Alat Peraga Kapal Tenaga Surya Sebagai Media Konversi Energi
69. Review Potensi Limbah Plastik Dan Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dengan Proses Pirolisis
70. Sistem Biogas Sebagai Energi Terbarukan Skala Rumah Tangga
71. Sistem Kendali Distribusi Gas Buang Pada Waste Heat Recovery Power
72. Sosialisasi Dan Instalasi Panel Surya Sebagai Energi Terbarukan Menuju Kesadaran Lingkungan
73. Sosialisasi Pemanfaatan Energi Terbarukan Dan Pelatihan Teknologi Tepat Guna
74. Studi Potensi Energi Terbarukan Di Kawasan Timur Indonesia
75. Studi Potensi Energiangin Daerah Pantai Purworejo
76. Studi Potensi Hidrogen Air Laut Melalui Proses Elektrolisis Sebagai Energi Terbarukan
77. Studi Potensi Limbah Tembakau Menjadi Bio-Oil Menggunakan Metode Fast-Pyrolysis
78. Tata Kelola Energi Terbarukan Di Sektor Ketenaglistrikan
79. Transisi Energi Terbarukan Di Indonesia Dinamika
80. Transisi Energi Terbarukan Di Indonesia Dinamika Kendaraan Listrik Dengan Pendekatan Self-Organization Di Kota Jakarta
81. Upaya Pemanfaatan Sumberdaya Pedesaan Berbasis Pedesaan Berbasis Pengembangan
82. Upaya Pemanfaatan Sumberdaya Pedesaan Berbasis Pengembangan
83. Urgensi Pengaturan Pengembangan Energi Terbarukan
84. World On The Road To 100 Renewable Energy

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2) Jurnal Luar Negeri berbahasa Inggris

1. A multi-integrated renewable energy system in a commercial building in Beijing
2. A Review on Green Cooling Exploring the Benefits of suistainable
3. A Systematic Review of Carbon Capture, Utilization and storage
4. An Artificial-Intelligence-Based Renewable Energy prediction program for demand side
5. An Incentives Planning Framework for Residential Energy retrofits
6. Application research of compressed-air energy storrage under high proportion
7. Bibliometric Analysis of the Use of Biodiesel Production from essential oils as Biofuel
8. Clean Energy Based Multigeneration System for Susttainable cities
9. Community-Focused Renewable Energy Transition with virtual power plant in Australia Cit
10. Economic, environmental and energy analysis of the utilization
11. Energetic, environmental and economic aspects of a hybrid renewable energy
12. Green Conversion of Carbon Dioxide and Sustainable
13. Is Feed-In-Tariff Policy Effective for Increasing
14. Isolation and Characterization of Lignocellulolytic Bacteria
15. Medical and dental applications of renewable energy systems
16. Optimal integration of battery energy-storage system withhigh penetration
17. Portfolio optimization of power plants by using renewable energy in Iran
18. Potential for renewable energy–assisted harvesting of potatoes in Scotlands
19. Renewable Energy Systems Optimal Planning and Design
20. Tidal and Ocean Current Energy
21. Wind Energy and the Energy Transition Challenges and opportunities

C. BERITA MEDIA MASSA NAIONAL ONLINE

1. Alarm Krisis Iklim Makin Kencang, Transisi Energi Mendesak Dilakukan Halaman all - Kompas.com
2. Apa Saja Sumber Energi Terbarukan yang Ada di Indonesia Halaman all - Kompas.com
3. BRIN - BRIN Kaji Kesiapan Energi Terbarukan dan Nuklir
4. Butuh Upaya Out of The Box Capai Target Bauran EBT - Bisnis Liputan6.com

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

5. Catatan Akhir Tahun Melihat Capaian Energi Terbarukan 2022, Bagaimana Peluang Tahun Depan - Mongabay.co.id Mongabay.co.id
6. China akan Luncurkan Skema Percontohan Perdesaan untuk Energi Terbarukan
7. Data point renewable energy use is on the rise
8. DEN sebut Papua memiliki potensi besar pengembangan energi terbarukan - ANTARA News
9. Ini Cara Dorong Bauran Energi Nasional Lewat Pembangunan PLTS - Medcom.id
10. Jenis-Jenis Sumber Energi di Bumi, Terbarukan dan Tak Terbarukan - Ragam Bola.com
11. Kapasitas Produksi Energi pada Beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi di Indonesia - GoodStats Data
12. Kementerian ESDM RI - Media Center - Arsip Berita - Rencana Pengembangan Pembangkit Nasional Beri Porsi EBT Lebih Besar
13. Komitmen Hijau, Entitas TBS Utama (TOBA) Teken Pengembangan Energi Terbarukan
14. Mau Transisi Energi Jangan Sendirian! - Medcom.id
15. Miris! Punya Harta Karun Ini, Tapi RI Gak Punya Pabriknya
16. OPINI Catatan Atas Rancangan Undang-undang Energi Baru dan Terbarukan - Bisnis Liputan6.com
17. Pemanfaatan Energi Surya di Indonesia Masih Sulit Berkembang - Kompas.id
18. Pengembangan Energi Terbarukan Diberi Insentif - Kompas.id
19. Penyimpanan Energi, Kunci Menuju Integrasi Energi Terbarukan di Indonesia - Koran-Jakarta.com
20. Pertamina Buka Kompetisi Program PFsains SWA.co.id
21. PLTS Atap, Indonesia Perlu Belajar dari Pergulatan Vietnam
22. Produksi Energi Terbarukan di Seluruh Dunia Meningkat Signifikan pada 2022
23. Ramai-Ramai Mencuil Peluang Bisnis di Energi Baru Terbarukan - Page all

III. DESKRIPSI BIBLIOGRAFI

1. Portal Jejaring Nasional Indonesia One Search
2. E-Resources Perpustakaan Nasional Republik Indonesia
   a. Jurnal Dalam Negeri Berbahasa Indonesia
   b. Jurnal Luar Negeri Berbahasa Inggris
3. Media Massa Nasional Online

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

IV. INDEKS JUDUL

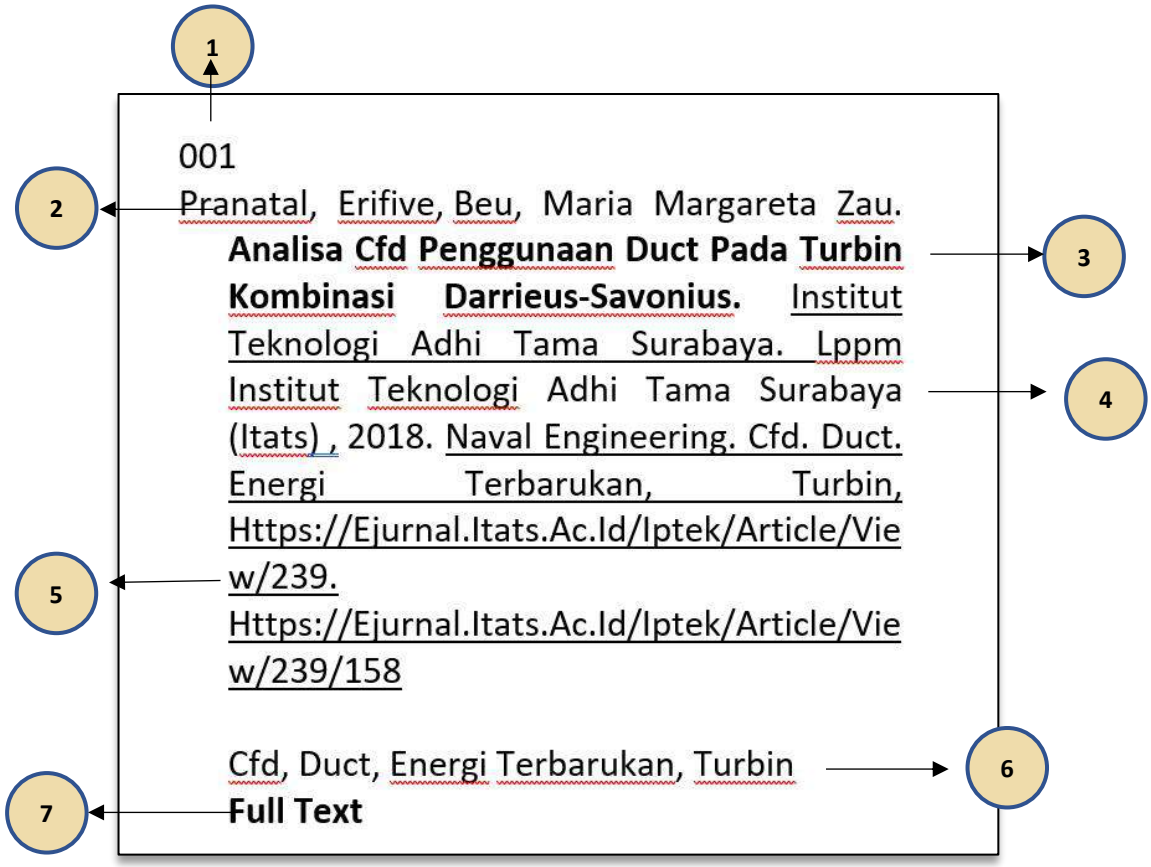
1. Portal Jejaring Nasional Indonesia One Search
2. E-Resources Perpustakaan Nasional Republik Indonesia
   a. Jurnal Dalam Negeri Berbahasa Indonesia
   b. Jurnal Luar Negeri Berbahasa Inggris
3. Media Massa Nasional Online

V. INDEKS PENGARANG

1. Portal Jejaring Nasional Indonesia One Search
2. E-Resources Perpustakaan Nasional Republik Indonesia
   a. Jurnal Dalam Negeri Berbahasa Indonesia
   b. Jurnal Luar Negeri Berbahasa Inggris
3. Media Massa Nasional Online

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PETUNJUK PENGGUNAAN





8

Keterangan:

1. Nomor Urut
2. Pengarang
3. Judul
4. Informasi Media (surat kabar)
5. Alamat link portal
6. Kata Kunci
7. Link ke dokumen full text
8. Tampilan Artikel Berita

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PAKET INFORMASI TERSELEKSI

ENERGI TERBARUKAN

Sumber Artikel Jurnal:

Indonesia One Search





JURNAL IPTEK
MEDIA KOMUNIKASI TEKNOLOGI
homepage URL : ejurnal.itats.ac.id/index.php/iptek



Analisa CFD Penggunaan *Duct* pada Turbin Kombinasi Darrieus-Savonius

Erifive Pranatal [1], *Maria Margareta Z.B* [2]

Jurusan Teknik Perkapalan, FTMK - Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya [1,2]

INFORMASI ARTIKEL

Jurnal IPTEK – Volume 22 Nomer 1, Mei 2018

ISSN:1411-7010
e-ISSN:2477-507X

Halaman:
63 – 70

DOI:
https://dx.doi.org/10.31284/j.iptek.2018.v22i1.239

EMAIL

erifive@itats.ac.id

RIWAYAT ARTIKEL

Tanggal diterima :
18 April 2018

Tanggal diterbit :
31 Mei 2018

PENERBIT

LPPM- Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Jurnal IPTEK by LPPM-ITATS is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

ABSTRACT

Renewable energy technology has been developed to reduce use of fossil energy. It has two advantages namely environmentally friendly and renewable. For example the use of marine current as a source of electricity by using a turbine. Several studies have been done to improve performance of turbine, for example the use of a duct. The duct amis to reduce torque ripple so that power does not have high fluctuations that result in excessive vibration in the turbine. Therefore the subject of this study is how the effect duct on Darrieus-Savonius combination turbine to reduce torque ripple factor (TRF) with the analysis of CFD. The simulation was performed on duct type 1, 2 and without duct with result of TRF is 3,939; 3,489 and 4,930. The conclusion that the use of duct on turbine can decrease torque ripple, where type 2 produces a smaller TRF namely, 3.489.

Keywords: *CFD, Duct, Renewable Energy, Turbine.*

ABSTRAK

Teknologi penggunaan energi terbarukan telah banyak dikembangkan untuk mengurangi penggunaan energi fosil. Keuntungan dari energi terbarukan ini adalah ramah lingkungan dan selalu tersedia. Contohnya penggunaan arus laut sebagai sumber tenaga listrik dengan menggunakan turbin. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan performa turbin, misalnya penggunaan *duct*. *Duct* digunakan untuk mengurangi riak torsi, sehingga daya yang dihasilkan tidak memiliki fluktuasi tinggi yang mengakibatkan getaran berlebih pada turbin. Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah bagaimana efek penggunaan *duct* pada turbin kombinasi Darrieus-Savonius untuk mengurangi faktor riak torsi (TRF) dengan analisa CFD. Simulas dilakukan pada *duc*t tipe 1, 2 dan tanpa *duct* dengan hasil masing-masing nilai TRF-nya 3,939; 3,489 dan 4,930. Kesimpulan bahwa pengggunaan *duct* pada turbin dapat menurunkan riak torsi, dimana *duct* tipe 2 menghasilkan TRF yang lebih kecil yakni 3,489.

Kata Kunci: CFD, Duct, Energi Terbarukan, Turbin.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi terbarukan untuk pembangkit tenaga listrik semakin banyak digunakan untuk mengurangi penggunaan energi fosil. Karena penggunaan energi fosil seperti bahan bakar minyak dan batubara dapat mencemarkan lingkungan dan juga menimbulkan efek rumah kaca yang mengakibatkan pemanasan global. Selain itu energi fosil juga diperkirakan akan habis. Sendangkan energi terbarukan seperti energi dari angin, cahaya matahari, arus laut, gelombang laut dan panas bumi adalah energi yang selalu tersedia dan tidak pernah habis. Pemerintah Indonesia juga semakin giat mengembangkan energi terbarukan ini. Misalnya pembangunan pembangkit listrik tenaga bayu

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

(PLTB) pertama di Indonesia yang terletak di Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan, dengan 30 kincir angin yang masing-masing menggerakkan turbin berkapasitas 2,5 megawatt, atau 75 MW untuk 30 turbin. Pembangunan tersebut telah dimulai sejak April 2016 dengan investasi senilai USD150 juta. Pembangunan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terbesar di Indonesia yang terletak di Kupang dengan total investasi US$ 11,2 juta. Pembangkit tenaga listrik ini mampu menghasilkan 5 MWp daya listrik dan mampu menyalurkan daya listrik 27% dari kapasitas normal walaupun dalam musim hujan. Pembangunan ini telah selesai dilakukan pada Juni 2016.

Energi terbarukan lainnya yang juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik adalah arus laut. Arus laut merupakan energi yang selalu tersedia dan tidak akan pernah habis. Potensi energi terbarukan dari arus laut dan gelombang air laut memiliki potensi sebesar 61 GW sendangkan yang telah terpasang 0,01 MW [1]. Data ini menunjukkan bahwa penggunaan energi terbarukan dari arus dan gelombang laut sangat rendah dibandingkan dengan energi terbarukan lainnya. Untuk mengubah arus laut tersebut menjadi energi listrik maka harus menggunakan turbin, dimana turbin mengubah energi kinetik dari arus laut menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Modifikasi turbin banyak dilakukan untuk mendapatkan turbin yang memiliki performa yang baik. Salah satunya adalah dengan mengkombinasikan dua model turbin vertikal Darrieus dan Savonius [2]. Hasil dari penelitian ini diperoleh turbin kombinasi yang miliki koefisien daya yang lebih tinggi dibanding dengna turbin Savonius sehingga cocok digunakan untuk arus laut kecepatan rendah. M.H. Mohamed [3] menelitian optimasi penggunaan 25 bentuk *airfoil* dan efek besar sudut *rotor* antara sudut -10° dan 10° pada turbin Darrieus untuk digunakan pada turbin angin kecepatan rendah. Penelitian ini akan mempelajari pengaruh penambahan *duct* pada turbin kombinasi Darrieus-Savonius. Penambahan *duct* tersebut akan membuat aliran air menjadi lebih terarah ke turbin tersebut, sehingga menggurangi fluktuasi daya yang mengakibatkan getaran berlebih pada turbin. Indikator ini dapat dilihat dari nilai faktor riak torsi yang dihasilkan turbin. Nilai faktor riak turbin yang kecil akan mengurangi fluktuasi daya dan getaran pada turbin. Untuk mengetahui hal tersebut dilakukan analisa CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan bantuan *software*. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan TRF pada *duct* tipe 1, tipe 2 dan tanpa *duct*, dimana nilai terkecil dari TRF menjadi indikator desain *duct* yang optimum.

TINJAUAN PUSTAKA

Turbine Sumbu Vertikal

Turbin sumbu vertikal adalah turbin yang sumbu putarnya terhadap arah vertikal. Turbin darrieus dan turbin savonius termasuk turbin sumbu vertikal. Turbin Darrieus memiliki koefisien daya yang tinggi dibandingkan dengan turbin sumbu vertikal lainnya. Sendangkan turbin Sanovius turbin yang cocok digunakan untuk arus kecepatan rendah. Performa turbin dapat dinilai dengan menghitung berapa energi kinetik dari arus air/luat yang dikonversikan menjadi aliran listrik. Performa dari turbin dapat diukur dengan dua parameter berikut ini: koefisien daya (Cp) dan koefisien torsi (Cm) dari turbin.

$$Cm = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho A_s D U^2} \quad \text{... (1)} \qquad Cp = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho A_s U^3} \quad \text{..... (2)}$$

Dimana:

Cm–koefisien torsi	D–diameter turbin (m)
T – torsi (Nm)	U–kecepatan arus (m/s)
A – luas *swept* (m^2)	P- daya (Watt)

Nilai torsi (T) dan daya (P) atau pembilang pada persamaan di atas adalah besaran yang diperoleh oleh turbin tersebut saat dioperasikan sendangkan penyebut-nya adalah total torsi atau daya yang dapat dikonversi oleh turbin.

Perhitungan Cm dan Cp dilakukan pada range *tip speed ratio* (λ) turbin. Tip speed ratio adalah perbandingan kecepatan sudut di ujung *rotor* dengan kecepatan arus sehingga λ dapat didefenisikan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega D}{2U} \quad \text{..... (3)}$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dimana:
λ – *tip speed ratio*
ω – kecepatan sudut (rad/s)
D – diameter turbin (m)

***Torque Ripple* (riak torsi)**

Daya sesaat yang dihasilkan oleh turbin sama dengan perkalian tursi sesaat dengan kecepatan sudut. Nilai ini tidak konstan karena torsi yang dihasilkan juga tidak konstan. Oleh karena itu salah satu kuantitas yang digunakan untuk menggambarkan perfoma turbin adalah riak torsi. Riak torsi adalah nilai dari torsi yang selalu berubah persatuan waktu. Nilai dari riak torsi (*torque ripple factor*) dapat difenisikan sebagai perbedaan antara torsi puncak Tmax dan torsi minimun Tmin dengan torsi rata-rata Tavg, dapat dilihat pada rumus berikut ini [4]:

$$TRF = \frac{Tmax - Tmin}{T} \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

Apabila torsi yang dihasilkan stabil/*steady* maka nilai dari TRF adalah satu. Efek dari perbedaan torsi riak yang tingg menyebabkan getaran pada turbin saat beroperasi. Hal ini akan menyebabkan kelelahan pada komponen turbin. Pengurangan riak torsi dapat meningkatkan koefisiend daya. Oleh karena itu penggunaan *duct* pada turbin diasumsikan akan mengurangi riak torsi.

***Model Computational Fluids Dymanics* (CFD)**

Studi eksperimen telah mengungkapkan bahwa aliran yang melalui turbin sangat kompleks. Oleh karen itu pemilihan model matematikan harus tepat untuk memprediksi performa turbin. Hal ini akan didiskusikan pada bagian ini.

Persamaan dasar yang mengatur aliran turbulen incompressible adalah persamaan kontinuitas dan momentum berikut ini:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho}\frac{\rho p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(-\overline{u_i' u_j'}\right) + \chi \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

Persamaan di atas dikenal sebagai persamaan momentum Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS). $-\overline{u_i' u_j'}$ adalah istilah tegangan Reynolds/Reynolds *stress* yang harus dimodelkan dengan menggunakan model turbulensi yang sesuai untuk memecahkan *"closure problem"*. Hal ini diketahui bahwa kinerja model turbulen k-ω lebih baik dari pada model k-ε didekat dinding/*wall*. Bagaimanapun, ada satu masalah dengan model k-ω, model ini sangat sensitif untuk nilai ω pada batasan irrotasional dari aliran geser/shear flows. Hal ini mendorong Menter (peneliti) untuk merumuskan sebuah model hdybrid yang menggabungkan kelebihan dari model k-ω dekat wall dan k-ε jauh dari wall. Model ini disebut dengan model SST (*Shear Stress Transport*), dengan kinerja yang baik pada *boundary layer* dan juga efektif dalam memprediksi pemisah (*separation*) oleh karena itu model ini dipilih sebagai model turbolen yang sesuai. Dalam penelitian ini k-ω STT digunakan. Persamaan model ini dapat dilihat di bawah ini:

$$\frac{\partial (u_i)}{\partial k_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\Gamma_k}{\rho}\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) + P + Y_k \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

$$\frac{\partial (\omega u_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\Gamma_k}{\rho}\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) + G_\omega - Y_k + D_\omega \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

Persamaan ini diselesaikan menggunakan CFD solver komersial, dimana persamaan Navier-Stokes menggunakan teknik *finite volume*. Detail dari model numerik dan strategi solver yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Model numerik dan *detail solver*

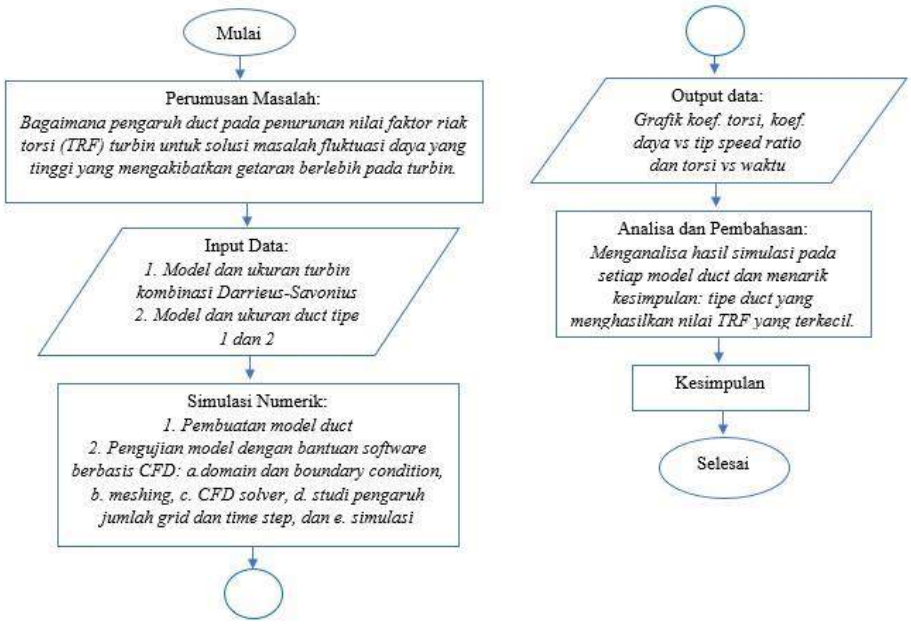
No	Tipe Solusi	*Sliding Mesh*
1	*Transient*	*2nd order implicit*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2	*Turbulence*	*k-ω based SST*
3	*Pressure*	*2nd order*
4	*Momentum*	*2nd order*
5	*ω*	*2nd order*
6	*k*	*2nd order*
7	*P-V Coupling*	*Pressure based non segregated*

METODE

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Desain – Dimensi Turbin dan *Duct*

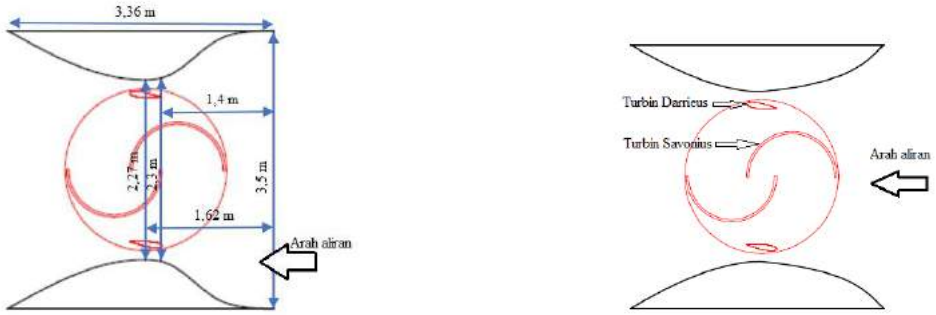
Simulasi CFD dilakukan pada kondisi turbin tanpa menggunakan *duct* dan dengan menggunakan *duct*. Penelitian ini mengunakan model dua dimensi (2D) dengan skala penuh. Ukuran dari turbin dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. Ukuran dan model turbin kombinasi Darrieus-Savonius

No	Item	Nilai
1	*Rotor Diameter (D) [m]*	2
2	*Rotor height (H) [m]*	1
3	*Type blade section*	NACA 0018
4	*Blade chord (c) [m]*	0,4
5	*Number of blade*	2
6	*Pitch anggle of blade*	-8°
7	*Puddle Savonius Diameter [m]*	0,4
8	*Number of puddle*	2

Pemilihan ukuran dari *duct* dilakukan dengan mempertimbangkan geometri dari turbin. Ada dua tipe saluran dalam *duct* yang akan disimulasikan dalam penelitian ini. Model turbin dan *duct* dapat dilihat pada gambar berikut ini:

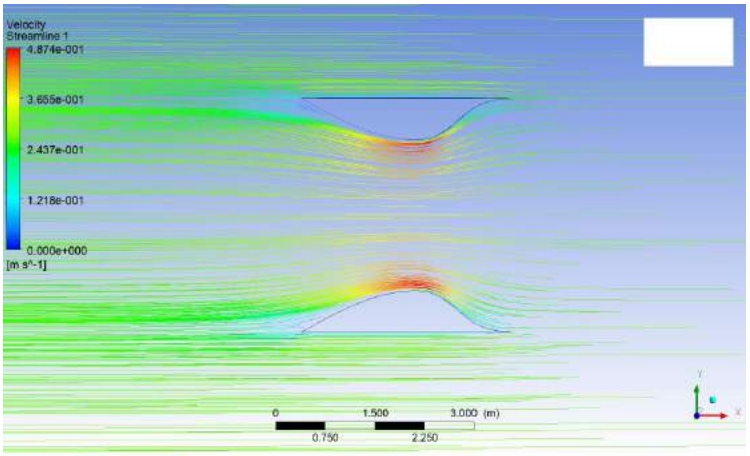
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(a) (b)

Gambar 2.(a) Sketsa *duct* dengan ukurannya – tipe 1, (b) Sketsa *duct* – tipe 2

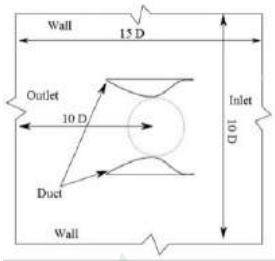
Untuk mempertimbangakan posisi turbin pada saluran *duct* maka dilakukan analisa kecepatan *streamline* pada *duct* tanpa turbin. Posisi turbin akan ditempatkan pada aliran dengan kecepatan lebih besar dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3. Kecepatan *streamline* di dalam saluran *duct* tanpa turbin.

Computational Domain dan *Boundary condition*

Performa turbin akan diukur dengan menggunakan parameter Cp dan Cm pada tiap-tiap TSP dan juga faktor riak torsi. Dimana kecepatan arus laut konstan yaitu 0,269 m/s yang merupakan kecepatan rata-rata arus laut yang diukur pada bagian barat pulau Giliyang, Madura. Sebagai dasar pertimbangan bahwa pulau tersebut belum terlayani oleh perusahaan listrik negara.
Simulasi CFD dalam penelitian ini mengunakan model dua dimensi (2D) dengan skala penuh. Untuk mewaliki kondisi laut terbuka maka ukuran domain yang dipertimbangkan harus berukuran besar, dimana panjang domain 15 D dan lebar 10 D, D adalah diamter turbin. Ukuran domain dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 4. Ukuran dari *Computational domain* simulasi CFD dari turbin
Adapun definisi dari *boundary condition* yang digunakan dalam simulasi ini ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. *Boundary condition*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

No	*Boundary condition*	Definisi
1	*Inlet*	Kecepatan aliran yang masuk ke dalam domain
2	*Outlet*	*Static pressure* = 0 Pa
3	*Walls*	*Symmetry*
4	Turbin	*No slip condition* *Walls motion: Moving wall* *Motion: Rotational*

Meshing

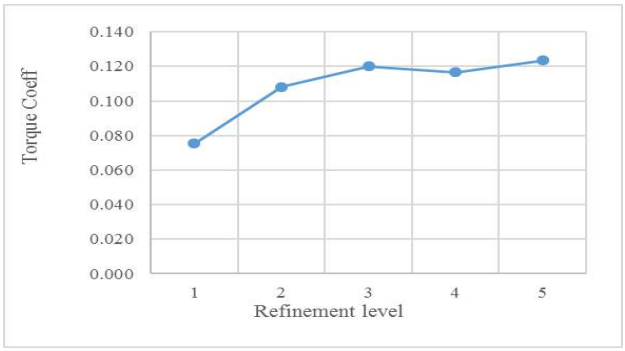
Grid atau *mesh* menunjukkan sel atau elemen pada aliran yang dipecahkan. *Grid* adalah representasi diskrit dari masalah geometri. Grid memiliki sel yang dikelompokkan ke dalam zona batas yang akan diaplikasikan misalnya rotating domain/zona atau fixed domain/zona. Grid memiliki dampak yang sangat signifikan pada tingkat konvergensi, akurasi solusi atau hasil perhitungan simulasi dan juga biaya waktu CPU yang dibutuhkan (*CPU time required*).
Tipe *grid* yang dipilih adalah *meshing triangles* dengan pertimbangan tipe ini cocok untuk fluida cair. Grid disekitar turbin harus diperhatikan, dimana jenis grid yang dipilih adalah *inflation layer*. Hal ini dilakukan untuk menangkap fenomena fisik pada lapisan batas antara fluida dan benda (turbin). Parameter yang digunakan untuk mengukur fenomena ini adalah *Y-plus*. Nilai ini berpengaruh pada akurasi hasil perhitungan. Untuk analisa CFD turbin nilai y-plus tidak kurang dari 5. Pada simulasi ini tinggi *first layer* adalah $9x10^{-5}$ dengan *y-plus* sebesar 4,39. Selain itu kualitas grid harus diperhatikan. Variabel yang digunakan adalah *aspect ratio* dan *skewness*. Masing-masing nilai tidak boleh kurang dari 10 dan 0,98. Pada penelitian ini *aspect ratio* dan *skewness* yang diperoleh adalah 9,03 dan 0,775.

Model CFD dan Detail Solver

Tingkat konvergensi diartikan bahwa perhitungan komputasi telah selesai dilakukan. Tingkat konvergensi dipengaruhi oleh kualitas *meshing*, ukuran *time step*, dan jumlah iterasi. Nilai konvergensi pada penelitian ini 10^{-4}. Model turbulen *k–ω based SST* dipilih untuk menyelesaikan simulasi ini karena mampu menangkap *boundary layer* disekitar turbin.

Studi pengaruh jumlah grid dan time step

Studi grid yang dimaksud adalah pengaruh jumlah grid model pada hasil simulasi yakni koefisien torsi. Peningkatan jumlah grid tidak lagi mempengaruhi nilai koefisien torsi (Cm). Dimana perubahan Cb tidak lebih dari 3%. Gambar di bawah ini memperlihatkan hasil dari studi *grid independence*. Jumlah grid pada level *refinement* 3 apabila ditingkatkan tidak lagi menimbulkan peningkatan nilai Cb secara signifikan, dimana perubahannya hanya 2,862%. Jumlah grid pada level 3 adalah 53.6916.



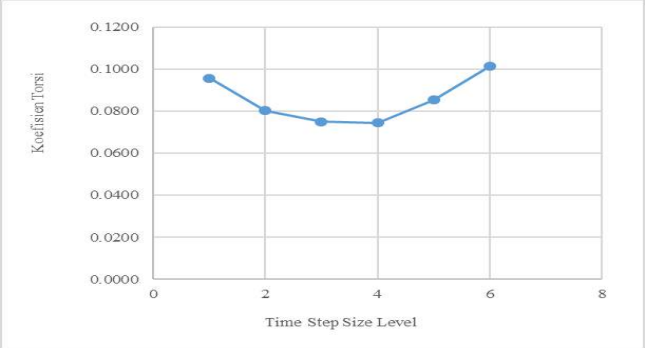
Gambar 5. Studi *grid independence*

Demikian juga dilakukan terhadap *time step* pada saat simulasi *transient*. Dimana perubahan time step tidak lagi mempengaruhi nilai koefisien torsi sebesar 5%. Untuk mengestimasi besaran time step digunakan *courant number*. Nilai ini berkisar antara 2 – 10. Apabila nilainya lebih kecil maka ukuran dari time step akan semakin kecil.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

$$CN = \frac{Kecepatan\ Fluida \times Time\ Step}{Ukuran\ mesh\ terkecil} \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

Gambar 6 menunjukkan bahwa pada level tiga dimana ukuran time step 0,07 detik apabila dirubah menjadi 0,06 perubahan koefisien torsi hanya sebesar 0,652.



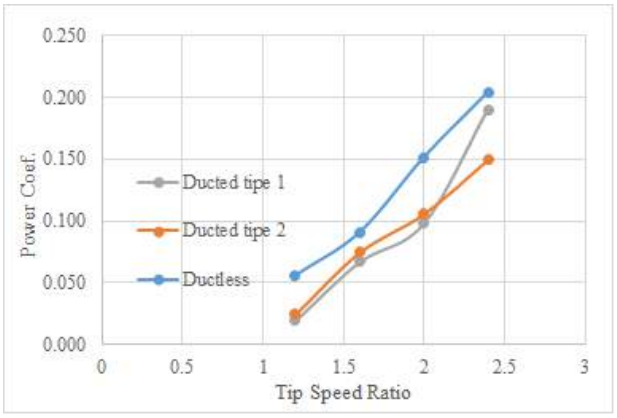
Gambar 6. Studi *time step independence*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Koefisien torsi dan koefisien daya yang dihasilkan oleh turbin *duct* tipe 1, 2 dan tanpa *duct* dapat dilihat pada gambar 7 dan 8 di bawah ini:

s

Gambar 7. Koefisien torsi turbin *versus tip speed ratio*

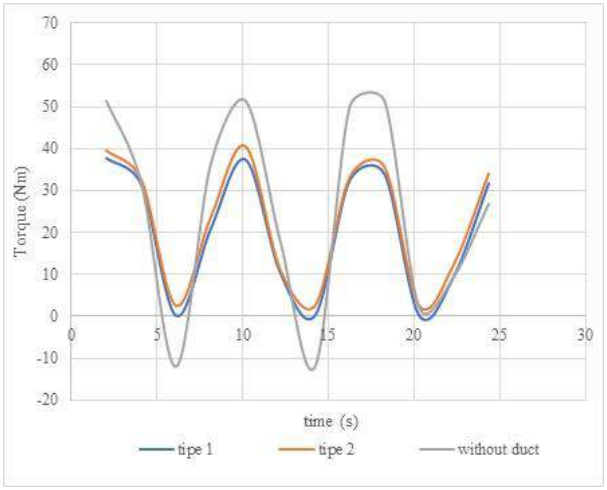


Gambar 8. Koefisien daya turbin *versus tipe speed ratio.*

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, menunjukkan bahwa turbin tanpa *duct* menghasilkan koefisien torsi dan koefisien daya yang lebih tinggi dibanding yang lain. Hasil ini untuk *tip speed ratio* sampai 2,4. Tetapi tren dari kurva turbin dengan *duct* tipe 1 menunjukkan kenaikan yang signifikan dibandingkan dengan kurva dari turbin tanpa *duct*. Apabila TSR diperbesar nilainya, maka koefisien torsi dan koefisien daya dari turbin denagn *duct* tipe 1 akan melebihi dari turbin tanpa *duct*. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan *duct* pada turbin akan lebih efektif atau menghasilkan koefisien torsi dan daya yang lebih baik bila nilai *tip speed ratio* lebih dari 2,5. Ini berarti penggunaan *duct* tipe 1 akan efisien pada kecepatan sudut turbin yang besar.

Riak torsi merupakan parameter yang menetukan apakah turbin menunjukkan performa yang baik seperti yang telah dibahas pada pembahasan sebelummnya. Gambar 9 menunjukkan riak torsi yang dihasilkan oleh turbin turbin *duct* tipe 1, 2 dan tanpa *duct.*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 9. Riak torsi yang dihasilkan oleh masing-masing turbin versus waktu pada TSP 1,6 dan U 0,269 m/s

Sendangkan untuk nilai dari faktor riak torsi (TRF) seperti pada rumus (4) masing-masing turbin dengan *duct* tipe 1, tipe 2 dan tanpa *duct* adalah sebagai berikut: 3,939; 3,489 dan 4,930. Turbin dengan *duct* tipe 2 menghasilkan TRF yang lebih rendah. Artinya fluktuasi torsi lebih rendah dibandingkan tipe 1. Sehingga dapat disimpulkan penambahan *duct* pada turbin dapat meningkatkan kinerja turbin yaitu penurunkan nilai dari riak torsi sehingga torsi dan daya yang dihasilkan lebih stabil.

KESIMPULAN

Penggunaan *duct* pada turbin kombinasi Darrieus-Savonius dapat meningkatkan performa turbin tersebut, dengan TRF 3,489 untuk *duct* tipe 2. Sendangkan untuk turbin tanpa *duct* TRF-nya 4,930. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan *duct* pada turbin efektif untuk meningkatkan performa turbin.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kajur Teknik Perkapalan ITATS, Rektor ITATS dan juga Ketua Yayasan Pendidikan Teknik Surabaya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Badan Litbang ESDM, "Buku Tahunan Penelitian Dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral 2014".[Online],
Available: http://webpac.lib.itb.ac.id/index.php/bibliografi/detail/117977

[2] Erifive Pranatal, Zuhdi Aguk MF. "Numerical Study Darrieus-Savonius as a Low Speed Marine Current Energy Converter". *The 2nd ISST 2016*, ITS-Surabaya, 2 Agustus 2016.

[3] M H Mohamed, A M Ali, A A Hafis. "CFD analysis for H-rotor Darrieus turbine as a low speed wind energy converter", *Engneering Science and technology, an international journal.*, vol 18 issue 1, p. 1-13, March 2015.

[4] A R Malipeddi, D Chatterjee."Influence of *Duct* Geometry on The Performance of Darrieus Hydroturbine. *Journal of Renewable Energi*. no 43, p. 292-300, July. 2012.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Received : Maret 2018	Accepted : April 2018	Published : April 2018

Analisa Potensi Angin dan Cahaya Matahari Sebagai Alternatif Sumber Tenaga Listrik di Wilayah Laut Sawu

Wira Setiawan[1*], Rio Hermawan[2], Suardi[3]
[1]*Institut Teknologi Kalimantan*

[*]*wira@itk.ac.id*

Abstract

Sawu sea, consists of Kupang Island, Sumba Island, Rote Island, Sawu Island and Timor Island, has potential renewable energies form wind and sunlight. Those energies can be utilized as the benign electricity sources for shipping industry, including ferry ship which is the main transportation mode ensuring the connectivity of Sawu Sea.In order to utilize renewable energy on board, an analysis of wind and sunlight potentials needs to be conducted including the power distribution scheme on the ferry. This study discusses wind speed data processing and sunlight intensity obtained from local BMKG. Power calculation process is done by Rayleigh probability distribution method to obtain the optimal value generated by wind turbine and solar cell which is then adjusted to power requirement of lighting and navigation at the space of ferry existing ship. The result shows that every single wind turbine and solar cell can generate 13.3 kWh and 2.62 kWh respectively. Hence, by using4 wind turbinesand 56 solar modules according to available space on board, 200.08 kWh of power can be supplied for lighting and navigation on the ferry.

Keywords *:Ferry Ship, Wind Turbine, Solar Cell, Sawu Sea, Renewable Energy*

Abstrak

Perairan laut Sawu yang terdiri dari Pulau Kupang, Sumba, Rote, Sawu dan Timor memiliki potensi sumber daya energi terbarukan yang berasal dari angin dan intensitas cahaya. Energi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik yang ramah lingkungan untuk industri pelayaran, termasuk kapal feri yang merupakan moda transportasi utama untuk menjamin konektivitas wilayah laut Sawu. Untuk dapat memanfaatkan energi terbarukan di kapal, maka analisa potensi angin dan cahaya matahari perlu dilakukan termasuk skema distribusi daya pada kapal feri tersebut. Penelitian ini membahas pengolahan data kecepatan angin dan intensitas cahaya yang diperoleh dari BMKG setempat. Proses perhitungan daya dilakukan dengan metode distribusi probabilitas Rayleigh untuk mengetahui nilai optimal yang dihasilkan oleh turbin angin dan modul surya yang kemudian disesuaikan dengan kebutuhan daya untuk penerangan dan navigasi pada space kapal feri eksisting. Hasil penelitian menunjukkan bahwa satu unit turbin angin dapat menghasilkan 13.3 kWh sedangkan panel surya sebesar 2.62 kWh per unit. Sehingga dengan menggunakan 4 unit turbin angin dan 56 unitpanel surya sesuai dengan space yang tersedia di kapal feri eksisting, dapat menghasilkan daya sebesar 200.08 kWh yang dapat digunakan untuk suplai kebutuhan listrik untuk penerangan dan navigasi.

Kata kunci *:Kapal Feri, Turbin Angin, Modul Surya, Laut Sawu, Energi Terbarukan*

1. Pendahuluan

1.1. Energi Alternatif

Kapal feri merupakan moda transportasi utama di laut Sawu karena tidak adanya akses lain yang lebih terjangkau dan efisien. Perairan laut Sawu memiliki lima pulau yang saling terhubung yaitu Pulau Kupang, Sumba, Rote, Sawu dan Timor.

Pada umumnya, sebagian besar kapal masih menggunakan mesin diesel sebagai pembangit listrik utama di kapal termasuk yang beroperasi di perairan Indonesia. Namun, seiring dengan jumlah cadangan bahan bakar fosil yang semakin menipis, energi terbarukan mulai dilirik sebagai alternatif pilihan sumber daya pembangkit listrik yang ramah lingkungan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pada aspek pengembangan energi alternatif, telah dikenal secara luas pemanfaatan energi angin dan cahaya matahari. Energi kinetik dari angin dapat di konversi menjadi sumber energi listrik [1].begitu pula dengan energi surya yang berasal dari cahaya matahari/elektromagnetik. Sumber energi dari angin dan matahari, selain tidak polutif juga tersedia dalam jumlah tak terbatas. Untuk mengubah sumber energi tersebut menjadi energi listrik maka diperlukan turbin angin dan *sollar cell*.

Penggunaan turbin angin dan solar cell pada kapal feri tidak serta merta langsung dapat diaplikasikan di kapal. Ada banyak hal yang harus dipertimbangkan seperti karakteristik sumber energi yaitu angin dan cahaya matahari, kebutuhan listrik pada kapal, dan efisiensi dari aplikasi turbin angin[2].

2. Metoda Penelitian

Pada studi awal ini, dilakukan penelitian pada kapal feri eksisting KMP Ranaka 1000 GT yang beroperasi di perairain Laut Sawu lintas Kupang-Sabu. Adapun pemilihan turbin serta modul akan ditinjau dari aspek ketersediaan ruangan/*space* dan tidak mempertimbangkan aspek konstruksi, berat displaesemen dan trim. Berikut adalah ukuran utama KMP. Ranaka:

- LoA : 56.02 m
- LWL : 48.82 m
- B : 14 m
- H : 3.8 m
- T : 2.7 m
- GT : 1029
- Daya A/E : 2 x 168 kW

2.1. Perhitungan Kapasitas Sel Surya

Daya yang dihasilkan sebuah sel surya adalah hasil perkalian antara arus dan tegangan. Dalam formula dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Pmax = Vmax \times Imax \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

Perbandingan antara hasil perkalian arus dan tegangan pada daya maksimum dan hasil perkalian Isc × Voc disebut *fill factor* dan dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$FF = \frac{Vmax - Imax}{Voc \times Isc} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

Daya P_{max} yang dihasilkan sel surya dipengaruhi oleh efisiensi konversi dan intensitas cahaya matahari ØA (watt/m^2). Efisiensi konversi didefinisikan sebagai berikut.

$$n = \frac{Pmax}{øA} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

2.2. Perhitungan Kapasitas Turbin Angin

Untuk turbin, data angin biasanya disajikan dalam bentuk kecepatan rata-rata per bulan selama satu tahun. Namun, pada kenyataannya, kecepatan angin tidaklah sama dalam suatu periode waktu tertentu. Variasi kecepatan angin dalam suatu periode tertentu dapat disajikan oleh fungsi distribusi probabilitas. Persamaan fungsi yang cocok digunakan pada variasi kecepatan angin adalah distribusi probabilitas Weibull (h) dengan dua parameter yaitu parameter bentuk (k) dan parameter skala (c). Distribusi Weibull dengan k=2 disebut distribusi Rayleigh [3].

Distribusi probabilitas Rayleigh bisa menjadi representasi yang sederhana dan akurat terhadap variasi kecepatan angin hanya dengan satu parameter yaitu parameter c.

Parameter c dapat dicari dengan formula berikut :$V_{rata-rata} = 0{,}90c$ .....(4)

$V_{rata-rata}$ bisa diperoleh dari BMKG. Sedangkan fungsi probabilitas Rayleigh adalah sebagai berikut :

$$h(v) = \frac{2v}{c^2} e^{-(v/c)2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

Pengukuran awal diambil pada ketinggian sepuluh meter, dengan persamaan *Helman Exponential Law*[3]:

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^{\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

Dengan v adalah kecepatan pada ketinggian H dan Vo adalah kecepatan pada ketinggian pengukuran, yaitu 10 meter dan α

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

adalah koefisien friksi. Untuk tipe lansekap danau dan samudera, ditentukan koefisien friksi α sebesar 0.1.

3. Hasil Penelitian

3.1. Potensi Cahaya Matahari

Pengukuran potensi energi listrik dari matahari dapat diakukan dengan data-data antara lain luasan lokasi, radiasi matahri, lama penyinaran. Data radiasi matahari dan lama penyinaran bisa diperoleh dari BMKG setempat sedangkan luasan lokasi bisa diperoleh dari denah atau pengukuran secara langsung.

Tabel 1 Radiasi Matahari

Bulan	Radiasi (kWh/m²)
January	6.91
februari	5.43
Maret	5.52
April	6.89
Mei	5.75
Juni	5.59
Juli	5.63
Agustus	6.49
September	7.16
Oktober	7.25
November	7.01
Desember	6.35

(Sumber : BMKG Laisana Kupang, 2016)

Potensi energi listrik dari matahari telah diketahui pada tabel diatas. Potensi energi listrik tersebut baru bisa dimanfaatkan setelah energi itu diserap oleh panel surya. Penerapan teknologi *solar cell* adalah melalui sebuah sistem yang terdiri panel surya dan beberapa peralatan lainnya termasuk baterai.

Besarnya daya yang tertulis dalam katalog modul surya adalah kondisi standar tes, yakni radiasi 1000 w/m^2 pada temperatur modul 25° C. Nilai efisiensi tersebut menunjukan seberapa besar daya yang mampu dihasilkan panel surya dari radiasi matahari yang diterima.

Tabel 2Efisiensi Modul Surya

Modul	Voc (Volt)	Isc (A)	FF	P (watt)	A (m2)	Eff
sl250ce	59.9	5.25	0.76	250	1.68	0.141
pv30/500	79.5	8.5	0.76	500	3.39	0.151
sl180ce	44.71	5.1	0.76	180	1.27	0.135

Potensi energi modul surya ditentukan oleh dua faktor yaitu faktor radiasi matahari dan temperature modul. Misalnya, satu unit modul surya pv30/500 mampu mengumpulkan energi listrik maksimum sebesar 4,116 kWh dari 9 jam penyinaran matahari.

Pada sistem ini baterai menggunakan penghasil daya listrik DC yang dibutuhkan inverter. Karena kapasitas baterai diukur dalam satuan Ah maka satuan energi listrik dari sel surya harus diubah kedalam bentuk yang mengandung unsur ampere di dalamnya. Berdasarkan persamaan listrik umum P = I.V dan dengan tengangan charger sebesar 24 V untuk menampung energi listrik panel surya selama 9 jam. Maka kapasitas yang dibutuhkan dapat dihitung dan hasilnya sebagaimana pada tabel 4.

$$Qbat = \frac{P}{V}\ x\ 1000 \quad \text{.....(7)}$$

Tabel 3 Kapasitas Baterai PanelSurya

Modul	Daya (kWh)			Baterai (Ah)
	Minimum	Maximum	rata-rata	
sl250 ce	1.297	1.732	1.513	63.028
500w	3.082	4.116	3.594	149.768
Sl180 ce	0.976	1.304	1.138	47.454

Inverter dengan efisiensi 90% yang artinya jika daya DC yang masuk besarnya 100 Watt maka daya AC yang dihasilkan 90 watt, jika variabel yang hendak dicari adalah besarnya daya AC yang dihasilkan dan efisiensinya 85 % maka daya AC inverter dapat dituliskan sebagaimana pada tabel 4.

$$Pout = 0{,}85\ Pin \text{.....(8)}$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Tabel 4 Daya Listrik Sistem Sel Surya

Modul	Daya Total (kWh)	Daya Output (kWh)	Daya Total (kW)	Daya Output (kW)
sl250 CE	1.297	1.102	0.144	0.122
500w	3.0825	2.620	0.342	0.291
sl180CE	0.9767	0.830	0.108	0.0922

Dari hasil perhitungan diatas dapat dilihat nilai efektivitas dari ketiga buah jenis modul surya tersebut sehingga dapat dipilih jenis modul surya Pv 30/500 karena menghasilkan daya output yang paling besar. Selain itu, dimensinya yang sebesar 2.9 x 1.2 m/unit dapat memaksimalkan jumlah modul terpasang sesuai dengan area yang tersedia.

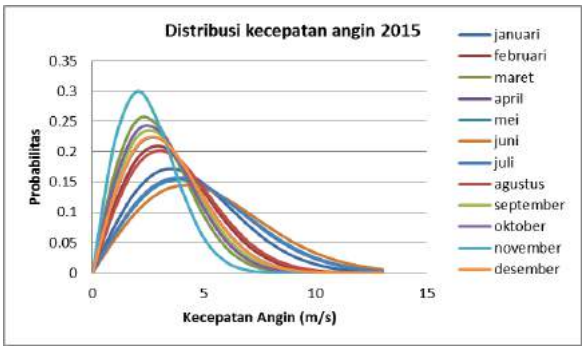
3.2. Potensi Angin

Distribusi probabilitas Rayleigh yang ditunjukan persamaan 5memerlukan nilai parameter skala c. Data yang telah diperoleh dari BMKG adalah kecepatan rata-rata sehingga dengan menggunakan persamaan 4, parameter c dapat ditentukan distribusi kecepatan angin tiap hari dalam satu bulan pada kecepatan rentang 0-13 m/s.

Tabel 5 Distribusi Kecepatan Angin

h (v)	Januari
0	0
1	0.032
2	0.060
3	0.083
4	0.099
5	0.107
6	0.108
7	0.102
8	0.092
9	0.079
10	0.065
11	0.051
12	0.038
13	0.028

Probabilitas tertinggi ada pada kecepatan angin 6 m/s yaitu 0.108018 dan jika dikalikan 744 jam selama 1 bulan, maka hasilnya adalah 80 jam.Artinya selama bulan Januari kecepatan angin 6 m/s terjadi sebanyak 80 jam atau kurang lebih 4 hari. Gambar 1 adalah grafik distribusi kecepatan angin selama tahun 2015.



Gambar 1. Distribusi Kecepatan Angin

Potensi energi listrik dihitung berdasarkan distribusi kecepatan angin di kapal feri selama satu tahun sebagaimana tabel berikut.

Tabel 6Potensi Energi Listrik dari Angin

V (m/s)	h(v) 1 tahun	p (watt/m^2)	Durasi (jam)	Listrik (kWh/m^2)
0	0	0	0	0
1	0.040	0.61	351.186	0.214
2	0.074	4.88	654.234	3.192
3	0.099	16.47	873.206	14.381
4	0.113	39.04	991.904	38.723
5	0.115	76.25	1014.490	77.354
6	0.109	131.76	960.159	126.510
7	0.097	209.23	855.066	178.905
8	0.083	312.32	724.891	226.398
9	0.067	444.69	590.137	262.428
10	0.053	610	464.463	283.3225
11	0.040	811.91	355.222	288.408
12	0.030	1054.08	265.030	279.362
13	0.022	1340.17	193.473	259.287
				Σ =2038.49

Efisiensi dari turbin angin dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Po = 1/2pAV^3\text{Cp}.....(9)$$

Efisiensi menunjukan kemampuan turbin angin dalam mengubah daya mekanik pada angin menjadi daya listrik. Jika nilai efisiensi diketahui maka daya yang akan dihasilkan dari turbin angin sesuai dengan kecepatan kerja sebenarnya dapat diketahui. Contoh

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

perhitungan efisiensi dari turbin angin merek Aeolos adalah sebagai berikut :

$$5000 = \frac{1}{2}.\ 1{,}2\ .\ 14.8\ .\ 10^3\ .\ Cp$$

$$\text{Cp} = \frac{5000}{8880} = 0.56$$

Koefisien daya turbin angin Aeolos adalah sebesar 0.56. Ini artinya ketika ada angin dengan kecepatan 19.4 knot (10 m/s) melewati turbin angin Aeolos 5 kW, bilah-bilah turbin angin dapat menyerap daya sebesar 8880 watt dari angin yang mengalir tersebut. Namun setelah melalui proses konversi, daya listrik yang dapat digunakan hanya 0.56 bagian dari 8880 Watt yaitu sebesar 5000 Watt. Tabel 7 adalah tabel rekapitulasi hasil perhitungan efisiensi dari berbagai produk turbin angin:

Tabel 7. Efisiensi Turbin Angin

No	Produk	Cp
1	10 KW	0.449
2	Taisei 5.5KW	0.142
3	Aeolos 5KW	0.563
4	DS 3KW	0.139
5	T-5 VAWT 5KW	0.209
6	sunsurf wt3 30KW	0.394
7	Sunsurf wt3 20KW	0.263

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa kecepatan angin selama selang waktu tertentu merupakan fungsi probabilitas dan juga dipengaruhi oleh ketinggian sehingga potensi sebuah turbin angin juga merupakan fungsi probabilitas daya yang dipengaruhi oleh ketinggian dan kecepatan angin, contoh fungsi probabilitas daya turbin angin Aeolos 5 kW ditunjukan oleh Tabel 8 berikut.

Tabel 8 Probabilitas daya listrik turbin Aeolos 5 kW

V m/s)	h(v)	P (w)
3	0.179	135
4	0.175	320
5	0.146	625
6	0.107	1080
7	0.069	1715
8	0.040	2560
9	0.021	3645
10	0.010	5000

Turbin angin Aeolos 5 kW memiliki kapasitas sebesar 5 kiloWatt namun pada kondisi lapangan probabilitas turbin angin ini untuk bekerja pada kapasitas aslinya sebesar 0.01 atau sekitar 2.4 % dari rentang waktu atau kurang lebih 1 jam selama 1 hari (24 jam). Probabilitas tertinggi turbin angin ini pada 0.179 yaitu pada daya 135 Watt yang artinya dalam kurun waktu 1 hari (24 jam)turbin angin ini menghasilkan daya sebesar 135 Watt selama kurang lebih 4 jam. Tabel 9 merupakan rekapitulasi potensi turbin angin beserta kapasitas baterainya.

Tabel 9Daya dan kapasitas baterai turbin angin

No	Produk	Daya total (Kwh)	Dayaoutput (kWh)	Kapasitas Baterai (Ah)
1	10 KW	28.94	25.17	1205.769
2	Taiesei 5KW	10.66	9.27	443.987
3	Aeolos 5KW	15.33	13.33	638.798
4	DS 3KW	5.77	5.02	240.431
5	T-5 VAWT 5KW	13.89	12.08	578.678
6	sunsurf wt3 30KW	160.33	139.48	6680.330
7	sunsurf wt3 20KW	99.89	86.90	4162.164

3.3. Kebutuhan Listrik di Kapal

Pada umumnya, kebutuhan daya listrik di kapal dibagi menjadi empat bagian, yakni peralatan permesinan, akomodasi, penerangan dan navigasi komunikasi. Beban-beban tersebut kemudian dikondisikan pada jenis operasional kapal seperti berlayar, bongkar muat, berlabuh dan *emergency condition*.

Berdasarkan kondisi eksisting kapal ferry 1000GT pada rencana umum, geladak navigasi dapat menampung 56 unit modul surya dan 4 unit turbin angin tipe aeolos 5kW sehingga daya listrik maksimum yang dapat disuplai oleh energi terbarukan tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 10. Kapaitas maksimum turbin angin dan modul surya

Item	Jumlah	Kapasitas (kWh)	Daya (kWh)
turbin angin (Aeolos 5kW)	4	13.3	53.35
modul surya (Pv 30/500)	56	2.62	146.73
		Total Suplai Listrik	200.08

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Daya listrik maksimal yang dapat dihasilkan oleh 4 turbin angin dan 56 modul surya sebesar 200.08 kWh, memungkinkan untuk menyuplai seluruh kebutuhan penerangan; atau seluruh kebutuhan navigasi komunikasi; atau sebagian kebutuhan penerangan ditambah seluruh kebutuhan navigasi komunikasi untuk memaksimalkan jumlah daya yang tersedia.

Berikut adalah data kebutuhan daya listrik di kapal ferry 1000 GT lintas Kupang-Sabu dimana total waktu pelayaran adalah 16 jam (10 jam siang dan 6 jam malam).

Tabel 11. Skenario 1 penerangan

Skenario 1 (penerangan)	Daya (kWh)
berlayar siang	19.8
berlayar malam	144.9
bongkar muat	5.47
berlabuh	7.72
total	177.89

Tabel 12. Skenario 2Navcom

Skenario 1 (penerangan)	Daya (kWh)
berlayar siang	26.94
berlayar malam	44.9
bongkar muat	3.84
berlabuh	0.5
total	76.18

Tabel 13. Skenario 3Navcom + Penerangan

Skenario 1 (penerangan)	Daya (kWh)
berlayar siang	46.74
berlayar malam	134.80
bongkar muat	9.31
berlabuh	5.97
total	196.82

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengumpulan data kemudian dihitung masing-masing energi keluaran dari intensitas cahaya dan potensi angin hingga efisiensi dari modul serta turbin angin, sehingga diperoleh hasil :

a) Potensi energi listrik dari angin dan matahari yang dapat dimanfaatkan oleh turbin angin dan sel surya di kapal feri perairan laut sawu sebesar 13.30 kWh per turbin dan 2.62 kWh per modul sutya
b) Total penggunaan energi listrik untuk penerangan lampu pada kapal feri secara keseluruhan selama 1 kali perjalanan atau 16 jam sebesar 177.89 kWhsedangkan pada peralatan navigasi dan komunikasi adalah 76.18 kWh.
c) Penerapan modul surya dan turbin angin pada kapal feri eksisting dapat disimulasikan dengan tiga skenario yang mana penggunaan maksimal dengan 4 buah turbin angin dan 56 unit modul surya dapat menghasilkan daya total 200.08 kWh dari kebutuhan 196.82 kWh.

5. Saran

Penelitian selanjutnya dapat membahas mengenai penerapan turbin angin dan modul surya pada kapal feri eksisting dengan memperhatikan berat displasemen sehingga akan mempengaruhi kapasitas ruang muat maupun stabilitas dan trim. Selain itu, penelitian ini juga dapat dikembangkan pada desain kapal hybrid sehingga perhitungan berat modul surya dan turbin angin dapat dimasukkan ke dalam bobot kapal kosong .

6. Daftar Pustaka

[1] H. Erich, *Wind turbines: fundamentals, technologies, application, economics*. Springer, 2006

[2] J. Sargolzaei, "*Prediction of The Power Ratio in Wind Turbine Savonius Rotors Using Artifical Neural Networks*", International Journal of Energy and Environment, Volume 1 issue 2, pp. 51-56, 2007

[3] F.R. Mizza, W.P Triwilaswandio, "*Penerapan Teknologi Sel Surya Dan Turbin Angin Untuk Meningkatkan Efisiensi Energi Listrik Di Galangan Kapal*", Jurnal Teknik POMITS, Volume 2 no.1, 2014

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

SMARTek
SIPIL◇ MESIN ◇ARSITEKTUR ◇ELEKTRO

ANALISA POTENSI ENERGI TERBARUKAN DI KABUPATEN KAIMANA PROPINSI PAPUA BARAT

Elias K. Bawan *

Abstract
The human needs for electrics energy, especially in Kaimana regency is increasing together with city development and increasing of the resident. The electric energy suply from diesel power plant in PT. PLN (persero) is very limited, electrical distinguishing and electrical black out are frequently happend.
The renewable energy in the regency of Kaimana is very potential to be developed and so a study about the energy is needed. The study is executed in some subdistricts under priority to the renewable energy such as micro hydro, sun power, wind power and biomass energy.
Result of the study shows that the potency of the renewable energy is so large. Sun energy has the bigest potency about 144.35 w/m2 with the monthly sunlight average about 57.95%. The second largest energy is wind power about 34.25 w/m2 with the midle scale about 4.68 m/s. The lastest energy potency is bioetanol energy from sweet potato in subdistrict of Yerusi.

Key words: *: Renewable energy,biomass, microhydro, sun power, wind power*

Abstrak
Kebutuhan energi listrik kabupaten Kaimana semakin meningkat seiring dengan perkembangan kota dan pertambahan jumlah penduduknya. Suplai tenaga listrik dari PLTD PT. PLN (Persero) sangat terbatas sehingga menyebabkan seringnya terjadi pemadaman bergilir dan terkadang pemadaman total.
Potensi energi terbarukan yang ada di kabupaten Kaimana sangat potensial sehingga perlu diadakan kajian potensi. Kajian ini dilaksanakan di beberapa distrik dengan prioritas potensi sumber energi terbarukan adalah energi mikohidro, energi surya, energi angin dan energi biomasa.
Hasil kajian memperlihatkan bahwa potensi energi terbarukan sangat besar, energi surya memiliki potensi yang paling besar yaitu 144,35 w/m^2 dengan rata-rata penyinaran matahari bulanan sebesar 57.95 % setiap bulannya, diikuti oleh energi angin 34.25 watt/m^2 dengan skala menengah sebesar 4.68 m/dt, dan potensi energi bioetanol dari ubi di distrik Yerusi.

Kata kunci: Energi terbarukan, biomassa, mikrohidro, angin, surya

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan energi yang terus meningkat dan semakin menipisnya cadangan minyak bumi memaksa manusia untuk mencari sumber-sumber energi alternatif. Negara-negara maju juga telah bersaing dan berlomba membuat terobosan-terobosan baru untuk mencari dan menggali serta menciptakan teknologi baru yang dapat menggantikan minyak bumi sebagai sumber energi. Semakin menipisnya persediaan energi dan juga ketergantungan pada salah satu jenis energi dimana hingga saat ini pemakaian bahan bakar minyak masih

• Staf Pengajar Jurusan Teknik FMIPA Universitas Negeri Papua, Manokwari

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

menjadi primadona dan hampir semua sektor kehidupan menggunakan bahan bakar ini termasuk menyediakan energi listrik, sementara hal tersebut belum sepenuhnya dapat dipenuhi oleh pemerintah, dalam hal ini PT. PLN (Persero). Sumber energi baru yang dimaksud sebaiknya memenuhi persyaratan menghasilkan jumlah energi yang cukup besar, ekonomis dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan.

Sumber daya listrik oleh PT. PLN selama ini memanfaatkan energi fosil khususnya minyak, batu bara, dan gas bumi yang merupakan sumber daya energi utama dan merupakan salah satu *income* sumber devisa negara. Kenyataannya cadangan energi fosil negara kita sangat kecil bila dibandingkan dengan cadangan minyak dunia (Basir, 2004). Dua sumber energi di atas juga merupakan energi yang tak terbarukan. Dampak nyata terjadi pada tanggal 25 Mei 2008 lalu, BBM (Bahan Bakar Minyak) mengalami kelonjakan harga yang begitu drastis hingga mencapai lebih dari 30% di seluruh wilayah Indonesia. Yang merupakan dampak dari naiknya harga minyak dunia hingga menyentuh US$ 123 per barel. Hal in juga berdampak langsung dengan kebutuhan sumber daya listrik yang masih menggunakan mesin diesel berbahan bakar minyak yang mengakibatkan beban masyarakat semakin bertambah.

Mengacu pada hal tersebut pemerintah menetapkan regulasi tentang kewajiban pelaku energi untuk menggunakan energi terbarukan *(renewable energy obligation)* dalam jumlah tertentu (Departemen ESDM, 2004). Bahkan dalam konsiderannya Kepmen ESDM nomor 082 tahun 2004 menyebutkan bahwa untuk mendorong kegiatan konsumsi energi serta meningkatkan pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik dan non listrik perlu menetapkan kebijakan pengembangan energi terbarukan dan konservasi energi (Pengembangan Energi Hijau) (Departemen ESDM, 2003).

Propinsi Papua Barat merupakan provinsi termuda pada NKRI, dengan luas wilayah Provinsi Papua Barat memiliki luas wilayah 126.093 km² terdiri dari 8 kabupaten dan 1 kota. dengan jumlah Penduduk 702.202 Jiwa dengan kepadatan penduduk 6 Jiwa/km², sebgian besar hidup di daerah pedesaan / kampung yang terletak di pedalaman dan sebagian besar merupakan desa miskin, namun demikian provinsi ini memiliki sumber daya alam (SDA) yang sangat besar serta potensial untuk dikembangkan dalam upaya peningkatan kesejahteraan penduduknya.

Permasalahan yang dihadapi kabupaten Kaimana adalah :

a. Sebagian distrik kabupaten Kaimana yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN
b. Belum adanya kajian potensi energi terbarukan seperti sumber daya air dan sumber energi lainnya di kabupaten Kaimana
c. Pertambahan penduduk dan kemajuan daerah yang diikuti dengan peningkatan kebutuhan akan energi di masa yang akan datang

Maksud penelitian ini adalah untuk mendapatkan data tentang sumber energi terbarukan potensial sebagai sumber energi listrik.

Tujuan dilaksanakan penelitian ini adalah:

a. Menginventarisasi data-data yang memiliki potensi energi bioetanol, sumber daya air, surya, dan angin di kabupaten Kaimana.
b. Menganalisis sumber-sumber energi sebagai alternatif sumber energi terbarukan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Potensi listrik tenaga mikrohidro

a. Defenisi

Pengertian potensi adalah gambaran besaran kapasitas pembangkit listrik

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

yang mungkin dapat dikembangkan di suatu rencana lokasi tertentu. Ada dua variabel utama yang menjadi dasar terjadinya proses pembangkitan energi listrik. Dua variabel tersebut adalah debit air dan tinggi jatuh air (*head*).

Debit air adalah jumlah/volume air per satuan waktu yang akan memutar turbin mesin pembangkit. Head adalah perbedaan elevasi permukaan air di tempat masuknya air ke dalam pipa pesat (*penstock*) dan di tempat keluarnya air dari mesin pembangkit (*tail race*).

b. Perhitungan potensi air

- Pengukuran debit

  Debit air dapat dihitung dengan menggunakan rumus : Q = AV, dimana Q adalah debit air (dalam m^3/det), A adalah luas penampang aliran (dalam m^2) dan V adalah kecepatan aliran air (dalam m/detik).

- Perhitungan *head*

  Perhitungan ketinggian air jatuh *(head)* di saluran dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$H = \frac{Q^2}{2g.(b.Cd.(H2-H1))^2} \quad \text{.....(1)}$$

  Hs = H_2 – H, Cd = 0,6 (koefisien debit) (Triatmodjo, 1996)

- Menghitung potensi daya

  Untuk menghitung potensi daya listrik yang terbangkit; rumus perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_t = \rho.g.Q.Hn.\eta o \quad \text{.....(2)}$$

dengan :
P_t= daya terbangkit (W),
ρ = rapat massa air (kg/m^3),
g= grafitasi (m^2/detik),
Q = debit aliran (m^3/detik),
Hn = tinggi jatuh bersih (m),
ηo = efisiensi overall, 50-70% (Sumber :JICA, 2003).

2.2 Energi listrik tenaga surya

a. Umum

Energi terbarukan tenaga surya adalah energi yang mengubah energi matahari menjadi menjadi arus listrik yang searah dengan menggunakan silikon yang tipis. Tenaga surya/matahari merupakan sumber energi dalam jumlah besar, bersifat kontinyu, dan sangat aktraktif, karena bersifat kollotif, tidak dapat habis dan dapat dipercaya serta gratis.

Pada asasnya sel surya fotovoltaik merupakan suatu dioda semikonduktor yang bekerja dalam proses tak seimbang dan berdasarkan efek fotovoltaik. Dalam proses itu sel surya menghasilkan tegangan 0,5-1 volt tergantung intesitas cahaya dan zat semikonduktor yang dipakai. Intensitas energi yang terkandung dalam sinar matahari yang sampai kepermukaan bumi besarnya sekitar 1000 Watt, tetapi karena daya guna konversi energi radiasi menjadi energi listrik berdasarkan efek fotovoltaik baru mencapai 25%, maka produksi listrik maksimal yang dihasilkan sel surya baru mencapai 250 Watt per m^2.

Negara Indonsia tergolong daerah tropis yang mempunyai potensi energi surya yang tinggi. Hal ini terlihat dari radiasi harian yaitu sebesar 4,5 kWh/m^2/hari, hal ini memberi indikasi bahwa prospek penggunaan fotovoltaik di masa mendatang cukup cerah.

b. Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga surya

Sebuah kristal silindris silikon (Si) diperoleh dengan cara memanaskan Si itu dengan tekanan yang diatur sehingga Si itu berubah menjadi penghantar. Bila kristal silindris itu dipotong setebal 0,3 mm, akan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

terbentuklah sel-sel silicon yang tipis atau yang disebut juga dengan sel surya fotovoltaik. Sel- sel silicon itu dipasang dengan posisi sejajar/ seri dalam sebuah panel yang terbuat dari aluminium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastic. Kemudian pada tiap- tiap sambungan sel itu diberi sambungan listrik. Bila sel- sel terkena sinar matahari maka pada sambungan itu akan mengalir arus listrik. Besarnya arus tenaga listrik itu tergantung pada jumlah energi cahaya yang mencapai silicon itu dan luas permukaan sel itu. Energi elektromagnetik dapat juga diubah langsung menjadi energi listrik dalam selfotovoltaic atau sering disebut sel matahari.

Keuntungan-keuntungan pembangkit dengan surya fotovoltaik, antara lain:

1) Energi yang digunakan adalah energi yang tersedia secara gratis.
2) Perawatannya mudah dan sederhana.
3) Tidak terdapat peralatan yang bergerak, sehingga tidak perlu penggantian suku cadang dan penyetelan pada pelumasan.
4) Peralatan bekerja tanpa suara dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan.
5) Dapat bekerja secara otomatis.

2.3 Energi listrik tenaga angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Apabila dipanaskan, udara memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun kerena udaranya berkurang. Udara dingin disekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Diatas tanah udara menjadi penas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dinamanakan konveksi.

- Konversi Energi

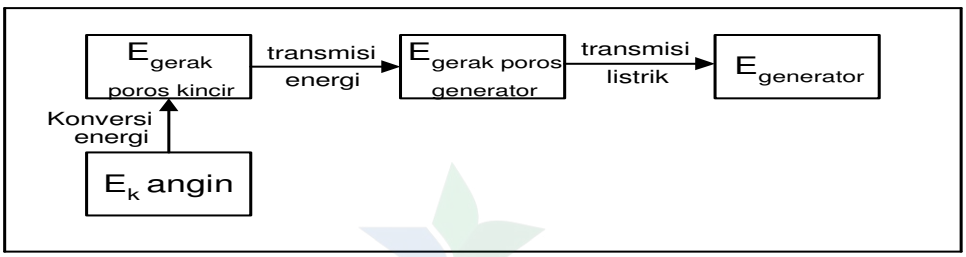
  Pada Pembangkit Listrik Tenaga Kincir Angin, energi angin dikonversikan menjadi energi listrik berdasarkan diagram blok pada Gambar 1.

Penggolongan kincir angin :

- Tipe baling-baling (*propeller*), pada tipe ini kincir angin diletakkan sejajar terhadap arah hembusan angin.
- Tipe pengocok telur (*eggbeater*) pada tipe ini kincir angin diletakkan tegak lurus terhadap arah hembusan angin.

Daya yang diberikan oleh tenaga angin diturunkan dari persamaan energi kinetik sebagai berikut :

$$P_{angin} = \frac{E_{k_{angin}}}{t} = \tfrac{1}{2}\, m^{o} v^{2} \quad \text{.....(3)}$$



Gambar1. Blok diagram PLTKA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

karena $m^o = {}^m\!/_t = \rho AV$ dan $A=\pi D^2/4$, maka :

$$m^0 = \frac{\rho \pi D^2 V}{4}$$

dengan memasukkan persamaan (2) pada persamaan (1) diperoleh :

$$P_{angin} = \frac{1}{2}\frac{\rho \pi D^2 V}{4} V^2 = \frac{\rho \pi D^2 V^3}{8} \quad \ldots\ldots\ldots(4)$$

dimana

P_{angin} = Daya angin (watt)
m^0 = masa alur angin (kg/s)
ρ = massa jenis udara = 1,29 kg/m3
D = diameter kincir angin (m)
V = kecepatan angin (m/s)

Sedangkan daya rotor diberikan menurut persamaan berikut :

$$P_{rotor} = 0.5 C_p \rho A V^3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

dimana :

P_{rotor} = Daya mekanik turbin angin (Watt)
Cp = Koefisien daya rotor (konstanta Betz)
A = Luasan bidang sapuan rotor (m^2)

Jika data effisiensi transmisi mekanis (η_t) dan effisiensi generatornya (η_g) diketahui maka besarnya daya keluaran listrik generator yang dikopel dengan turbin adalah :

$$P_{out} = 0.5 \eta_t \eta_g C_p \rho A V^3 \quad \ldots\ldots\ldots(6)$$

2.4 Energi listrik tenaga biomassa Bioetano;

Bioetanol adalah etanol yang dibuat dari biomassa yang mengandung komponen pati atau selulosa, seperti singkong dan tetes tebu. Seiring dengan menipisnya cadangan energi BBM, bioetanol diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar pensubstitusi BBM untuk motor bensin. (C_2H_5OH) adalah cairan biokimia dari proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat menggunakan bantuan mikroorganisme. Bahan baku bioetanol dapat berasal dari beberapa jenis seperti cercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Beberapa jenis sumber Bioetanol

Sumber Karbohidrat	Hasil Panen Ton/ha/thn	Perolehan Alkohol	
		Liter/ton	Liter/ha/thn
Singkong	25 (236)	180 (155)	4500 (3658)
Tetes	3,6	270	973
Sorgum Bici	6	333,4	2000
Ubi Jalar	62,5*	125	7812
Sagu	6,8$	608	4133
Tebu	75	67	5025
Nipah	27	93	2500
Sorgum Manis	80**	75	6000
*) Panen 2 ½ kali/th; $ sagu kering; ** panen 2 kali/th. Sumber: Villanueva (1981); kecuali sagu, dari Colmes dan Newcombe (1980); sorgum manis, dari Raveendram; dan Deptan (2006) untuk singkong; tetes dan sorgum biji			

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

- Proses pengolahan biotermal
  Secara umum, produksi bioethanol ini mencakup 3 (tiga) rangkaian proses yaitu :

  a. Persiapan Bahan Baku
     Bahan baku untuk produksi bioethanol bisa didapatkan dari berbagai tanaman, baik yang secara langsung menghasilkan gula sederhana seperti Tebu (sugarcane), gandum manis (sweet sorghum) atau yang menghasilkan tepung seperti jagung (corn), singkong (cassava) dan gandum (grain sorghum) disamping bahan lainnya.

  b. Fermentasi
     Pada tahap ini, tepung telah sampai pada titik telah berubah menjadi gula sederhana (glukosa dan sebagian fruktosa) dimana proses selanjutnya melibatkan penambahan enzim yang diletakkan pada ragi (yeast) agar dapat bekerja pada suhu optimum. Proses fermentasi ini akan menghasilkan etanol dan CO2.

  c. Pemurnian / Distilasi
     Distilasi dilakukan untuk memisahkan etanol dari beer (sebagian besar adalah air dan etanol). Titik didih etanol murni adalah 78° C sedangkan air adalah 100° C (Kondisi standar). Dengan memanaskan larutan pada suhu rentang (78 – 100)° C akan mengakibatkan sebagian besar etanol menguap, dan melalui unit kondensasi akan dihasilkan etanol dengan konsentrasi 95 % volume.

3. Metodologi

3.1 Tempat penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di dua distrik kabupaten Kaimana Provinsi Papua Barat, yang mana secara geografis telah dapat mewakili daerah kabupaten Kaimana.

3.2 Peralatan yang digunakan

Dalam penelitian ini diperlukan alat survei lapangan untuk mengetahui potensi energi terbarukan yang ada di daerah penelitian. Alat yang digunakan adalah antara lain:

- Alat pengukur debit air (*current meter*).
- GPS untuk menentukan titik sampel
- Stopwatch untuk mengukur waktu
- Meteran untuk mengukur head/beda tinggi air dilokasi penelitian.
- Kamera untuk mendokumentasikan data aktivitas di lokasi penelitian sebagai alat bantu dalam obseravsi.
- Peta tematik sebagai peta lokasi potensi
- Komputer pengolah data

3.3 Metode pengumpulan data

Metode pengumpulan data dilakukan melalui survei instansional (data sekunder) dan survei lapangan (data primer).

a. Survei data sekunder merupakan kegiatan pengumpulan data angka atau peta, suhu udara, kelembaman udara, kecepatan angin, dan penyinaran matahari dan potensi sumber energi biomassa.
b. Survei data primer merupakan kegiatan pengumpulan data berdasarkan pengecekan di lapangan dan pengukuran

4. Hasil dan Pembahasan

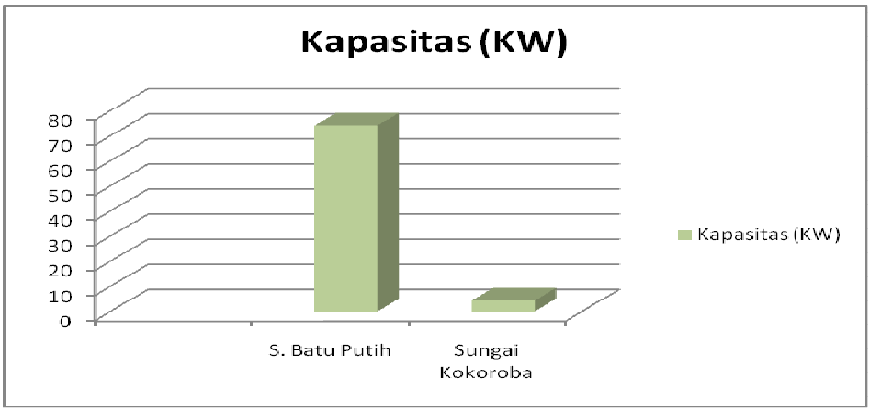
4.1 Potensi energi mikrihidro

Data potensi air di Wilayah Kabupaten Kaimana dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2. Potensi Energi Mikrohidro di Kabupaten Kaimana

Nama Sungai	Debit (m^3/s)	Head (m)	Kapasitas (kW)
Sungai Batu Putih	0.6	21	74.2
Sungai Kokoroba	0.3	2.5	4.4

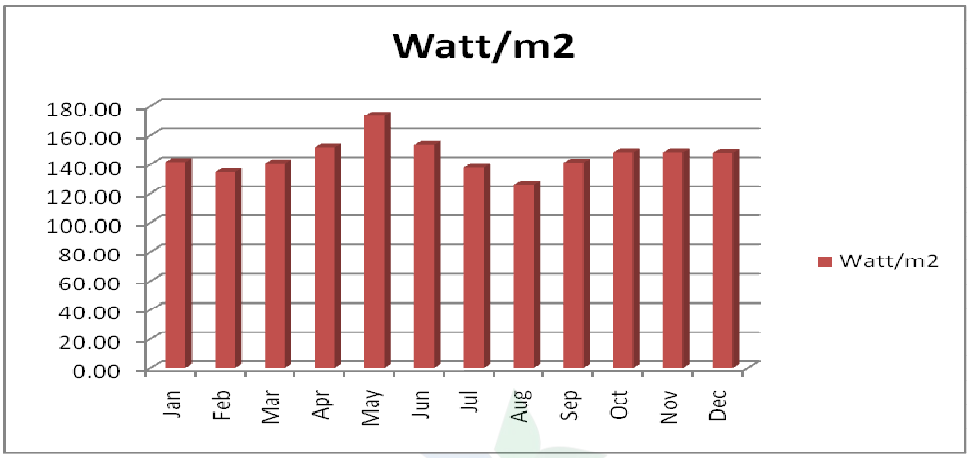
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 2. Diagram Batang Potensi Energi Mikrohidro di Kabupaten Kaimana berdasarkan ekivalen Kapasitas

Tabel 3. Potensi Energi Surya di Kabupaten Kaimana

Bulan	Penyinaran (%)	Watt/m²	Bulan	Penyinaran (%)	Watt/m²
Januari	55.5	141.5	Juli	54.1	138
Februari	52.9	134.9	Agustus	49.4	126
Maret	55.1	140.5	September	55.3	141
April	59.5	151.7	Oktober	58.1	148.2
Mei	68.1	173.7	November	69.3	148.2
Juni	60.1	153.5	Desember	58	147.9
Rerata				**57.95**	**145.43**



Gambar 3. Diagram Batang Daya Listrik Watt/m² di Kabupaten Kaimana

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4.2 Potensi energi surya

Data potensi energi surya di wilayah kabupaten Kaimana ditabelkan pada Tabel 3 dan diilustrasikan pada Gambar 3.

4.3 Potensi energi angin

Data potensi angin di Wilayah Kabupaten Kaimana ditabelkan pada Tabel 4. Sementara Data Kecepatan angin dan Energi yang dibangkitkan di Kabupaten Kaimana disajikan pada Gambar 4.

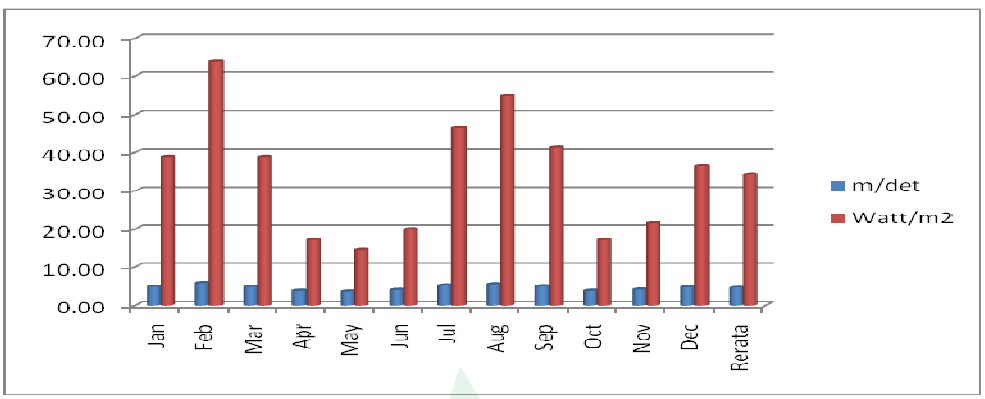
Dari data pada Tabel 4 dan Gambar 4, kecepatan angin terendah 3,6 meter per detik pada bulan Mei, namun demikian rerata kecepatan angin di kabupaten Kaimana berada di kisaran 4,68 meter perdetik, artinya bahwa di Kabupaten Kaimana, potensi energi angin dapat menjadi sumber energi yang dapat diandalkan dan masuk kepada rentang skala Menengah.

4.4 Potensi energi Bioetanol

Potensi sumber energi Bioetanol di Kabupaten Kaimana dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4.3. Potensi Energi Angin di Kabupaten Kaimana

Bulan	V Rata –rata m/det	Watt/m2	Bulan	V Rata –rata m/det	Watt/m2
Januari	5.00	38.94	Juli	5.30	46.38
Februari	5.90	63.98	Agustus	5.60	54.70
Maret	5.00	38.94	September	5.10	41.32
April	3.80	17.09	Oktober	3.80	17.09
Mei	3.60	14.53	November	4.10	21.47
Juni	4.00	19.94	Desember	4.90	36.65
Rerata				**4.68**	**34.25**



Gambar 4. Grafik Batang Kecepatan angin dan Energi yang dibangkitkan di Kabupaten Kaimana

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 4.4. Potensi Bioetanol di Kabupaten Kaimana

Potensi Ubi Kayu

No	Distrik	Produksi (Ton)	Vol.Etanol (lt)	Nilai Kalor (MJ)	Energi (kWh)
1	Kaimama Kota	3.22	495.40	11,641.83	41,910.59
2	Arguni Atas	0.58	89.23	2,096.98	7,549.11
3	Yerusi	2,499.20	384,501.92	9,035,795.12	32,528,862.43

Potensi Kelapa

No	Distrik	Produksi (Ton)	Vol.Etanol (lt)	Nilai Kalor (MJ)	Energi (kWh)
1	Kaimama Kota	472.26	72,657.20	1,707,444.22	6,146,799.20
2	Arguni Atas				
3	Yerusi	12.00	1,846.20	43,385.70	156,188.52

Potensi Ubi Jalar

No	Distrik	Produksi (Ton)	Vol.Etanol (lt)	Nilai Kalor (MJ)	Energi (kWh)
1	Kaimama Kota	6.44	990.79	23,283.66	83,821.17
2	Arguni Atas	53.79	8,275.59	194,476.40	700,115.04
3	Yerusi	208.89	32,137.73	755,236.57	2,718,851.66

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1) Potensi energi angin dapat menjadi sumber energi yang dapat diandalkan dan masuk kepada rentang skala Menengah sebesar 4.68 m/dt dengan daya 34.25 watt/m^2.
2) Berdasarkan hasil perhitungan Rata-rata penyinaran matahari bulanan sebesar 57.95 % setiap bulannya, daerah kabupaten Kaimana cukup berpotensi untuk dikembangkan pembangkit listrik tenaga surya dimana rata-rata energi listrik yang dihasilkan tenaga surya sebesar 144,35 w/m^2.
3) Potensi energi bioetanol dari ubi di distrik Yerusi sangat besar tetapi perlu pertimbangan lebih mendalam untuk menjadikan potensi ubi kayu sebagai sumber enrgi karena ubi kayu termasuk salah satu jenis makanan favorit bagi masyarakat setempat.
4) Pembangunan pembangkit listrik tenaga mikrohidro perlu diperhatikan agar tidak mengganggu keseimbangan makhluk hidup disekitarnya.

5.2 Saran

1) Perlu dilakukan studi lebih mendalam, mengingat potensi energi terbarukan di kabupaten Kaimana cukup besar
2) Perlu dilakukan moderenisasi dan pembukaan lahan pertanian baru maupun peternakan untuk meningkatkan sumber energi yang berasal dari biomasa dan bioetanol.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

6. Daftar Pustaka

Adelhard Beni Rehiara, Analisis Potensi Angin Sebagai Penggerak Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Daerah Pesisir Pantai Utara Kabupaten Manokwari, Manuscript Pada Jurnal Widya Teknik, Oktober 2008.

BAPPEDA Kabupaten Kaimana, 2008

Hambali Erliza, Teknologi Bioenergi/Siti Mujdalipah, Armansyah Halomoan Tambunan, Abdul Waries Pattiwiri, & Roy Hendroko; penyunting, M Topan Nixon dan Tharien Agnes, - Cet.1 – Agromedia Pustaka, Jakarta, 2007

Kaimana Dalam Angka, 2008

Patel, Mukind R., Wind and Solar Power Systems, Library of Congress Card Number 98-47934, USA, 1942.

Yushardi, November, Makalah Pengantar Falsafah Sains (PPS702) Program Pasca Sarjana / S3, Institut Pertanian Bogor, 2002.

http://www.energiterbarukan.net/index.php?Itemid=43&id=27&option=com_content&task=view

www.homepower.com

http://isnanimurti.wordpress.com/2008/06/17/ubi-kayu-mannihot-esculenta-sebagai-bahan-alternatif-pengganti-bensin-bioetanol-yang-ramah-lingkungan/

http://kajian-energi.blogspot.com/2008/11/bioethanol1.html

www.theiet.org/factfiles

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval

ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Teknisdan Ekonomis Penggunaan *Wind Turbine* Untuk Konversi Energi Pada Kapal Ikan Yang Menggunakan Sistem Pendingin Refrigrated Sea Water

Reingga Surya Bentara[1], Berlian Arswendo adietya[1], Kiryanto[1],
[1]Departement Teknik Perkapalan,FakultasTeknik, Universitas Diponegoro
Email;reinggasparrow99@gmail.com, Berlianarswendokapal@gmail.com, Kiryantodst@yahoo.com

Abstrak

Semakin menipisnya ketersediaan sumber energi mengakibatkan harga bahan bakar minyak menjadi tinggi. Yang berdampak pada dunia perkapalan, karna merupakan salah satu armada transportasi yang juga menggunakan bahan bakar minyak. Berangkat dari permasalahan tersebut, tugas akhir ini mencoba menghadirkan satu solusi untuk mengurangi pemakaian bahan bakar minyak dengan menggunakan *wind turbine* untuk mensuplai kebutuhan system pendingin pada kapal ikan. Tujuan tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan tipe dan ukuran *wind turbine* yang optimum serta memiliki biaya investasi yang rendah dan mendapatkan keuntungan ekonomis. Analisis *wind turbine* yang dilakukan adalah pada kecepatan kapal 9 knot, kecepatan angina 10,159 knot sehingga didapat kecepatan angin yang bekerja pada wind turbine sebesar 13,57 knot dengan sudut serang angin terhadap *wind turbine* (angle of attack, α) adalah 180° (arah angina berlawanan dengan arah kapal). Dari hasil analisa didapatkan wind turbine yang optimum untuk dipasang di kapal adalah tipe sumbu horisontal dengan diameter rotor 3,5 m dengan jumlah yang terpasang sebanyak 1 unit. Dengan menggunakan rumus teoritis didapatkan hambatan yang ditimbulkan *wind turbine* sebesar 8 kN sehingga mengakibatkan pengurangan kecepatan sebesar 0.406 knot. Dengan total biaya investasi dan operasional awal sebesar Rp 156.257.920, pemasangan *wind turbine* dapat menghemat biaya sebesar Rp 104.564.650 per tahun

Katakunci:Turbin Angin,AnalisaTeknis,AnalisaEkonomis, Energi Terbarukan, Kecepatan Angin

1. PENDAHULUAN

Semakin menipisnya ketersediaan sumber energi mengakibatkan harga bahan bakar minyak menjadi tinggi. Yang berdampak pada dunia perkapalan, karna merupakan salah satu armada transportasi yang juga menggunakan bahan bakar minyak. Berangkat dari permasalahan tersebut, tugas akhir ini mencoba menghadirkan satu solusi untuk mengurangi pemakaian bahan bakar minyak dengan menggunakan *wind turbine* untuk mensuplai kebutuhan system pendingin pada kapal ikan. *wind turbine* pada kapal dapat mengurangi pemakaian bahan bakar minyak. Daya *wind turbine* yang dihasilkan untuk memenuhi beban daya system pendingin kapal ikan.[1]

Konsep kapal dengan *wind turbine* yang memanfatkan energi angin memiliki karakteristik khusus mempunyai kelebihan dan kekurangan.

Kapal dengan *wind turbine* dapat mengurangi pemakaian bahan bakar dalam hal pemilihan mesin bantu tetap miliki kekurangan yang sangat bergantung pada kondisi arah datanganya angin dan kecepatan angin (m/dtk atau km/jam) [2].

Untuk menentukan kapal layak laut atau tidak dan melihat kondisi kapal, perlu adanya perhitungan stabilitas.Sehingga dapat ditentukan kapal tersebut aman atau tidak untuk berlayar di laut.

Penempatan *wind turbine* yang baik pada kapal dapat memaksimalkan daya yang dihasilkan

PERPUSTAKAAN NASIONAL

oleh *wind turbine*. *Wind turbine* dapat mengurangi pengeluaran bahan bakar minyak dari pemakaian generator kapal serta mengurangi biaya pembelian bahan bakar tersebut.

1.1. Perumusan Masalah

Berdasarkan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang, maka penelitian ini diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendapatkan jenis, ukuran dan jumlah *wind turbine* yang akan di gunakan?
2. Bagaimana mendapatkan desain *wind turbine* yang tepat untuk menyuplai kebutuhan akomodasi kapal?
3. Bagaimana menghitung besarnya pengurangan kecepatan kapal setelah di pasang *wind turbine*?
4. Bagaimana nilai hambatan dan stabilitas setelah penambahan *wind turbine*?

1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas, maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan jenis ukuran dan jumlah *wind turbine* yang akan di gunakan.
2. Mendapatkan gambar rencana umum kapal yang sudah di pasang *wind turbine*.
3. Mendapatkan penghematan biaya setelah pemasangan *wind turbine*.
4. Mendapatkan nilai hambatan dan stabilitas setelah penambahan *wind turbine.*

2. TINJAUANPUSTAKA

2.1. Rencana Umum

Rencana umum dari sebuah kapal dapat didefinisikan sebagai perancangan di dalam penentuan atau penandaan dari semua ruangan yang dibutuhkan, ruangan yang dimaksud seperti ruang muat dan ruang kamar mesin dan akomodasi, dalam hal ini disebut superstructure (bangunan atas).Disamping itu juga direncanakan penempatan peralatanperalatan dan letak beberapa sistem dan perlengkapan lainnya.

Pengerjaan atau pembangunan kapal yang terpenting adalah perencanaan untuk mendapatkan sebuah kapal yang dapat bekerja dengan baik harus diawali dengan perencanaan yang baik pula. Langkah-langkah dalam menggambar Rencana Umum : Menentukan Ruang Utama.

1. Menentukan batas-batas dari ruangan-ruangan didalam kapal.
2. Memilih dan menempatkan peralatan atau perlengkapan.
3. Menentukan segala peralatan yang dibutuhkan yang diatur sesuai dengan letaknya.
4. Menentukan jalan untuk mencapai ruangan-ruangan didalam kapal.
5.

2.2 *Wind Turbine* (Turbin Angin)

Turbin angin atau *wind turbine* adalah kincir angin yang digunakan untuk memutar generator listrik dan menghasilkan energi listrik. Turbine angin terdiri dari 2 jenis yaitu turbin angin sumbu *vertical* (TASV) dan turbin angin sumbu horisontal (TASH).

Turbin angin mengambil energi angin dengan menurunkan kecepatannya. Untuk bisa mencapai 100% efisien, maka sebuah turbin angin harus menahan 100% kecepatan angin yang ada, dan rotor harus terbuat dari piringan solid dan tidak berputar sama sekali, yang artinya tidak ada energi kinetik yang akan dikonversi.

Besarnya energi angin yang dapat dikonversi menjadi daya dapat dicari dengan menggunakan persamaan. [3]

$$P = ½ \, x \, A \, x \, \rho \, x \, \eta \, x \, v^3 \qquad (1)$$

Dimana :
P = daya yang dapat dihasilkan oleh *wind turbine*
A = *swept area wind turbine*
ρ = massa jenis udara
η = efisiensi *wind turbine*
V = kecepatan angin

Secara teori, efisiensi maksimum yang bisa dicapai setiap desain turbin angin adalah 59%, artinya energi angin yang bisa diserap hanyalah 59%.Jika faktor-faktor seperti kekuatan dan durabilitas diperhitungkan, maka efisiensi sebenarnya hanya 35 - 45%, bahkan untuk desain terbaik. Terlebih lagi jika ditambah inefisiensi sistem *wind turbine* lengkap, termasuk generator, bearing, transmisi daya dan sebagainya, hanya 10 - 30% energi angin yang bisa dikonversikan ke listrik.[4]

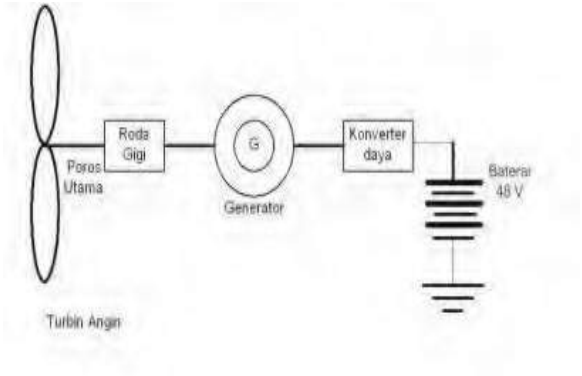
2.3 Komponen Utama*WindTubine*

Dalam mengkonversi energi kinetik menjadi energi mekanik suatu *wind turbine* memerlukan beberapa komponen-komponen yang mempunyai fungsi masing-masing. Komponen-komponen tersebut antara lain adalah:

-Sudu
- Rotor
- Gearbox
- Generator
- Rectifier
- Regulator
-Tower
- Brake

-Sensordan pengaturarah - Controller
- Baterai

2.4 Cara Kerja *Wind Turbine*



Gambar 1. Skema Kerja *Wind Turbine*

Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar rotor turbin angin, kemudian akan memutar poros turbin angin yang dihubungkan ke gearbox untuk memutar rotor pada generator dibagian belakang turbin angin sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan ini biasanya disimpan kedalam baterai sebelum dapat digunakan.

3. METODOLOGIPENELITIAN

Dalam karyailmiah yang baik perlu memiliki metodologi yang terperinci dengan sumber informasi yang sebanyak-banyaknya. Untuk mencapai hasil yang diinginkan, maka dalam pengerjaan Tugas Akhir ini diperlukan kerangka pengerjaan yang tersrtuktur.

Adapun pengerjaan untuk menyelesaikan permasalahan.Hal utama yang perlu dilakukan adalah pengolahan data kecepatan angina yang didapat dari *nesdis.noaa.gov* dan pembuatan model kapal dengan *software rhinoceros* dari *autocad*.Dari data kecepatan angina dan model kapal, maka dapat dilakukan analisa teknis dan ekonomis yang mencakup permasalahan.

4. ANALISA DANPEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Kecepatan Angin

Data kecepatan angin Semarang.Data yang diambil sesuai daerah pelayaran kapal yang dijadikan sebagai acuan.Titik yang diambil adalah koordinat *latitude* -06.467, *longitude* +110.417 (Semarang).

Tabel.1 Data Kecepatan Angin

No	Tahun	Bulan	Kecepatan Angin (Knot)
1	2016	Juli	10,571
2	2016	Agustus	11,216
3	2016	September	14,120
4	2016	Oktober	10,958
5	2016	November	11,150
6	2016	Desember	9,010
7	2017	Januari	9,952
8	2017	Februari	10,155
9	2017	Maret	9,355
10	2017	April	9,287
11	2017	Mei	8,216
12	2017	Juni	7,920
	Average		10,159

4.2. Perhitungan Kecepatan Angin

Komponen yang sangat berpengaruh dari kerja *wind turbine* adalah kecepatan angin. Kecepatan angin ini akan menentukan berapa jumlah daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah wind turbine. Karena *wind turbine* dipasang di kapal, jadi kecepatan angin yang bekerja pada turbin angin merupakan resultan dari kecepatan kapal dan kecepatan angin maka didapatkan kecepatan angin yang bekerja pada turbin angin adalah sebesar 13,57 knot atau sama dengan 6,98 m/s. Pada tabel 2 dapat dilihat perubahan kecepatan turbin yang bekerja pada kapal berdasarkan kecepatan kapal dan kecepatan angin rata-rata yaitu 10,159 knot.

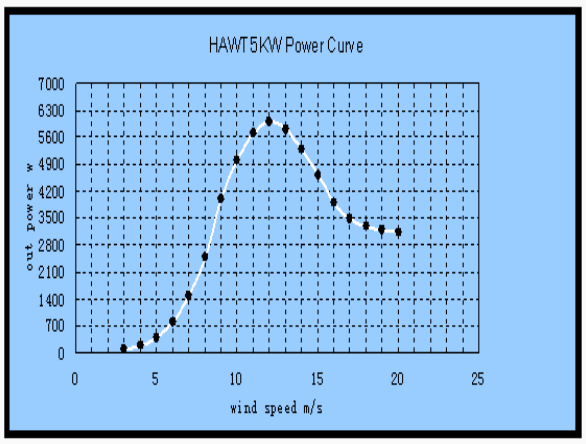
Tabel. 2 Data kecepatan *wind turbine* yang bekerja

No	Kecepatan kapal (knot)	Kecepatan angin (knot)	Kecapatan turbin (knot)	Kecepatan turbin (m/s)
1	0.000	10.159	10.159	5.23
2	2.000	10.159	10.354	5.32
3	3.000	10.159	10.592	5.45
4	4.000	10.159	10.917	5.61
5	5.000	10.159	11.322	5.83
6	6.000	10.159	11.798	6.07
7	7.000	10.159	12.336	6.34
8	8.000	10.159	12.930	6.65
9	9.000	10.159	13.572	6.98

4.3 Spesifikasi Turbin Angin yang Digunakan

Data *wind turbine* yang digunakan pada kapal memiliki spesifikasi sebagai berikut:

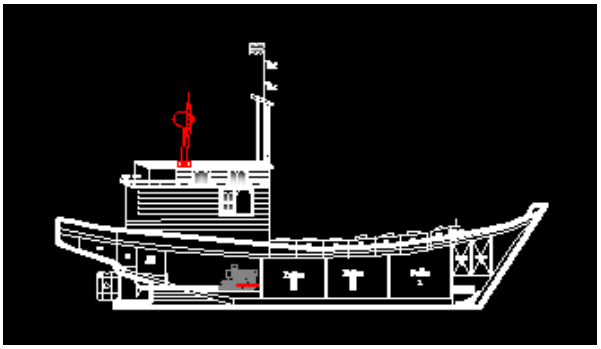
- *Rated power* : 5 kW @ 10 m/s
- *Peak power* : 6,5 kW
- *Start-up windspeed* : 3 m/s
- *Furling windspeed* : 3 – 30 m/s
- *Max speed* : 55 m/s
- *Rotor diameter* : 3,5 m
- *Weight* : 465 kg
- *Category* : Horisontal



Gambar 2. Power Curve *Qiangsheng 5 kW*

4.4 Penempatan Wind Turbine Pada Kapal

Penempatan *wind turbine* pada kapal ini dilakukan melalui beberap peninjauan, Dari peroses peninjauan tersebut di dapatkan penempatan *wind turbine* yang sesuai yaitu diletakkan pada bagian deck paling atas karena pada bagian ini dapat memaksimalkan sistem kerja *wind turbine* dan tidak mengganggu sistem kerja kapal dan abeka kapal.



Gambar 3. Kapal terpasang *Wind Turbine di atas main deck*

4.5 Daya yang Dikeluarkan oleh *Wind Turbine*

Diketahui kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 13,57 knot atau 6.98m/s.

Tabel.3 *Annual Power Output Wind Turbine*

No	Kecepatan angin rata-rata (m/s)	Annual Power Output (kW)
1	3	1549
2	4	4191
3	5	8472
4	6	13328
5	6.98	18122.16
6	7	18220
7	8	27330
8	9	39355
9	10	46935

Daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* dalam satu tahun pada kecepatan 6,98 m/s sebesar 18122,16 kW. Maka, daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* selama satu hari sebesar 49,65kW.

Waktu berlayar kapal 4 hari apabila kecepatan kapal 9 knot. Maka, daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* untuk sekali berlayar sebesar 198,72kw / jam selama 4 hari.

4.6 Perbandingan Daya yang Dihasilkan oleh *Wind Turbine* dan Daya Generator

Daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* sebesar 198,72 kW dan daya yang dihasilkan oleh generator yang dipakai kapal sebesar 111,9 kW. *Wind turbine* dapat memenuhi sebesar 100 % dari daya generator kapal.

4.7 Penggunaan Daya Wind Turbine

Daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* dapat memenuhi beban daya system pendingin kapal sebesar 1.987kW.

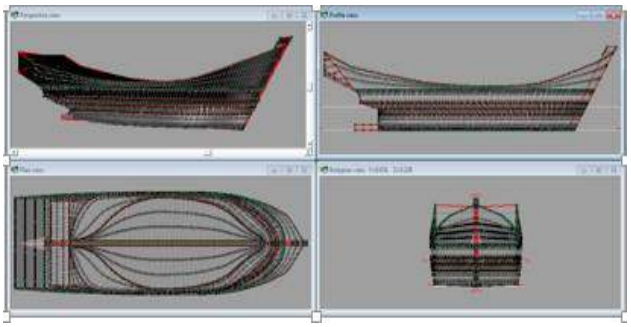
Tabel.4 *Annual Power Output Wind Turbine*

No	Peralatan	Beban daya
1	Pendingin RSW	1.987

4.8 Analisa Hambatan

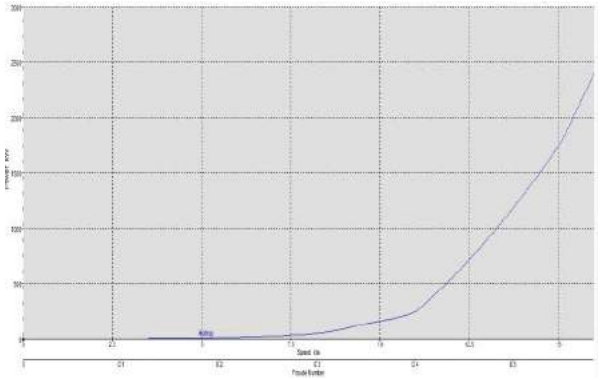
Bertambahnya berat kapal akibat pemasangan *wind turbine* dan komponen-komponenya akan mengakibatkan bertambahnya sarat kapal. Pertambahan sarat ini perlu dicari karena akan mempengaruhi besarnya hambatan kapal. Semakin besar luas permukaan kapal yang tercelup, semakin besar pula hambatan yang ditimbulkan.[5]

Hambatan kapalakan dihitung dengan menggunakan metode Holtrop dengan bantuan software maxsurf hullspeed.Namun terlebih dahulu harus membuat model kapal pada software Rhinoceros.



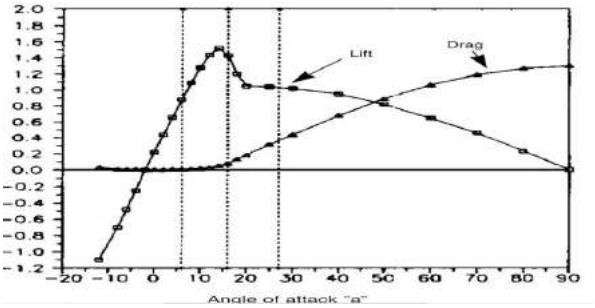
Gambar 4. Pemodelan KMN.Putra Usaha Barokah03 menggunakan *Delfship*

Setelah dilakukan beberapa proses tahapan pada *software* maxsurf hullspeed, didapatkan hambatan pada kecepatan 9 knot adalah sebesar 291,82 kN



Gambar 5. Grafik Hambatan Hullspeed

Hambatan dari *wind turbine* dihitung berdasarkan besarnya kecepatan angin, luas penampang *wind turbine* dengan koefisien drag dari penampang dan kerapatan udara.



Gambar 6. Grafik C_L, C_D dan *angle of attack* series NACA 63

Pendekatan profil NACA 63 ditentukan berdasarkan jurnal "*Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Wind Turbine Dan Solar Cell Pada Kapal Perikanan*" dan "*Analisa Teknis Dan Ekonomis Pemasangan Wind Turbine Sebagai Penghasil Daya Untuk Sistem Pendingin ikan Pada Kapal ikan 110 GT"*.

Berdasarkan grafik diatas harga koefisien drag untuk sudut serang angina 90° adalah 1,3. Harga ini diambil dari profil NACA series 63 berdasarkan catalogue *wind turbine*. Dengan kerapatan udara sebesar 1,3 kg/m3 maka bisa dihitung hambatan dari tiap-tiap *wind turbine*. Besarnya hambatan dari *wind turbine* dapat dihitung dengan persamaan.[3]

$$F_D = 0{,}5 \times C_D \times \rho \times V^2 \times (bc) \times B \qquad (2)$$

Dimana :

ρ	= massa jenis udara	(ton/m^3)
b	= panjang blade turbin	(m)
c	= panjang chord (2r (sin (α/2))	(m)
V	= kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbin*	(m/s)
C_D	= koefisien drag	

Setelah dilakukan perhitungan hambatan *wind turbine* yang didapat sebesar 8 kN. Besarnya hambatan terjadi saat kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 9,76 m/s.

Setelah dilakukan penjumlahan antara hambatan *wind turbine* dengan hambatan kapal sehingga didapatkan hambatan total. Hambatan total inilah yang akan digunakan untuk menghitung besarnya pengurangan kecepatan kapal setelah pemasangan *wind turbine*.[6]

Tabel.6 Total Hambatan setelah dipasang *wind turbine*

No	Kecepatan kapal (knot)	Ortmerssent Resist (kN)	FD (kN)	Total Hambatan Kapal
1	1,8	0,29	0,08	0,37
2	2,7	1,27	0,1	1,37
3	3,6	3,51	0,3	3,81
4	4,5	6,15	0,5	6,65
5	5,4	9,39	0,7	10,09
6	6,3	15,7	1	16,70
7	7,2	22,59	1,3	23,89
8	8,1	33,71	1,6	35,31
9	9	28,05	2	30,50

4.10 Evaluasi Pengurangan Kecepatan Kapal

Dengan adanya *wind turbine* akan mengurangi kecepatan kapal akibat hambatan yang ditimbulkan oleh *wind turbine*. Pengurangan kecepatan ini perlu dihitung karena apabila pengurangannya besar maka perlu adanya daya tambahan untuk main engine agar kapal bisa tetap beroperasi pada kecepatan service awal 9 knot.

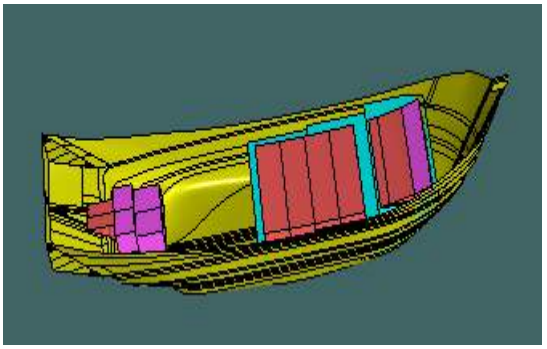
Tabel.7 Evaluasi Kecepatan dan Daya Main Engine

No	Kecepatan awal (knot)	Fd (kN)	Penambahan Daya (kW)
1	1,8	0,08	2,879606099
2	2,7	0,1	4,320965693
3	3,6	0,3	5,762325286
4	4,5	0,5	7,203684879
5	5,4	0,7	8,645044473
6	6,3	1	10,08640407
7	7,2	1,3	11,52776366
8	8,1	1,6	12,70444727
9	9	2	14,41048285

4.11 Analisa Stabilitas Kapal

Pemasangan *wind turbine* akan menambah berat kapal, bertambahnya berat kapal ini tentunya akan merubah posisi titik berat kapal sehingga perlu dilakukan analisa ulang mengenai stabilitas kapal. Stabilitas kapal dianalisa dengan bantuan maxsurf hydromax. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

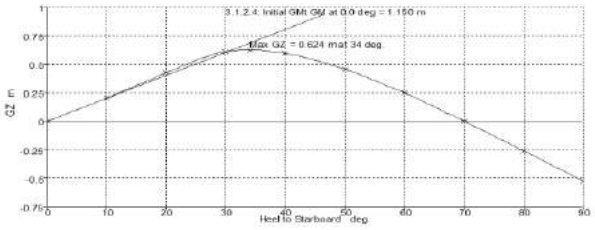
1. Permodelan Tanki



Gambar 7.Pemodelan Tanki Pada Maxsurf

2. Pemasukan Kondisi Pembebanan Adapun kondisi pembebanan tersebut adalah kapal kondisi muatan penuh dengan BBM, air tawar tinggal 75%, kondisi kapal muatan penuh dengan BBM, air tawar tinggal 50%, kondisi kapal muatan penuh dengan BBM air tawar 25%.
3. Penentuan Kriteria Stabilitas

   Kriteria stabilitas yang digunakan adalah peraturan IMO Anex 749.



Gambar 8. Kurva Stabilitas Kapal dengan *Wind Turbine* muatan penuh, bbm 97%, air tawar 97%

Tabel.8 Hasil Analisa Stabilitas Kapal

No	Kriteria	Kondisi			
		I	II	III	IV
1	Area 0 to 30	18.984	15.243	11.586	10.058
2	Area 0 to 40	32.309	26.385	19.455	16.279
3	Area 30 to 40	13.325	11.142	7.869	6.221
4	GZ pada 30 atau lebih	1.422	1.189	0.823	0.649
5	Sudut GZ Maksimum	46.0	45.0	42.0	42.0
6	Nilai Awal GMt	2.408	2.087	1.545	1.433
7	Nilai Awal GMt Untuk kapal > = 24m	2.408	2.087	1.545	1.433
	Status	**pass**	**Pass**	**pass**	**pass**

4.12 Biaya Investasi *Wind Turbine*

Biaya investasi ini meliputi biaya pembelian *wind turbine*, biaya electrical connection, biaya instalasi *wind turbine*, biaya operasional dan *maintenance*, *biaya replacement*.

Tabel.9 Biaya pembelian *wind turbine*

Barang	Harga Satuan (USD)	Jumlah	Total Harga (USD)
Wind Turbine	11.393	1	11.393
Total			11.393

Biaya *electrical connection* adalah biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan alat-alat yang berfungsi untuk menyambungkan sistem dari *wind turbine* ke baterai dan dari baterai ke ke lampu penerangan. Yang termasuk dalam biaya ini adalah pembelian kabel, *transformer*, dan lain-lain. Berdasarkan persamaan yang diberikan pada *report* "*Wind Turbine Design Cost and Scaling Model*" besarnya biaya *electrical conection* bergantung pada power yang dihasilkan oleh *wind turbine.* Persamaan yang diberikan adalah sebagai berikut:[8]

Electrical Connection Cost=
machine rating x electrical connection cost factor (USD) (3)
Electrical Connection Cost Factor=
(3,49E-06 x machine rating^2) – (0,221 x machine rating) + 109,7 (USD/kW) (4)
Dimana :
machine rating = *power output wind turbine* (kW)

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai faktor biaya penyambungan listrik sebesar 108,60 USD/kW dan dipakatkan biaya penyambungan listrik sebesar 542,96 USD dengan *power output wind turbine* sebesar 5 kW.

Tabel.10 Biaya *electrical connection*

Biaya Penyambungan Listrik (USD)	Jumlah *Wind Turbine*	Jumlah Biaya Penyambungan (USD)
542,96	1	542,96

Biaya instalasi *wind turbine* yang akan dihitung disini merupakan biaya instalasi baterai, tower, komponen pendukung *wind turbine*, dan komponen electrical lainnya. Berdasarkan report *"Wind Turbine Desain Cost and Scaling Model"* persamaan yang digunakan untuk besarnya biaya instalasi *wind turbine* adalah persamaan:

Biaya instalasi =1,965 x (hub height x rotor diameter)^{1,1736} (USD) (7)

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan biaya instalasi sebesar 83,88 USD

Tabel.11 Biaya instalasi *wind turbine*

Biaya Instalasi (USD)	Jumlah *Wind Turbine*	Jumlah Biaya Instalasi (USD)
83.88	1	83,88

Selama *wind turbine* beroperasi, terdapat biayabiaya yang harus dikeluarkan untuk menjaga kinerja dari *wind turbine*. Biaya tersebut adalah biaya maintenance dan biaya replacement. Besarnya biaya maintenance untuk *wind turbine* di bawah 50 kW adalah USD 40 per kW tiap tahunnya sedangkan biaya replacement-nya adalah USD 10.7 per kW tiap tahunnya. Angka ini berdasarkan jurnal "Wind Turbine Design Cost and Scalling Model".[9]

Tabel.12 Biaya *O&M* Untuk *Wind Turbine*

Daya (kW)	Jumlah Turbin	Besarnya Biaya Perbaikan (USD)	Biaya O&M per tahun (USD)
5	1	40/kW	200

Tabel.13 Biaya *Replacement* Untuk *Wind Turbine*

Daya (kW)	Jumlah Turbin	Besarnya Biaya Replacement (USD)	Biaya Penggantian per Tahun (USD)
5	1	10,7/kW	53.5

Tabel.14 Biaya Total Investasi

No	Keterangan	Biaya (USD)	Biaya (Rupiah)
1	Biaya Pembelian	11.393	148.109.000
2	Biaya Electrical Connection	542,96	7.058.480
3	Biaya O&M	200	2.600.000
4	Biaya *Replacement*	53,5	695.500
5	Biaya Instalasi	83,88	1.090.440
	Total Biaya	12273,34	159.553.420

Jadi, biaya investasi total *wind turbine* yang dipasang dikapal sebesar Rp 156.257.920

4.13 Biaya Operasional Genset Pada Kapal

Biaya operasional genset yang digunakan pada kapal dengan daya genset sebesar 12 kW dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

Pemakaian Bahan Bakar =

Daya Genset x Waktu x k (6)

Dimana :

Daya Genset = 111,9 Kw

k = ketetapan (0,08 – 0,20) k = 0,12

Waktu = 4hari = 96jam

Harga bahan bakar per liter = Rp 7.500

Tabel.15 Penghematan Kapal dengan *wind Turbine*

No	Item	Satuan	Biaya Operasional Genset
1	Daya Genset	kW	111.9
2	Pemakaian Bahan Bakar	L/Hari	1289.088
3	Pengeluaran	Rp/Hari	9.668.160

4.14 Biaya Operasional Genset dengan *Wind turbine* pada Kapal

Biaya penghematan menggunakan *wind turbine* dengan daya sebesar 5 kW dan kecepatan yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 6,98 m/s

Pemakaian Bahan Bakar =

Daya wind turbine x Waktu x k (7)

Dimana :

Daya *Wind turbine* = 49,65kw

Daya genset dengan *Wind turbine* = 62.25kW

k = ketetapan (0,08 – 0,20)

k = 0,12

Waktu = 4 hari = 96 jam

Harga bahan bakar per liter = Rp 7.500

Tabel.16 Penghematan Kapal Pada *Wind Turbine*

No	Item	Satuan	Biaya Operasional Genset pada *Windturbine*
1	Daya Genset dengan *wind turbin*	kW	62.25
2	Pemakaian Bahan Bakar	L/Hari	717.12
3	Genset dengan *Wind turbine*	Rp/Hari	5.378.400

4.15 Analisa Kelayakan Investasi dan Perhitungan BEP (*Break Even Point*)

Analisa kelayakan ini digunakan untuk mengetahui apakah investasi akan mengalami keuntungan dalam beberapa tahun kedepan.

Analisa dilakukan dengan membandingkan biaya investasi dan operasional *wind turbine* per tahunnya dengan biaya penghematan bahan bakar per tahunnya.

Kapal berlayar 4 hari dalam 1 kali berlayar dalam 1 tahun kapal berlayar sebanyak 91,25 kali berlayar, Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel.17 Biaya Investasi dan Keuntungan Pasif

Biaya tetap atau biaya investasi (Rp)	**156.257.920**
Biaya operasional genset tanpa *wind turbine* (Rp)	220.554.900
Biaya operasional genset dengan *wind turbine* (Rp)	122.694.750
Selisih biaya operasional (Rp)	107.860.150
Biaya O&M *wind turbine* per tahun (Rp)	2.600.000
Biaya *Replacement wind turbine* per tahun (Rp)	695.500
Keuntungan pasif per tahun (Rp)	104.564.650
Keuntungan pasif sekali berlayar (Rp)	1.145.913,973

$$BEP = \frac{Biaya\ Total\ Investasi}{Keuntungan\ Pasif} \quad (8)$$

$$BEP = \frac{\text{Rp } 159.553.420}{\text{Rp } 104.564.650}$$

$$BEP = 1{,}525 \text{tahun}$$

Artinya, untuk mendapatkan keuntungan kapal harus belayar selama 1.525 tahun. Setelah itu akan mendatkan profit sebesar Rp 1.145.913,973 setiap sekali berlayar.

Windt urbine dapat digunakan selama 10 tahun sampai 15 tahun. Maka penggunaan *wind turbine* pada kapal dapat dikatakan layak.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada

kapal ikan 110 GT ini diperoleh beberapa kesimpulan:

1. Dari hasil analisa jenis dan ukuran *wind turbine*, didapatkan *wind turbine* yang optimum untuk dipasang di kapal adalah *wind turbine* sumbu horisontal berjumlah 1 buah dengan merk Qiangsheng 5 kW yang memiliki diameter blade 3,5 m,start up speed 3m/s^2, rated wind speed 10 m/s^2, power 5000 watt dan massa 465 kg.
2. Penempatan *wind turbine* pada kapal ikan 110 GT ditempatkan pada atas navigation deck, pada ketinggian 7,985 meter..
3. Terjadi penurunan kecepatan service kapal sebesar 8.04 % dari kecepatan awal 9 knot menjadi 8.275 knot.
4. Biaya Investasi *wind turbine* sebesar Rp. 156.257.920maka titik balik dari biaya investasi untuk pemakaian *wind turbine* selama 1,525 tahun.
5. Penggunaan *wind turbine* dapat menghemat pemakaian bahan bakar generator sebesar Rp.1.145.913,973 untuk satu kali berlayar atau Rp 104.564.650 per tahun.
6. Hasil perhitungan stabilitas setelah pemasangan *wind turbine* adalah nilai GZ maksimum 3,231 meter pada kondisi III, nilai MG terbesar 10,559 meter pada kondisi III, dan sudut maksimum GZ 34.9 pada kondisi III

5.2 Saran

1. Untuk mendapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat mengenai analisa daya yang dihasilkan dan hambatan dari *wind turbine*, perlu dilakukan pemodelan *wind turbine* dengan menggunakan CFD.
2. Perlu dilakukan variasi sudut serang angin terhadap *wind turbine* guna mengetahui pengaruhnya terhadap olah gerak kapal.
3. Penelitian ini hanya membahas mengenai pemanfaatan energi angin dengan daya yang sudah ditentukan yaitu 5 kW untuk system pendingin pada kapal. Perlu adanya survey kapal secara langsung sehingga dapat mengetahui data spesifik besar daya yang dibutuhkan kapal untuk system pendingin kapal ikan.
4. Perlu adanya perhitungan kekuatan struktur pada *navigation deck*, karena adanya penambahan beban oleh *wind turbine*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Bockmann, Eirik, 2011," Wind Turbine Propulsion of Ship", Norwegian University of Science and Technology, Norway

[2] Lewis, E.V.(Editor), 1988, "Principle of Naval Architecture, Volume II. – Resistance, Propulsion and Vibration", The Society of Naval Architecture and Marine Engineers, Jersey City

[3] Lysen, E. H., Agustus 1982, "Introduction to Wind Energy", CWD Amersfoort The Netherlands.

[4] Park, Jack., 1981, "The Wind Power Book", Cheshire Books, Palo Alto California.

[5] Strong, Simon James., 2008, Dissertation"Design of a Small Wind Turbine", University of Southern Queensland, Australia

[6] Molland, A.F. 208, A Guide to Ship Design, Construction and Operation, The Maritime Engineering Reference Book, Butterworth-Heinemann, Elsevier.

[7] Harvald. Sv. Aa.,1992, "Resistance and Propulsion of Ship", Department of Ocean Engineering and John willey & sons Inc, New York.

[8] Fingersh.L, Hand.M, and Laxson.A, December 2006, "Wind Turbine Design Cost and Scaling Model", Technical Report NERL/TP-500-40566, National Renewable Energy Laboratory, Colorado.

[9] Sitorus, Boris De Palma. 2015. *Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Wind Turbine Dan Solar Cell Pada Kapal Perikanan.* Skripsi Sarjana Pada FT UNDIP Semarang: Diterbitkan Tahun 2015

JESCE, 3 (2) Februari 2020 ISSN 2549-628X (Print) ISSN 2549-6298 (Online)
10.31289/jesce.v3i2.3266.g2494



JESCE
(Journal of Electrical and System Control Engineering)

Available online http://ojs.uma.ac.id/index.php/jesce

Analisis Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Skala Rumah Tangga

Analysis of Household Scale Solar Power Plant Roof Costs

Zuraidah Taro[1)*], Hamdani[2)]

1) Teknik Elektro, Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Pancabudi, Indonesia
2) Teknik Elektro, Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Pancabudi, Indonesia

Diterima: Desember 2019; Disetujui: Januari 2020; Dipublikasi: Februari 2020
*Coresponding Email: zuraidahtharo@dosen.pancabudi.ac.id

Abstrak

Peningkatan peranan Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam bauran Energi Nasional yang menjadi program pemerintah, terutama penggunaan PLTS Atap, yang bertujuan penghematan / mengurangi tagihan listrik bulanan dan membuka peran serta masyarakat dalam pemanfaatan dan pengelolaan energi terbarukan. Sistem PLTS Atap skala rumah tangga merupakan solusi dalam partisipasi masyarakat dalam penggunaan energi terbarukan. Sistem PLTS Atap meliputi modul surya, baterai, kontrol panel surya, inverter dan sambungan listrik.Untuk skala rumah tangga katagori sedang menggunakan daya 1300 watt, dengan spesifikasi panel surya 2 buah masing- masing 250 wp, baterai 2 buah masing-masing 100 Ah, kontrol panel surya 130 dan inverter 1300 watt. Biaya investasi awal untuk pembuatan PLTS Atap 10 sampai dengan 15 juta rupiah. Biaya beban listrik yang dibayarkan perbulan sebelum pemakain PLTS Atap berkisar 300 sampai dengan 400 ribu rupiah, setelah penggunaan PLTS Atap biaya beban listrik perbulan 200 sampai dengan 300 ribu rupiah, penghematan rata-rata perbulan 100 ribu rupiah, jika diperhitungkan biaya investasi akan kembali dalam 1 tahun, rata-rata umur material dari PLTS berkisar 20 tahun. Penghematan biaya beban listrik berkisar Rp. 22.800.000,- dalam 20 tahun. Secara ekonomis nilai ini masih sangat kecil, tetapi sudah berhasil melakukan penghematan biaya beban listrik per bulan, dan meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan.

Kata Kunci: Energi Baru Terbarukan, PLTS Atap, Biaya Beban Listrik.

Abstract

Increasing the role of Renewable Energy (EBT) in the National Energy mix which is a government program, especially the use of PLTS Roof, which aims to save / reduce monthly electricity bills and open the participation of the community in the utilization and management of renewable energy. Household-scale Roof PLTS system is a solution in community participation in the use of renewable energy. The Roof PLTS system includes solar modules, batteries, solar panel control, inverters and electrical connections. For household scale categories are using 1300 watts of power, with solar panel specifications 2 units of 250 wp each, 2 batteries of 100 Ah each, 130 solar panel controls and 1300 watt inverters. Initial investment costs for making PLTS Roof 10 to 15 million rupiah. The cost of electricity expenses paid monthly before the use of Roof PLTS ranges from 300 to 400 thousand rupiah, after the use of PLTS Roof electricity load costs per month to 200 thousand to 300 thousand rupiahs, the average monthly savings of 100 thousand rupiahs, if calculated investment costs will return within 1 years, the average age of material from PLTS is around 20 years. Savings in electricity costs range from Rp. 22,800,000 in 20 years. Economically this value is still very small, but has succeeded in making savings in electricity costs per month, and increasing the use of renewable energy.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Keywords: New Renewable Energy, PLTS Roof, Electricity Expense.

How to Cite: Tharo.Z, Hamdani (2020). Analisis Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Skala Rumah Tangga. *JESCE (Journal of Electrical and System Control Engineering).* 3 (2): 65-71

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

INTRODUCTION

Wilayah Indonesia pada umumnya mempunyai potensi yang besar dalam bidang energi terbarukan, terutama matahari, air dan angin. Potensi sumber energi terbarukan di Indonesia meliputi 4,8 KWh/m2/hari energi surya, 458 GW biomassa 3-6 M/detik tenaga angin, dan 3 GW nuklir (cadangan uranium). Peraturan presiden No.22/2017 tentang RUEN yaitu :

1. Target bauran Energi baru Terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025
2. Untuk mencapai hal tersebut, salah satu strategi yang dilakukan adalah pemanfaatan sel surya antara lain :
    a. Memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 30% dari luas atap untuk seluruh bangunan Pemerintah Daerah.
    b. Memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 25% dari luas atap bangunan rumah mewah, kompleks perumahan dan apartemen.

Berdasarkan peraturan presiden tersebut jelaslah bahwa saat ini Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap merupakan pemanfaatan Energi Baru Terbarukan yang disarankan pemerintah. Tujuan/manfaat pengembangan PLTS Atap bagi masyarakat dan pemerintah adalah agar penghematan/mengurangi tagihan listrik bulanan, membuka peran serta masyarakat dalam pemanfaatan dan pengelolaan energi terbarukan, meningkatkan peranan EBT dalam bauran energi nasional, percepatan peningkatan pemanfaatan energi surya, mendorong berlangsungnya industri energi surya dalam negeri, meningkatkan investasi EBT, meningkatkan kemandirian dan ketahanan energi, mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK), meningkatkan lapangan kerja. Energi Surya merupakanenergi hijau yang andal dan ekonomis ditinjau dari sumber energi yang tersedia. Ada 3 jenis Sistem PLTS yang biasa digunakan yaitu :

1. Sistem On-Grid, sistem meliputi modul/panel surya, inverter, kWh meter eksport import, sambungan PLN, dan sambungan beban listrik. Paralel dengan PLN
2. Sistem Off-Grid, sistem meliputi modul surya, baterai, inverter, kontrol panel surya, sambungan listrik dan beban. Baterai untuk menjamin keberlangsungan energi listrik.
3. Sistem Hybrid, sistem meliputi modul surya, inverter, kontrol

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

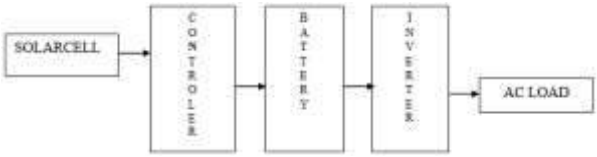
hybrid, generator, sambungan listrik dan beban. Paralel dengan generator, baterai untuk menjaga stabilitas.

Dalam kenyataannya sampai saat ini masih sedikit sekali masyarakat yang memanfaatkan energi surya, hal ini terjadi karena kesiapan jaringan PLN untuk interkoneksi masih terhambat, lamanya tingkat pengembalian investasi pemasangan PLTS Atap, tingginya biaya SLO untuk PLTS Atap dan tingginya biaya investasi awal pemasangan, dimana konsumen golongan industri yang *on-grid* ke jaringan PLN dikenakan biaya kapasitas (*capacity charge*) dan biaya pembelian energi listrik darurat (*emergency energy charge*).

Berdasarkan implementasi dan penilitian yang dilakukan pada PLTS Atap dibuatlah suatu perhitungan investasi dan penghematan biaya tagihan bulanan, diharapkan dapat menjadi rujukan dalam pengelolaan dan pemanfaatan energi terbarukan, khususnya PLTS Atap skala rumah tangga.

METHODE

Metode yang dilakukan adalah dengan merancang sebuah pembangkit listrik tenaga surya dengan kapasitas 1300 watt yang akan menopang kebutuhan energi listrik untuk beban rumah tanggga. Hal ini diperlihatkan pada gambar blok diagram berikut :



Gambar 1. Blok Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan keterangan sebagai berikut:

1. *Solarcell* atau *Photovoltaic*, yaitu perangkat yang berfungsi sebagai media menerima radiasi matahari untuk menghasilkan energi listrik yang akan di simpan ke dalam baterai.
2. *Controller,* yaitu perangkat yang digunakan sebagai *gateway* untuk menghubungkan perangkat solarcell dalam pengisian baterai.
3. *Battery,* berfungsi sebagai penyimpan arus yang diperoleh dari matahari untuk disalurkan ke beban.
4. *Inverter,* yaitu sebagai alat pengubah arus DC pada *battery* agar dapat digunakan pada Arus AC pada beban.
5. *AC Load,* yaitu beban listrik, daya sebesar 1300 Watt.

Spesifikasi material yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Solarcell 2 buah masing-masing 250

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Wp

2. Solar Charge Controller 1 buah 12 or 24 Volt 45 Amper
3. Battery 2 buah masing-masing 100 Ah
4. Inverter 1 buah 1200 Watt
5. Beban maksimum yang dapat digunakan 960 Watt



Gambar 2. Solarcell 250 Wp

Pekerjaan PLTS Atap dimulai dengan tahapan sebagai berikut :

1. Mendirikan/meletakkan solarcell di atas atap
2. Merangkai baterai dalam hubungan seri
3. Membuat sambungan listrik ke beban
4. Merangkai semua material dalam satu jaringan tertutup
5. Melakukan pengujian PLTS ke beban
6. Selesai



Gambar 3. Material dan Pengujian PLTS

Dari pengujian ini diperoleh data Pemakaian beban seperti dalam tabel 1 berikut:

Tabel 1. Jenis Beban dan Daya Terpakai

No	Jenis Beban	Kwantitas	Daya Terpakai (Watt)
1	Lampu	9 buah	134
2	Kulkas	1 buah	120
3	Dispenser	1 buah	85
4	Magic Com	1 buah	68
5	Kipas Angin	1 buah	72
6	Televisi	1 buah	125

Dari data yang diperoleh terlihat total daya yang terpakai sebesar 604 Watt.

RESULT AND DISCUSSION

Prinsip Kerja Tenaga Surya

Tenaga surya hadir dalam bentuk panas dan cahaya. Energi dalam bentuk panas bisa dipakai secara langsung maupun tidak langsung. Cahaya merupakan bentuk lain dari energi yang terpancar dari matahari, cahaya dikonversi menjadi tenaga listrik dengan menggunakan modul surya yang disebut dengan modul Photovoltaic (PV) atau panel surya. Proton dari sinar matahari menerpa elektron di dalam sel PV sehingga memberikan energi yang cukup bagi sebagian elektron untuk berpindah dari junction semi-konduktor dan menimbulkan tekanan listrik yang disebabkan adanya ketidakseimbangan listrik, terlalu banyak elektron bermuatan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

negatif pada satu sisi junction, dan terdapat terlalu banyak muatan positif di sisi lainnya. Pada saat elektron mengalir dari sisi satu ke sisi lainnya maka tekanan akan berkurang. Hal ini terjadi ketika ada interkoneksi di antara sel. Pada saat sel saling dihubungkan, maka terciptalah modul surya yang menghasilkan Arus Searah (DC), untuk penggunaan Arus Bolak Balik (AC) maka dipergunakan inverter.

a. *Biaya Investasi PLTS Atap*

Biaya investasi untuk sebuah PLTS Atap tipe Off-Grid sebagai berikut :

Tabel 2. Biaya Investasi PLTS Atap

No	Jenis Material	Jumlah	Harga (Rupiah)	Total Harga (Rupiah)
1	Modul surya 250 Wp	2 buah	2.500.000	5.000.000
2	Baterai Luminous 100 Ah	2 buah	2.200.000	4.400.000
3	Inverter 1200 Watt	1 buah	1.300.000	1.300.000
4	Solar Source Charge	1 buah	1.200.000	1.200.000
5	Kabel		128.000	128.000
TOTAL INVESTASI				**12.028.000**

b. *Perbandingan Biaya Beban Listrik*

Perbandingan biaya beban listrik sebelum dan sesudah pemasangan PLTS Atap per bulan terlihat dalam tabel di bawah ini :

Tabel 3. Perbandingan Biaya Beban Listrik

Biaya Beban Listrik	**Bulan I**	**Bulan II**	**Bulan III**
Sebelum Pemanfaatan PLTS Atap	400.000	-	-
Setelah Pemanfaatan PLTS Atap	300.000	250.000	272.000

Dari tabel terlihat penghematan biaya beban listrik selama pengamatan tiga bulan, dan terlihat penghematan tidak konstant, hal ini dipengaruhi oleh pemakaian beban yang tidak konstant dan kondisi matahari / cuaca pada saat itu. Jika diperhitungkan rata-rata biaya beban listrik perbulan setelah memanfaatkan PLTS Atap adalah : Biaya Beban Listrik = ∑ Biaya bulan ke / 3

= 822.000/3

= Rp.274.000,-/bulan

Maka selisih biaya beban listrik sebelum dan sesudah = 400.000 – 274.000= Rp.126.000,-/bulan Jika selisih diperhitungkan selama 1 tahun maka :

Jumlah selisih = 126.000 x 12= Rp.1.512.000,- yang dapat kita hemat.

Jadi dalam perhitungan kasar investasi awal akan kembali dalam **tahun ke 10** yaitu: 1.512.000 x 10 = **Rp.15.120.000,-**

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Conclusion

1. Pembangkit listrik tenaga matahari atau surya merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan.
2. Pembangkit listrik tenaga surya membutuhkan biaya investasi yang besar dan memerlukan waktu yang lama dalam pengembalian modal investasi.
3. Pembangkit listrik tenaga surya atap belum mampu untuk menjadi sumber energi utama berhubung kapasitas baterai belum memadai untuk penyimpanan energi listrik.
4. Pembangkit listrik tenaga surya atap mampu menghemat biaya beban listrik sekitar 31,5 %
5. Kondisi cuaca mempengaruhi waktu pengisian baterai.

References

Zuhal. (1993). *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama.

Saiful Anwar, Muhammad (2008). *Rancang Bangun Sistem Pengisian Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Stasiun Pengisian Accu*. Tugas Akhir. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. Tidak Dipublikasikan.

Abdulkadir, Ariono. (2011). *Eenergi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi*, Bandung: ITB.

Peraturan Presiden No. 22/2017 tentang RUEN

Makalah Sosialisasi PLTS Atap, PLN Wilayah Sumbagut

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Analisis Efisiensi Keluaran Energi Listrik Prototipe Sistem Pembangkit Tenaga *Pico Hydro* Menggunakan Jenis Turbin *Archimedes-Screw*

Maulana Abdul Jabar[1] , Gian Villany Golwa[1], Candra Bagus Prasetyo[1], Tony Indra Kusuma[1]
[1]Prodi Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana Jakarta
Jl. Meruya Selatan No. 31, Meruya Selatan, Kec. Kembangan, Kota Jakarta Barat, 11610
Email: maulanaabduljabar5@gmail.com

Abstract

Electric energy is one of the premier's needs today. The continuous use of fossil energy is increasingly being available in nature, therefore the need for alternative energy. one of them is potential energy utilization in residential water reservoirs. Pico hydro is one of the suitable in the utilization of such potential energy by using archimedes screw turbines where the technology works on low flow and head. The research was conducted by creating a prototype of the pico hydro plant with a comparison of the angle of the turbine slope in the test to measure the efficiency value of the turbine. From the test results were obtained maximum turbine power at a slope angle of 35° of 0.14 watts with an efficiency of 17.3 %, an angle of 45° of 0.13 watts with an efficiency of 14.9%, and 55° of 0.10 watts with an efficiency of 10.6%.

Keywords: *Renewable energy, pico hydro, archimedes screw turbines, turbine efficiency.*

Abstrak

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan premier saat ini. Penggunaan energi fosil yang terus menerus semakin berkurang ketersediaannya dia alam, oleh karena itu perlu adanya energi alternatif. salah satunya pemanfaatan energi potensial pada penampungan air perumahan. Pico hydro merupakan salah satu yang cocok dalam pemanfaatan energi potensial tersebut dengan menggunakan turbin jenis Archimedes screw dimana teknologi ini bekerja pada aliran dan head yang rendah. Penelitian ini dilakukan dengan membuat prototipe pembangkit pico hydro dengan perbandingan sudut kemiringan turbin pada pengujian untuk mengukur nilai efisiensi turbin. Dari hasil pengujian didapat daya maksimum turbin pada sudut kemiringan 35° sebesar 0.14 watt dengan efisiensi 17.3 %, sudut 45° sebesar 0.13 watt dengan efisiensi 14.9 %, dan 55° sebesar 0.10 watt dengan efisiensi 10.6 %.

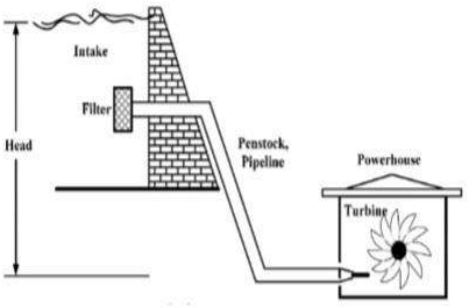
Kata Kunci: *Energi terbarukan, pico hydro, turbin archimedes screw, efisiensi turbin*

LATAR BELAKANG

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan premier dalam kehidupan sehari-hari saat ini. Perkembangan teknologi dan pertumbuhan penduduk menuntut pasokan listrik lebih tinggi.
Sumber energi listrik dengan menggunakan energi fosil saat ini, ketersediaanya di alam semakin lama semakin menyusut, oleh karena itu energi alternatif sangat dibutuhkan sebagai sumber energi terbarukan [1].

Di Indonesia sesungguhnya memiliki potensi sumber energi terbarukan yang sangat melimpah, seperti, pemanfaatan panas bumi, biodiesel, pemanfaatan surya, energi angin dan *hydro power* [2]. Oleh karena itu, kita harus dapat menganalisa dan melihat potensi pemanfaatan energi potensial yang ada disekitar kita.

Dari berbagai sumber energi terbarukan yang ada, *hydro power* merupakan salah satu teknologi sumber energi terbarukan yang efisien dalam pengembangannya. *Hydro power* memproduksi listrik dari hasil konversi energi perpindahan air dari tempat tinggi ke tempat rendah, sehingga pengembangan teknologi ini secara ekonomis dapat diprediksi dan dikomersil [3]. Dalam perkembangannya, teknologi *hydro power* dibagi menjadi dua klasifikasi, yaitu kapasitas daya dan fasilitasnya.



Gambar 1. *Hydroelectric generation diagram* [4]

Dimana berdasarkan kapasitas meliputi kapasitas daya besar, kecil, mini, mikro, dan piko hidro. Kemudian berdasarkan fasilitasnya meliputi lima teknologi, yaitu bendungan, aliran sungai,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

teknologi aliran, penyimpanan dipompa, dan teknologi vortex gravitasi.

Pembangkit *pico hydro* merupakan salah satu yang termasuk ke dalam klasifikasi bedasarkan kapasitas daya. Dimana energi listrik yang dihasilkan sebesar <5kW. Teknologinya dapat dioperasikan pada *head* dan aliran yang rendah. [2]

Dalam perkembangan teknologi turbin memiliki keberagaman variasi, salah satunya turbin jenis Archimedes screw yang termasuk ke dalam *pump as turbin (PAT)* dimana teknologi ini merupakan kebalikan dari teknologi pompa air. Teknologi tersebut yang kemudian dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan dalam sistem pembangkit tenaga *micro hydro* dan *pico hydro* [5].

Setelah melakukan observasi di lapangan, banyak terdapat potensi sumber energi yang dapat dimanfaatkan, salah satunya adalah potensial air pada penampungan air perumahan. Dengan melalui prototipe yang telah dibuat, penelitian ini akan menjabarkan nilai efisiensi keluaran energi listrik yang dihasilkan melalui perbandingan sudut kemiringan turbin Archimedes Screw.

TINJAUAN PUSTAKA

Energi Terbarukan (Renewable Energy)

Energi terbarukan adalah salah satu sumber energi alternatif yang dapat secara cepat diproses di alam. Pada dasarnya, Indonesia memiliki potensi sumber energi yang sangat besar ketersediaannya di alam. Dengan pemanfaatan sumber energi terbarukan, dapat mendorong pembangunan berkelanjutan di Indonesia terutama pada wilayah yang tidak terjangkau oleh pusat.

Di Indonesia saat ini telah terdapat bentuk energi baru dan terbarukan (EBT) salah satunya energi angin, energi air, energi surya, energi kelautan, energi biomasa. Seluruhnya telah tersebar di seluruh wilayah Indonesia dan telah diuji baik secara besar maupun kecil, potensi sumber energi air merupakan salah satu yang lebih efisien dalam pengembangannya.

Pembangkit Listrik Tenaga Air (Hydro Power)

Hydro power atau tenaga air merupakan salah satu bentuk dari energi matahari. Dimana energi surya yang dirubah menjadi energi panas laten pada proses penguapan air, menggerakan proses siklus hidrologi permukaan bumi dimana tenaga air bergantung [6].

Tenaga air sendiri merupakan energi terbarukan yang memanfaatkan potensial pada air. Produksi listrik pada *hydro power* memproses konversi energi perpindahan air dari tempat tinggi ke tempat rendah.

Dalam perkembanganya, *hydro power* memiliki klasifikasi jenis pembangkitnya yang didasarkan pada kapasitas daya dan teknologinya.

Tabel 1. Klasifikasi *hydro power* berdasarkan kapasitas daya [7].

Jenis Pembangkit	Daya
Large hydro	>100 MW
Medium hydro	15 – 100 MW
Small hydro	1 – 15 MW
Mini hydro	100 kW <x<1 MW
Micro hydro	5 – 100 kW
Pico hydro	<5 kW

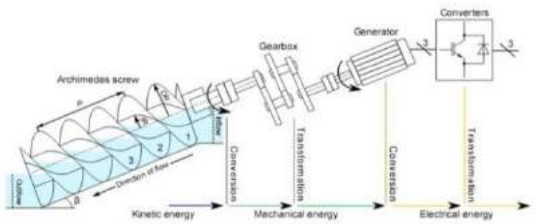
Tabel 1 menunjukan klasifikasi jenis pembangkit tenaga *hydro power* dengan berdasarkan kapasitas daya yang diperoleh. Dapat dilihat bahwa jenis pembangkit dengan kapasitas daya tertinggi adalah *large hydro* dimana mampu menghasilkan listrik sebesar >100 MW dan kapasitas terendah dalah *pico hydro* dengan daya yang dihasilkan sebesar <5 kW.

Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro

Piko hidro *(pico hydro)* adalah salah satu teknologi pembangkit tenaga air yang dikelompokan berdasarkan kapasitas daya, dimana piko hidro hanya mampu menghasilkan <5 kW merupakan jenis yang terendah dalam memproduksi listrik.Pada daerah-daerah terpencil, skema piko hidro telah diakui sebagai opsi paling efektif, dengan mempertimbangkan lingkungan, prespektif ekonomi, dan social. Di seluruh dunia implementasinya telah berhasil dikembangkan [8].

Prinsif kerjanya dimana dengan pengalihan Sebagian aliran air melalui pipa pada aliran utama, air yang dialihkan yang kemudian masuk kedalam sistem pembangkit. Sistem ini memiliki tinggi lebih rendah dari aliran utama, kemudian melalui turbin sebelum kembali ke aliran air utama.

Turbin Air Archimedes Screw



Gambar 2**.** Skema turbin archimedes screw [5]

Dari Gambar 2 di atas dapat kita ketahui bagaimana prinsif kerja turbin air jenis Archimedes screw, yaitu:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

1. Air masuk ke dalam sistem melalui *inlet* dan mengalir di sepanjang kisar sudu ulir dalam *bucket* dan keluar melalui lubang *outlet.*
2. Gaya beban pada sudu yang diberikan air dan beda tekanan hidrostatis kemudian mendorong sudu ulir dan memutarkan shaft terhadap sumbunya.
3. Rotor turbin kemudian meneruskan daya putar yang tehubung dengan generator, sehingga generator menghasilkan listrik.

Performansi Turbin Air

Performansi turbin merupakan kinerja turbin saat sedang beroperasi. Secara umum, kinerja turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [9]:

$$P_{in} = \rho Q g h \quad (1)$$

$$P_{out} = \rho Q g h n_{turbine} \quad (2)$$

$$P_{real} = \rho Q g h n_{turbine} . n_{generator} \quad (3)$$

Dimana:
P_{in} = daya masuk (watt)
P_{out} = daya keluaran turbin (watt)
P_{real} = daya yang sebenarnya dihasilkan (watt)
ρ = densitas air (kg/m^3)
Q = debit air (m^3/s)
h = ketinggian (m)

P_{out} atau daya keluaran dan torsi pada turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut [10]:

$$P_{out} = V.I \quad (4)$$

Dimana:
P_{out} = daya keluaran turbin (watt)
V = daya listrik yang dihasilkan oleh generator (v)
I = arus listrik yang dihasilkan (Ampere)

Kemudian untuk menghitung torsi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$P = T.2\pi.\frac{N}{60} \quad (5)$$

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{n}{60}} \quad (6)$$

$$n = 60\frac{P}{T.2\pi} \quad (7)$$

Dimana:
T = torsi (Nm)
P = daya (watt)
N = kecepatan putaran (rpm)

Dan untuk menghitung nilai efisiensi dari turbin, maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [11]:

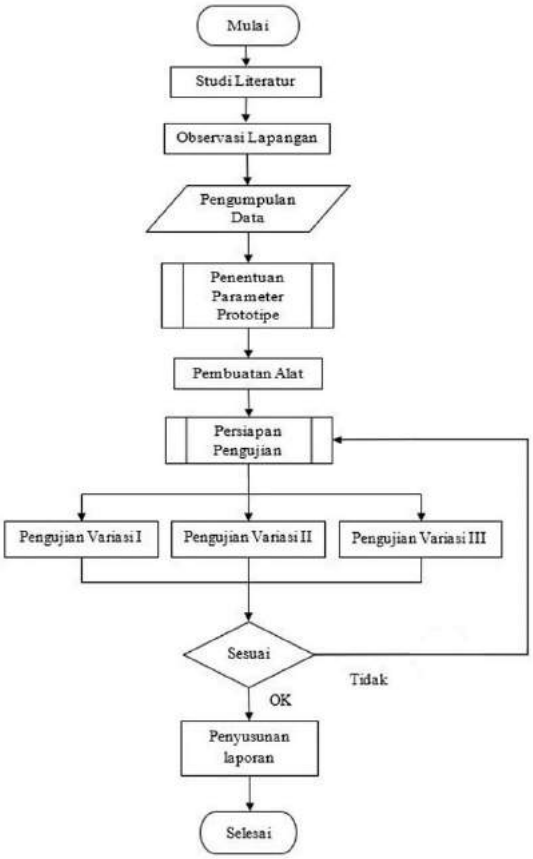
$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} x\ 100 \quad \% \quad (8)$$

Dimana:
P_{out} = daya keluar (watt)
P_{in} = daya masuk (watt)

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Metode dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode eksperimental dengan perancangan dan pengujian skala laboratorium. Runtutan penelitian dijelaskan melalui diagram alir berikut:



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Parameter Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan merancang dan membuat prototipe sistem pembangkit piko hidro dengan menggunakan turbin jenis Archimedes screw. Dimana dalam penelitian ini menggunakan variable

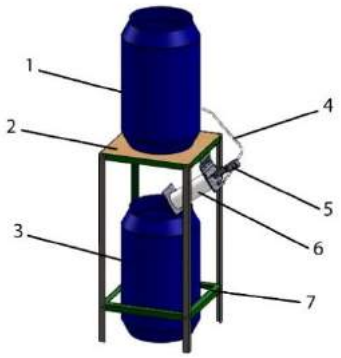
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

bebas, terdiri dari tiga variasi pengujian pada kemiringan turbin. Berikut merupakan variasi kemiringan pengujian:

1. Kemiringan turbin 35°
2. Kemiringan turbin 45°
3. Kemiringan turbin 55°

Desain Penelitian

Berdasarkan perancangan prototipe sistem pembangkit piko hidro dengan menggunakan metode VDI 2221, berikut adalah desain yang dikehendaki:



Gambar 4. Desain prototipe

Dari Gambar 4 di atas, dapat diketahui komponen-komponen utama pada prototipe sebagai berikut:

1. Tangki air 1
2. Alas dudukan tangki air
3. Tangki air 2 (*reservoir tank*)
4. Pipa pesat *(penstock)*
5. Generator
6. Turbin Archimedes Screw
7. Rangka prototipe

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Dan Pembuatan Rangka Prototipe

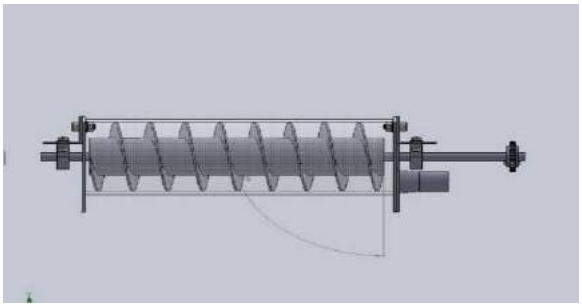
1. Pemilihan Bahan Rangka
   Bahan yang digunakan dalam pembuatan alat prototipe ini yaitu dengan menggunakan besi siku ukuran 40x40x3 mm.
2. Pembuatan Rangka
   Pembuatan rangka dilakukan dengan melalui proses pekerjaan seperti *cutting, grinding, welding, drilling* dan proses finishing. Rangka utama dibuat dengan ukuran Panjang 60 cm, lebar 60 cm, dan tinggi 120 cm.
3. Pembuatan Dudukan Generator
   Generator yang terhubung dengan shaft atau rotor turbin ditopang pada *cover* turbin melalui dudukan.
4. Proses Perakitan Rangka
   Pada proses ini dilakukan perakitan seluruh komponen utama pada prototipe.



Gambar 5. Rangka utama prototipe

Perancangan dan Pembuatan Turbin *Archimedes Screw*

Berdasarkan perancangan dengan menggunakan metode VDI2221 maka dipilih jenis turbin yang dikehendaki yaitu turbin jenis Archimedes screw, berikut merupakan desain turbin Archimedes screw:



Gambar 6. Desain turbin archimedes screw

Setelah dilakukan desain turbin *archimedes screw*, kemudian dilakukan proses pembuatannya dimana prosesnya meliputi:

1. Proses pembuatan sudu turbin dan shaft (rotor). Pada proses ini sudu dibuat dengan menggunakan proses 3D printing dengan bahan plastik. Kemudian pembuatan shaft dilakukan dengan menggunakan material jenis ST37 dengan ukuran Ø12mm dengan Panjang 450mm.
2. Proses pembuatan cover dan rumah turbin *(bucket)*
   Cover turbin meliputi inlet dan outlet turbin. Dibuat dengan menggunakan plat besi ukuran 172x140,5x5 mm.
3. Proses assembling turbin
   Dalam proses ini meliputi perakitan seluruh komponen utama turbin, seperti sudu turbin,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

rumah turbin, shaft, bearing, kopling, pipa inlet, *cover* turbin, dan generator.



Gambar 7. Turbin *archimedes screw* yang telah dirakit

Proses Finishing Prototipe

Tahapan ini merupakan tahapan terakhir dalam perancangan dan pembuatan prototipe pembangkit piko hidro dengan menggunakan turbin Archimedes screw, dimana pada proses ini meliputi proses penghamplasan, pengecatan, dan *assembling* seluruh komponen utama prototipe.



Gambar 8. Prototipe yang telah dirakit

Spesifikasi Prototipe dan Turbin

Tabel 2. Spesifikasi prototipe

No.	Komponen	Dimensi
1	Rangka	60x60x12 cm
2	Tangki Air	120 liter
3	Pipa *Penstock*	1" x 70 cm
4	Alas	60x60x2 cm
5	Valve	½"

Tabel 3. Spesifikasi teknis prototipe

No.	Parameter	Dimensi
1	Debit	33.10^{-4} m^3/s
2	Daya input	0 – 1.45 watt
3	Head efektif	25-40 cm
4	*Adjuster kemiringan*	35°, 45° & 55°

Tabel 4. Spesifikasi turbin

No.	Komponen	Dimensi
1	Sudu	1
2	Rumah turbin	Ø101.6 mm
3	*Shaft*	Ø12x450 mm
4	*Cover turbin*	172x140x4 mm
5	Inlet	25.4'

Analisis Perhitungan Performa Turbin

Penelitian dilakukan dengan pengujian pada prototipe yang sebelum nya telah dibuat, berikut merupakan perhitungan kinerja turbin:

Debit Aliran Air

Pengukuran debit air, dilakukan dengan metode manual, dimana disediakan wadah dengan ukuran yang telah ditentukan, kemudian air diukur dengan menghitung berapa lama air memenuhi wadah ukur tersebut.

$$\mathbf{Q = \frac{V}{t}}$$
$$\mathbf{Q = \frac{1\ liter}{3\ detik}}$$
$$\mathbf{Q = 0.33\ l/s}$$
$$\mathbf{Q = 33.10^{-4}\ m^3/s}$$

Head Efektif Turbin

Pengukuran head dilakukan dengan pengukuran menggunakan mistar, berikut head efektif pada turbin dengan variasi kemiringan:

- Kemiringan 35° = 25 cm
- Kemiringan 45° = 27 cm
- Kemiringan 55° = 29 cm

Daya Potensial Air

Berdasarkan variasi yang telah dikehendaki, berikut merupakan daya potensial air (P_{in}) pada turbin:

- Kemiringan 35°

$$P_{in} = \rho Q g h$$
$$P_{in} = 33.10^{-4}.1000.0{,}25.9{,}81$$
$$P_{in} = 0{,}81\ Watt$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

- Kemiringan 45°
  $P_{in} = \rho Q g h$
  $P_{in} = 33.10^{-4}.1000.0,27.9,81$
  $P_{in} = 0,87\ Watt$
- Kemiringan 55°
  $P_{in} = \rho Q g h$
  $P_{in} = 33.10^{-4}.1000.0,29.9,81 P_{in}$
  $= 0,94\ Watt$

Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan sudut kemiringan pada turbin, dengan begitu dapat diketahui pada sudut berapa nilai efisiensi tertinggi terjadi.



Gambar 9. Turbin pada kemiringan 35°

Gambar 9 di atas menunjukan letak turbin pada sudut kemiringan 35° pada prototipe. Berikut merupakan hasil pengujian pada prototipe yang telah dilakukan:



Gambar 10. Hasil pengukuran voltase pada sudut kemiringan turbin 35°



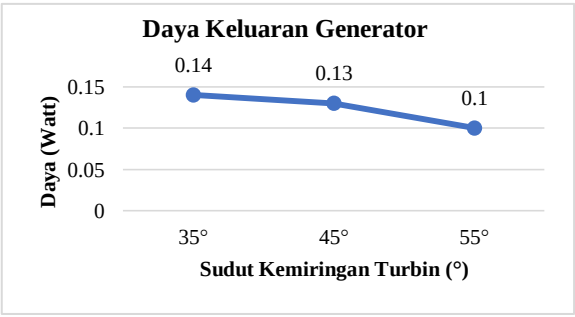
Gambar 11. Hasil pengukuran arus pada sudut kemiringan turbin 35°

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat dilihat besar keluaran turbin pada sudut kemiringan 35° sebesar 11 Volt yang ditunjukan oleh Gambar 10, dan dengan arus sebesar 13.10 mA yang ditunjukan pada Gambar 11.

Tabel 5. Data pengujian

Sudut	Putaran (rpm)	Debit (m^3/s)	*Output*		
			V (DC)	I (A)	P (Watt)
35°	167	33.10^{-4}	11	0.0131	0.14
45°	152	33.10^{-4}	10.47	0.0129	0.13
55°	146	33.10^{-4}	9.5	0.0108	0.10

Pada data yang ditampilkan oleh tabel di atas merupakan hasil dari pengujian pada prototipe, kemudian untuk melihat tren hasil pengujian maka divisualkan secara grafik pada Gambar 12 :



Gambar 12. Grafik hasil pengujian (daya)

Dari Gambar 12 di atas, dapat kita ketahui tren hasil dari pengujian yang telah dilakukan pada prototipe dimana daya yang dihasilkan tertinggi pada sudut kemiringan 35° dengan keluaran sebesar 0.14 watt, kemudian menurun dengan keluaran sebesar 0.13 watt pada sudut kemiringan 45° dan terendah sebesar 0.10 watt pada sudut kemiringan 55°

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Torsi Turbin Air

Untuk mengetahui besar torsi yang dihasilkan oleh turbin, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 6. Dari data yang dihasilkan oleh pengujian, berikut merupakan hasil perhitungan torsi yang dihasilkan oleh turbin:

- **Sudut Kemiringan 35°**

$$T = \frac{0.14}{2.3{,}14\ \frac{167}{60}}$$

$$T = 0.008\ Nm$$

- **Sudut Kemiringan 45°**

$$T = \frac{0.13}{2.3{,}14\ \frac{152}{60}}$$

$$T = 0.0082\ Nm$$

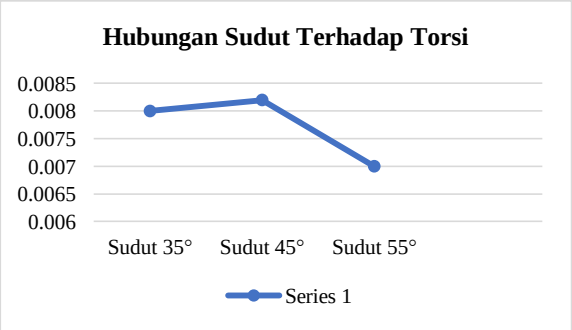
- **Sudut Kemiringan 55°**

$$T = \frac{0.10}{2.3{,}14\ \frac{146}{60}}$$

$$T = 0.007\ Nm$$

Tabel 6. Torsi yang dihasilkan turbin

Sudut Kemiringan	Torsi (Nm)
35°	0.008
45°	0.0082
55°	0.007



Gambar 13. Grafik hubungan torsi dengan sudut kemiringan turbin

Dari Gambar 13 di atas dapat kita lihat tren besar torsi yang dihasilkan oleh turbin terhadap pengaruh sudut kemiringan turbin, dimana nilai torsi terbesar dihasilkan oleh sudut kemiringan 45° sebesar 0.0082 Nm dan terendah pada sudut kemiringan 55° sebesar 0.007 Nm. Hal ini dipengaruhi oleh putaran turbin dan daya keluaran (P_{out}) yang dihasilkan.

Efisiensi Kinerja Turbin

Dari data pengujian yang telah dilakukan, maka untuk menghitung nilai efisiensi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Sudut kemiringan 35°

$$\boldsymbol{Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}}\ x\ 100\ \%}$$

$$Efisiensi = \frac{0.14}{0.81}\ x\ 100\ \%$$

$$Efisiensi = 17.3\ \%$$

- Sudut kemiringan 45°

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}}\ x\ 100\ \%$$

$$Efisiensi = \frac{0.13}{0.87}\ x\ 100\ \%$$

$$Efisiensi = 14.9\ \%$$

- Sudut Kemiringan 55°

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}}\ x\ 100\ \%$$

$$Efisiensi = \frac{0.10}{0.94}\ x\ 100\ \%$$

$$Efisiensi = 10.6\ \%$$

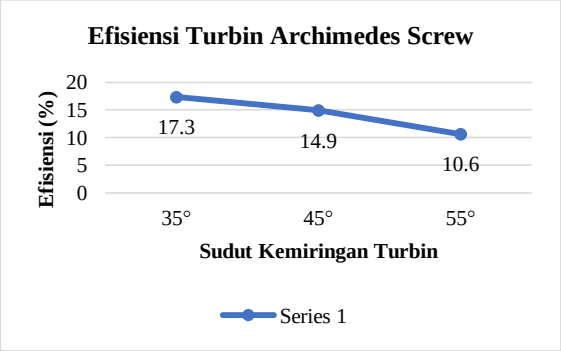
Dari data yang telah didapat pada pengujian, maka dapat kita lihat pada tabel berikut:

Tabel 7. Data pengujian

	Sudut Kemiringan		
	35°	**45°**	**55°**
Efisiensi (%)	17.3	14.9	10.6

Berdasarkan data pengujian yang ditunjukan oleh Tabel 7, maka dapat kita lihat tren dari hasil pengujian prototipe pembangkit tenaga piko hidro sebagai berikut:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 14. Grafik efisiensi turbin

Dengan melihat grafik 14 diatas, maka dapat disimpulkan bahwa nilai efisiensi turbin tertinggi terjadi pada sudut kemiringan 35° yaitu sebesar 17.3%. hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya tinggi rendam air pada sudu di dalam *bucket* turbin Archimedes screw. Semakin tinggi rendam air pada sudu maka semakin menurun putaran pada sudu, hal ini disebabkan oleh gaya tekan hidrolis balik.

Besar keluaran dan nilai efisiensi yang dihasilkan juga dapat dipengaruhi oleh factor teknis lain, seperti tinggi *head* efektif turbin dan debit aliran air yang masuk ke dalam sistem. Dimana semakin tinggi *head* efektifnya, maka semakin besar hasil yang didapat.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah diakukan, berikut merupakan kesimpulan dari penelitian ini:

1. Dalam merancang prototipe sistem pembangkit listrik tenaga piko hidro pada bak penampungan air perumahan dibagi menjadi dua perancangan komponen utama prototipe, yaitu perancangan rangka utama prototipe dan perancangan turbin Archimedes screw. Perancangan prototipe dilakukan dengan menggunakan metode VDI 2221 dan turbin Archimedes screw dengan metode Criss Rorres. Dari hasil perancangan didapat komponen utama yaitu Rangka Utama, Tangki Air, Pipa Pesat, Turbin, dan Generator dengan spesifikasi teknis debit air sebesar = 0 - 0033 m^3/s, daya input sebesar = 0 – 0.94 watt.
2. Dengan perbandingan sudut kemiringan pada turbin, didapat nilai efisiensi tertinggi terjadi pada sudut 35° yaitu sebesar 16.05% walaupun keluaran daya terbesar terjadi pada sudut 55°. Hal ini dipengaruhi oleh tinggi rendam air pada sudu di dalam *bucket* turbin Archimedes screw.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Suparno, Prastyawan, Y., & Rahmadyani, Z. (2014). Identifikasi Potensi Energi Mikrohidro Untuk Pemenuhan Kebutuhan Listrik Di Provinsi Kalimantan Utara. Simposium Nasional.

[2]. Lubis, A. (2017). ENERGI TERBARUKAN DALAM PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN . *J. Tek.Ling*, 155-162.

[3]. Elbatran, A. H., Abdel-Hamed, M. W., Yaakob, O., Ahmed, Y. M., & Ismail, M. A. (2015). Hydro Power and Turbine System Reviews. Jurnal Teknologi, 83-90.

[4]. Hepbasli, A. (2006). A Key Review On Exergetic Analysis and Assesment of Renewable Energy Resources for A Sustainable Future. *Elsevier*.

[5]. Nurdin, A. (2018). Kajian Teoritis Uji Kerja Turbin Archimedes Screw Pada Head Rendah. *Jurnal Simetris, Vol. 9 No. 2*, 783-796.

[6]. Paish, O. (2002). Micro-hydropower: Status and Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. *Part A: Journal of Power and Energy, 216*, 31-40.

[7]. Singh, P., & Nestmann, F. (2009). Experimental Optimization of A Free Vortex Propeller Runner For Micro Hydro Application. *Experimental Thermal and Fluid Science* , 991-1002.

[8]. Edeoja, A., Ibrahim, S., & Kucha, E. (2015). Suitability of Pico-Hydropower Technology For Addressing The Nigerian Energy Crisis - A Review. *International Journal of Engineering Inventions*, 17-40.

[9]. T, M. S., Syukri, M., & Sara, I. D. (2017). Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hydro Dengan Menggunakan Turbin Ulir. *Jurnal Online Teknik Elektro, Vol. 2 No. 1*, 16-22.

[10].Made, A. T., Antonius, I. W., & I Wayan, A. (2019). Eksperimental Pengaruh Variasi Sudut Ulir Pada Turbin Uli (Archimedes Screw) Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Dengan Head Rendah. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 83-90.

[11].Roy, H., & Fauzi, B. (2013). Rancang Bangun Prototipe Portable Mikro Hydro Menggunakan Turbin Tipe Cross Flow. *Seminar Nasional Fisika*, 19-25.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Analisis Karakteristik Elektrik Limbah Kulit Singkong Berbentuk Pasta Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Terbarukan

Tri Sutanto[(1)*], Amir Supriyanto[(1)], & Arif Surtono[(1)]

[(1)]Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung
Jl.Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Gedung Meneng Bandar Lampung 35145
**E-mail:tsutantovsungkal99@gmail.com*

Diterima (1 Februari 2018), Direvisi (16 Februari 2018)

Abstract.*The electrical characteristics of cassava peel and cassava can be determined by using a pair of electrode copper (Cu) and zinc (Zn). The measurement of the electrical characteristics of cassava peel had been done using a 5 watt LED load and when the load is released. Cassava peel and cassava are used without fermentation and with fermentation. Electrolyte cell that used consists of 20 cells, which were arranged in series and parallel, with volume ± 200 ml for one cell. The maximum power generated cassava peel 5.8597 mW, and 14.1052 mW on cassava. Zn_2 electrode (zinc battery used) produces a larger power, which is 5.8597 mW compared with Zn1 (ordinary zinc) is 1.9902 mW. Cassava peel without fermentation produces a larger voltage of 20.76 volts, compared with cassava peel 19.17 volts of fermentation. In cassava peel, circuit cell power in series a larger of 5.8597 volts, compared with circuit power in parallel is 5.7078 volts.*

Keywords :*Cu-Zn electrode, Fermentation, Cassava peel.*

Abstrak. Karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong dapat diketahui dengan menggunakan pasangan elektroda tembaga (Cu) dan seng (Zn). Pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong dilakukan dengan menggunakan beban LED 5 watt dan saat beban dilepas. Kulit singkong dan singkong yang digunakan tanpa fermentasi dan dengan fermentasi. Sel elektrolit yang digunakan terdiri dari 20 sel, yang dirangkai secara seri dan paralel, dengan volume ± 200 ml per sel. Daya maksimum yang dihasilkan kulit singkong 5.8597 mW, dan 14.1052 mW pada singkongnya. Elektroda Zn_2 (seng baterai bekas) menghasilkan daya yang lebih besar, yaitu 5.8597 mW dibandingkan dengan Zn_1 (seng biasa) yaitu 1.9902 mW. Kulit singkong tanpa fermentasi menghasilkan tegangan yang lebih besar yaitu 20.76 volt, dibandingkan dengan kulit singkong dengan fermentasi yaitu 19.17 volt. Pada kulit singkong, daya rangkaian sel secara seri lebih besar yaitu 5.8597 volt, dibandingkan daya rangkaian secara parallel yaitu 5.7078 volt.

Kata Kunci : Elektroda Cu-Zn, fermentasi, kulit singkong.

PENDAHULUAN

Listrik padam merupakan sebuah keadaan ketiadaan penyedian listrik di sebuah wilayah yang dampaknya luas. Penyebabnya dapat berupa perbaikan pada sistem pembangkit listrik, kerusakan di gardu listrik, kerusakan di jaringan kabel atau bagian lain dari sistem distribusi, sehingga terjadi pemadaman bergilir di Lampung. Saat ini, delapan pusat pembangkit listrik yang tersebar di Provinsi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Lampung, yaitu PLTU Tarahan 2x100 MW, PLTU Sebalang 2x100 MW, PLTP Ulubelu 1 dan 2 masing-masing 2x55 MW, PLTA Besai 2x45 MW, PLTA Batutegi 2x45 MW, serta PLTD Tarahan 3 dan 4 masing-masing 2x100 MW, secara total menghasilkan sekitar 890 MW daya listrik. Dampak dari mati listrik dapat mengganggu aktivitas masyarakat, diantaranya tidak bisa nonton televisi, aktivitas perkantoran terganggu, tidak adanya sumber cahaya pada malam hari, perlu sumber listrik untuk charger baterai laptop, handphone, dan sebagainya. Sehingga, diperlukan sumber energy listrik untuk memenuhi kebutuhan saat listrik padam, yaitu bisa dengan memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia. Salah satu umber daya alam yang berpotensi sebagai sumber energi listrik adalah limbah kulit singkong.

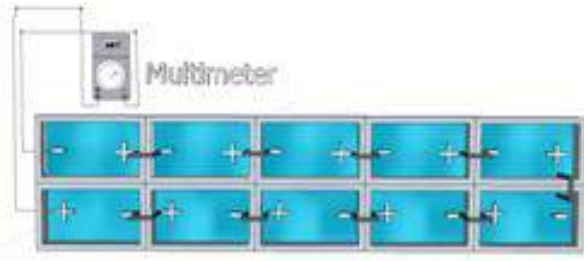
Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2015 di Indonesia produksi singkong mencapai 21.790.956 ton, sedangkan untuk daerah Lampung pada tahun 2015 mencapai 7.384.099 ton, atau sekitar 1/3 kali produksi singkong nasional. Hal ini menunjukkan berlimpahnya singkong di Indonesia khususnya untuk daerah Lampung [1]. Singkong telah digunakan oleh masyarakat umum untuk produksi tepung tapioka dan sebagai subtitusi makanan pokok, sedangkan daun singkong dikonsumsi sebagai sayuran. Kulit singkong yang merupakan bagian kulit luar umbi singkong tidak digunakan pada waktu penggunaan umbi, sebagian kecil kulit singkong ini hanya digunakan sebagai pakan ternak sedangkan sebagian lagi terbuang begitu saja. Setiap bobot singkong akan dihasilkan limbah kulit singkong sebesar 16% dari bobot tersebut [2] berarti pada tahun 2015 di Indonesia sudah terdapat kurang lebih mencapai 3.486.552 ton kulit singkong sedangkan untuk daerah Lampung kulit singkong yang dihasilkan mencapai 1.181.455 ton. Hal ini merupakan peluang besar untuk memanfaatkan limbah yang cukup melimpah tersebut[3].

Kulit singkong juga mengandung karbohidrat sebanyak 16,72 %(Winarno, 1990), yang dapat membentuk asam asetat (CH_3COOH), selain asam asetatterdapat juga asam sianida (HCN). HCN merupakan salah satu elektrolit yang dapat menghasilkan arus listrik, sehingga sangat memungkinkan bahwa kulit singkong dapat menghasilkan arus listrik. Untuk mengetahui karakteristik elektrik kulit singkong dan singkong dengan perlakuan menggunakan seng, berbentuk pasta, dan difermentasi untuk mengukur besarnya tegangan, hambatan dalam, dan arus yang dihasilkan [4]. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai energi listrik alternatif terbarukan di Provinsi Lampung yang memiliki limbah kulit singkong sangat banyak.

Penelitian sumber energi listrik alternatif sebelumnya telah dilakukan oleh [5], yang menggunakan berbagai variasi bahan elekrtoda seperti tembaga (Cu), alumunium (Al), besi (Fe), timah (Pb), dan kuningan (CuZn) untuk mengetahui efek kelistrikan yang ditimbulkan oleh variasi bahan elektroda yang terdapat pada limbah buah jeruk. Kemudian memanfaatkan baterai bekas dengan limbah kulit pisang dan durian sebagai sumber energi alternatif. Sedangkan, [6] melakukan analisis karakteristik elektrik limbah sayuran dengan memanfaatkan dua elektroda yaitu tembaga (Cu) dan seng (Zn). Serta [7], melakukan analisis karakteristik elektrik menggunakan berbagai jenis kulit singkong dan singkongnya sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengisi baterai *handphone*. Pada penelitian ini, telah dilakukan analisis karakteristik elektrik limbah kulit singkong dan daging singkong menggunakan tembaga, seng biasa, dan seng baterai bekas, dengan fermentasi dan tanpa fermentasi.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Media tempat uji karakteristik elektrik.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit singkong dan singkongsebagai elektrolit, akrilik untuk membuat media tempat penampungan elektrolit, tembaga (Cu), seng biasa (Zn_1), seng baterai bekas (Zn_2), perekat, kabel, jepit buaya, lampu LED 5 watt untuk menguji keberadaan karakteristik elektrik.

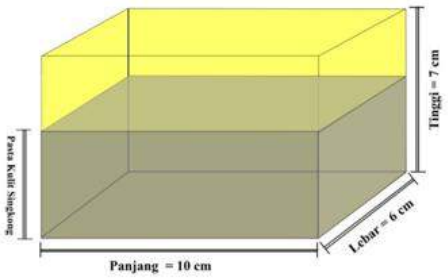
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:multimeter,, pH meter, gergaji besi, tang, gunting, gelas ukur,gunting, blender, dan spidol atau pensil. Pembuatan media tempat uji dibuat dari bahan akrilik yang dibentuk menjadi kotak persegi (sel) agar dapat digunakan untuk menampung berbagai elektrolit yang akan dibandingkan karakteristik elektriknya.

Data pengamatanakan di ambil setiap 2 jam sekali selama 24 jam, data yang diambil terdiri dari data pengamatan karakteristik elektrik limbah kulit singkong dan singkong saat beban dilepas (V_{bl}), data pengamatan karakteristik elektrik saat menggunakan beban (V_b), arus, kemudian data perhitungan untuk mencari daya (P), dan hambatan dalam (Rin). Beban yang digunakan adalah rangkaian LED dengan beban 5 watt. Sedangkan media tempat uji karakteristik elektrik yang digunakan berbentuk kotak dengan ukuran panjang 10 cm, lebar 6 cm dan tinggi 7 cm, setiap sel akan dimasukkan pasta kulit singkong atau singkong 200 ml.

Gambar 2. menunjukkan desain media pengambilan data karakteristik elektrik, pengambilan data karakteristik elektrik limbah kulit singkong dan singkong tanpa fermentasi dan dengan fermentasi, menggunakan 20 sel yang tersusun secara 20 seri, 10 seri 2 paralel, dan 5 seri 4 paralel, dengan menggunakan elektroda tembaga (Cu), seng biasa (Zn_1), seng baterai bekas (Zn_2).Sebelum akan melakukan pengambilan data karakteristik elektrik, juga akan mengambil data keasamaan dengan menggunakan pH meter.

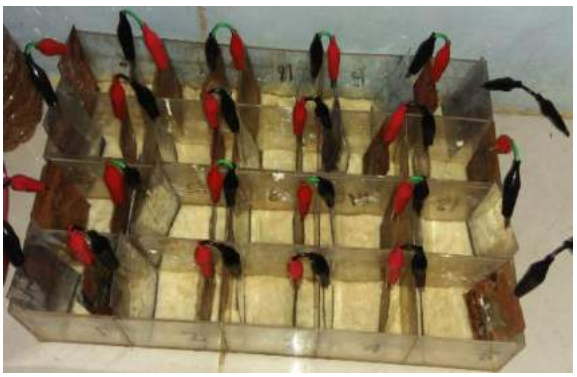
HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong dengan menggunakan elektroda Cu (tembaga), Zn_1 (seng biasa), dan Zn_2 (seng dari baterai bekas). Jumlah sel yang digunakan untuk pengukuran sebanyak 20 sel, dengan 20 sel seri, 5 seri 4 paralel, serta 10 seri 2 paralel. Selain mengukur karakteristik elektrik kulit singkong, penelitian ini juga mengukur karakteristik elektrik singkongnya, serta mengukur karakteristik elektrik tanpa fermentasi dan dengan fermentasi. Selain itu, pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong atau singkong dilakukan selama 1 hari atau 24 jam dengan rentang pengukuran setiap 2 jam sekali, dan pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong atau singkong tanpa fermentasi, dan dengan fermentasi selama 3 hari.



Gambar 2. Media tempat uji karakteristik elektrik.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

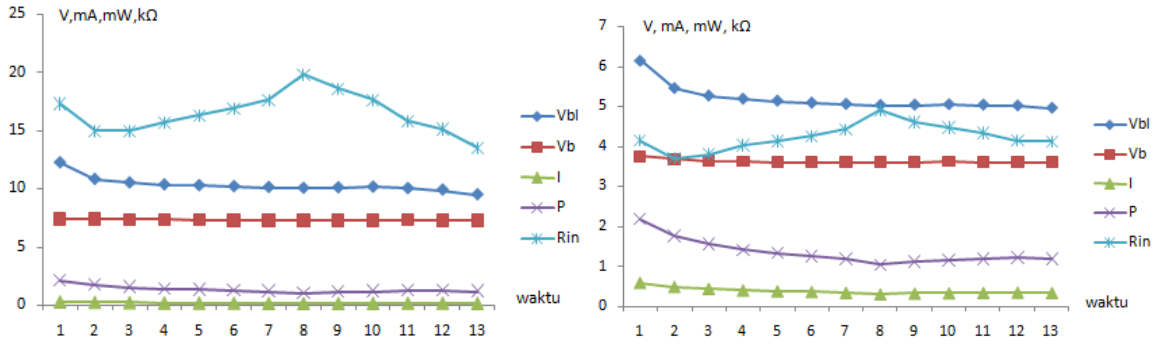


Gambar 3. Sel tempat uji karakteristik elektrik



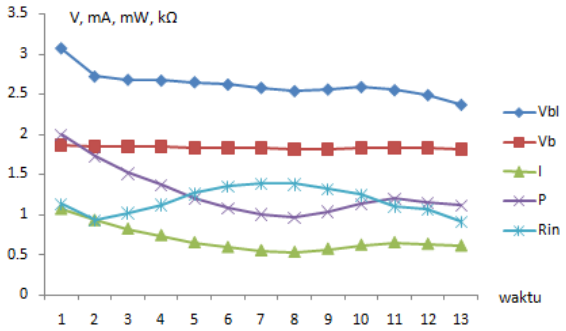
Gambar 4. Rangkaian keseluruhan sel tempat uji karakteristik

Pengukuran yang Selain itu, pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong atau singkong dilakukan selama 1 hari atau 24 jam dengan rentang pengukuran setiap 2 jam sekali, dan pengukuran karakteristik elektrik kulit singkong atau singkong tanpa fermentasi, dan dengan fermentasi selama 3 hari. Pengukuran yang dilakukan pada setiap pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan.



(a) (b)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(c)

Gambar 5. Grafik hubungan karakteristrik elektrik kulit singkong tanpa fermentasi menggunakan elektroda Cu dan Zn_1 terhadap waktu; (a) 20 seri, (b) 10 seri 2 paralel, dan (c) 5 seri 4 paralel.

Tabel 1. Kulit singkong dengan fermentasi 20 seri

No	Pukul	Waktu (Jam)	V_{bl} (Volt)	V_b (Volt)	I (mA)	P (mW)	R_{in} (kΩ)
1	12,00	0	10.9	7.5	0.62	4.65	5.483871
2	14,00	2	10.53	7.46	0.51	3.8046	6.019608
3	16,00	4	10.47	7.44	0.48	3.5712	6.3125
4	18,00	6	10.34	7.41	0.44	3.2604	6.659091
5	20,00	8	10.23	7.4	0.38	2.812	7.447368
6	22,00	10	10.08	7.4	0.31	2.294	8.645161
7	00,00	12	10.01	7.39	0.27	1.9953	9.703704
8	02,00	14	9.89	7.38	0.23	1.6974	10.91304
9	04,00	16	9.68	7.36	0.19	1.3984	12.21053
10	06,00	18	9.44	7.35	0.21	1.5435	9.952381
11	08,00	20	9.34	7.34	0.19	1.3946	10.52632
12	10,00	22	9.21	7.33	0.18	1.3194	10.44444
13	12,00	24	9.13	7.32	0.17	1.2444	10.64706

Tabel 2. Singkong tanpa fermentasi 20 seri

No	Pukul	Waktu (Jam)	V_{bl} (Volt)	V_b (Volt)	I (mA)	P (mW)	R_{in} (kΩ)
1	16,00	0	19.04	7.61	0.97	7.3817	11.78351
2	18,00	2	15.92	7.54	0.69	5.2026	12.14493
3	20,00	4	15.56	7.52	0.61	4.5872	13.18033
4	22,00	6	15.1	7.51	0.58	4.3558	13.08621
5	00,00	8	14.93	7.49	0.53	3.9697	14.03774
6	02,00	10	14.6	7.49	0.5	3.745	14.22
7	04,00	12	14.38	7.48	0.48	3.5904	14.375
8	06,00	14	14.21	7.47	0.45	3.3615	14.97778
9	08,00	16	14.08	7.47	0.42	3.1374	15.7381
10	10,00	18	13.93	7.47	0.4	2.988	16.15
11	12,00	20	13.79	7.46	0.37	2.7602	17.10811
12	14,00	22	13.65	7.45	0.34	2.533	18.23529
13	16,00	24	13.24	7.43	0.29	2.1547	20.03448

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Analisis Daya yang Dihasilkan Oleh Limbah Kulit Singkong dan Singkong

Singkong menghasilkan daya yang lebih besar yaitu 14.1052 mW, dibandingkan dengan kulit singkong yaitu, 5.8597 mW, karena bobot kulit singkong hanya 16% dari setiap bobot singkong. Daya yang dihasilkan pada kulit singkong 20 seri tanpa fermentasi sebesar 4,202 mW, dengan fermentasi sebesar 5,8597 mW. Pada 10 seri 2 paralel tanpa fermentasi sebesar 3,8122 mW, dengan fermentasi sebesar 5,5713 mW. Sedangkan pada 5 seri 4 paralel tanpa fermentasi sebesar 4,1638 mW, dengan fermentasi sebesar 5,7078 mW. Analisis elektrik pada limbah kulit singkong ditunjukan pada **Tabel 3**, sedangkan analisis pada singkong ditunjukan pada **Tabel 4**.

Tabel 3. Analisis kulit singkong

No	Variabel	Vb (volt)	I (mA)	P (mW)
1	A	7.42	0.28	2.0776
2	B	7.64	0.55	4.202
3	C	3.75	0.58	2.175
4	D	3.89	0.98	3.8122
5	E	1.86	1.07	1.9902
6	F	1.91	2.18	4.1638
7	G	7.5	0.62	4.65
8	H	7.61	0.77	5.8597
9	I	3.77	1.18	4.4486
10	J	3.79	1.47	5.5713
11	K	1.88	2.43	4.5684
12	L	1.89	1.89	5.7078

Tabel 4. Analisis singkong

No	Variabel	Vb (volt)	I (mA)	P (mW)
1	A	7.61	0.97	7.3817
2	B	7.78	1.24	9.6472
3	C	3.81	1.78	6.7818
4	D	3.89	2.39	9.2971
5	E	1.92	3.81	7.3152
6	F	1.95	4.87	9.4965
7	G	7.48	0.84	6.2832
8	H	7.81	1.8	14.058
9	I	3.73	1.61	6.0053
10	J	3.91	3.56	13.9196
11	K	1.88	3.31	6.2228
12	L	1.97	7.16	14.1052

Keterangan : A. Tanpa Fermentasi 20 Seri Zn_1, B: Tanpa Fermentasi 20 Seri Zn_2, C: Tanpa Fermentasi 10 Seri 2 Paralel Zn_1, D: Tanpa Fermentasi 10 Seri 2 Paralel Zn_2, E: Tanpa Fermentasi 5 Seri 4 Paralel Zn_1, F: Tanpa Fermentasi 5 Seri 4 Paralel Zn_2, G: Dengan Fermentasi 20 Seri Zn_1, H: Dengan Fermentasi 20 Seri Zn_2, I: Dengan Fermentasi 10 Seri 2 Paralel Zn_1, J: Dengan Fermentasi 10 Seri 2 Paralel Zn_2, K: Dengan Fermentasi 5 Seri 4 Paralel Zn_1, L: Dengan Fermentasi 5 Seri 4 Paralel Zn_2

Pada pengukuran tegangan kulit singkong yang terbesar yaitu 7.64 volt pada kulit singkong tanpa fermentasi 20 seri menggunakan elektroda Zn_2 (seng baterai bekas). Pengukuran arus kulit singkong yang terbesar yaitu 2.43 mA pada kulit singkong dengan fermentasi 5 seri 4 paralel menggunakan elektroda Zn_1 (seng biasa). Sedangkan, untuk pengukuran daya kulit singkong yang terbesar yaitu 5.8597 mW pada kulit singkong dengan fermentasi 20 seri menggunakan elektroda Zn_2 (seng baterai bekas). Elektroda Zn_2 (seng baterai bekas) menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan Zn_1 (seng biasa), karena kandungan Zn_2 (seng baterai bekas) lebih murni. Pada kulit singkong, daya rangkaian sel secara seri lebih besar yaitu 5.8597 mW, dibandingkan daya rangkaian secara paralel yaitu 5.7078 mW.

Pada pengukuran tegangan singkong yang terbesar yaitu 7.81 volt pada kulit singkong dengan fermentasi 20 seri menggunakan elektroda Zn_2 (seng baterai bekas). Untuk pengukuran arus singkong yang terbesar yaitu 7.16 mA pada kulit singkong dengan fermentasi 5 seri 4 paralel menggunakan elektroda Zn_2 (seng baterai bekas). Sedangkan, untuk pengukuran daya singkong yang terbesar yaitu 14.1052 mW pada singkong dengan fermentasi 5 seri 4 paralel menggunakan elektroda Zn_2 (seng baterai bekas). Elektroda Zn_2 (seng baterai bekas) menghasilkan daya yang lebih besar, dibandingkan dengan Zn_1 (seng biasa),

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

karena kandungan Zn_2 (seng baterai bekas) lebih murni.

KESIMPULAN

Elektroda Zn_2 (seng baterai bekas) menghasilkan daya yang lebih besar yaitu 5.8597 mW pada kulit singkong dan 14.1052 mW pada singkong, dibandingkan dengan Zn_1 (seng biasa) yaitu 1.9902 mW pada kulit singkong dan 6.0053 mW pada singkong, karena kandungan Zn_2 (seng baterai bekas) lebih murni.Kulit singkong atau singkong tanpa fermentasi menghasilkan tegangan yang lebih besar yaitu 20.76 volt, dibandingkan dengan kulit singkong atau singkong dengan fermentasi yaitu 19.17 volt, karena kulit singkong atau singkong dengan fermentasi mengandung lebih banyak alkohol yang merupakan elektrolit lemah.Pada kulit singkong, daya rangkaian sel secara seri lebih besar yaitu 5.8597 volt, dibandingkan daya rangkaian secara paralel yaitu 5.7078 volt.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada dosen pembimbing penelitian, Kepala Laboratorium Jurusan Fisika Universitas Lampung untuk fasilitas laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Abdal dan A. Irwan, Fadhilah, "Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik dengan Total Dissolved Solid (TDS) dan Temperatur pada Beberapa Jenis Air," *jurnal*, vol. 5, no. 1, p. 86, 2016.

[2] C. Hidayat, *Peluang Penggunaan Kulit Singkong Sebagai Pakan Unggas*. 2009.

[3] H. Chinyelu, C. H. Amos, T., dan Bamidele, M.W., Madukosiri, "The Effect of Processing on the Sodium, Potassium and Phosphorus Content of Six Locally Consumed Varieties of Manihot esculenta Grown in Bayelsa State," *Pakistan J. Nutr.*, vol. 8, no. 10, pp. 1521–1525, 2009.

[4] F. Winarno, "Singkong dan Pengolahannya," *Aksara Baru*, 1990.

[5] E. . Landis, "Some of the Laws Concersing Voltaic Cells," *J. Franklin Inst. State Pennsylvania*, vol. CLXVIII, no. 6, pp. 399–420, 1989.

[6] A. . Imamah, "Efek Variasi Bahan Elektroda Serta Variasi Jarak Antar Elektroda Terhadap Kelistrikan Yang Dihasilkan oleh Limbah Buah Jeruk (Citrus sp.)," *Skripsi*, 2013.

[7] Harjono, "Analisis Karakteristik Elektrik Limbah Sayuran Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan," *Skripsi*, 2016.

[8] Irsan, "Analisis Karakteristik Elektrik Limbah Kulit Singkong (Manihot esculenta Crantz) Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Terbarukan Untuk Mengisi Baterai Handphone," *Skripsi*, 2016.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Received: Maret 2019	Accepted: April 2019	Published : April 2019

Analisis Kecepatan Angin Pesisir Pantai Monpera Sebagai Sumber Energi Terbarukan Kota Balikpapan

Adhe Yusphie Panca Tentra Sandika[1*], David Christover[2], Mohammad Saiful Rozikin[3], Budiani Fitria Endrawati[4]

[1,2,3,4]*Institut Teknologi Kalimantan, Karang Joang, kota Balikpapan*

[*]*E-mail: tetraskeith01@gmail.com*

Abstract

Balikpapan as one of the cities in East Kalimantan with unique characteristic region of topographic condition consisting coastal area with hilly land that wind potential can be utilized. Based on data from BAPPEDA Balikpapan city explained that the topography of Balikpapan is almost entirely hilly (85%), and the height of area from sea level ranges is 0-80 meters. Characteristics of the region, the height of the area from the sea surface is one of the factors that affected the movement of the existing airflow thus affecting the wind speed generated in coastal city Balikpapan. Based on the phenomenon, became an object of our research to knowing how big the potential of coastal breeze MONPERA to becoming a source of renewable energy. This research uses media *tools to supported in taking research data that is horizontal wind turbine DC 12 / 24V 400W so that will get results of data consists of wind speed, maximum power, real power and total power obtained which the results is the highest wind speed equal to 11,15 knots (5.66 m / s), maximum power is 74,129 Watt, real power is 39,99 Watt, total power is 125,092 Watt and electrical power is 27,18 Watt.*

Keywords: *Balikpapan, Potential, Power, Speed, Wind*

Abstrak

Balikpapan sebagai salah satu kota di Kalimantan Timur, merupakan kota dengan karakteristik wilayah yang cukup unik dengan kondisi topografi wilayah yang terdiri dari daerah pesisir dengan daratan yang berbukit hingga potensi angin yang dapat dimanfaatkan. Berdasarkan data Bappeda kota Balikpapan menjelaskan bahwa topografi Balikpapan yang hampir seluruhnya berbukit (85%), serta ketinggian wilayah kota Balikpapan dari permukaan air laut berkisar 0–80 meter. Karakteristik wilayah, ketinggian daerah dari permukaan laut merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap gerak aliran udara yang ada sehingga mempengaruhi kecepatan angin yang dihasilkan di pesisir kota Balikpapan. Berdasarkan fenomena tersebut, hal ini menjadi sebuah objek penelitian kami dalam mengetahui seberapa besar potensi kecepatan angin di pesisir pantai MONPERA kota Balikpapan untuk menjadi sumber energi terbarukan. Penelitian ini menggunakan media alat yang menunjang dalam pengambilan data penelitian yaitu berupa turbin angin horizontal DC 12/24V 400W sehingga akan didapatkan hasil data berupa kecepatan angin, daya maksimum, daya nyata dan daya total yang diperoleh pada daerah tersebut yaitu kecepatan angin tertinggi sebesar 11.15 knot (5,66 m/s), daya maksimum sebesar 74,129 Watt, daya nyata sebesar 39,99 Watt, daya total sebesar 125,092 Watt dan daya output elektrik sebesar 27,18 Watt.

Kata kunci: Angin, Balikpapan, Daya, Kecepatan, Potensi

PENDAHULUAN

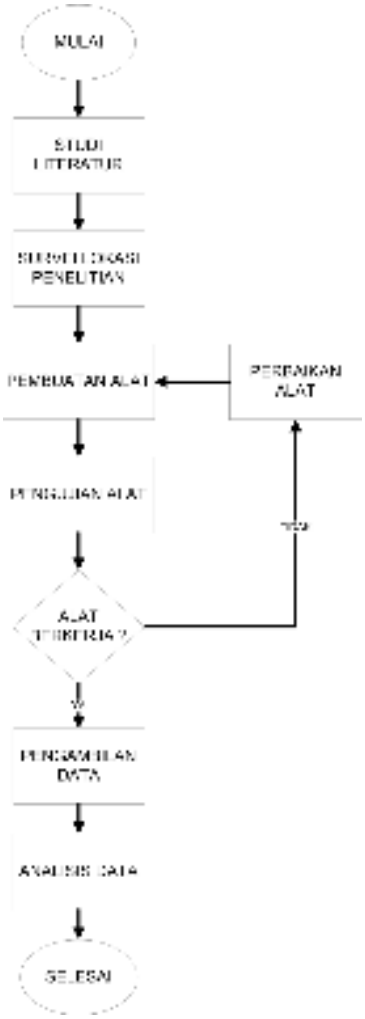
Berdasarkan data Bappeda kota Balikpapan [1] bahwa luas wilayah kelas lereng di kota Balikpapan adalah 0-2% seluas 6.976 Ha, 2-15% seluas 5.709 Ha, 15-40% seluas 12.394 Ha, serta >40% seluas 18.171 Ha.Data tersebut menunjukkan bahwa sebagian besarwilayah Kota Balikpapan mempunyai kelas lereng >40% yakni seluas 18.171 Ha. Kemiringan ini dampak pada topografi Balikpapan yang hampir seluruhnya berbukit (85%), terutama dibagian utara wilayah kota, serta ketinggian wilayah kota Balikpapan dari

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

permukaan air laut berkisar 0-80 meter.Karakteristik wilayah serta ketinggian daerah dari permukaan laut Kota Balikpapan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh pada unsur-unsur curah hujan dan tinggi rendahnya suhu yang ada, sehingga mempengaruhi cuaca serta iklim kota Balikpapan yang tidak menentu. Akibat hal tersebut maka kecepatan angin yang ada di Kota Balikpapan termasuk labil dan memiliki potensi yang tidak menentu untuk digunakan sebagai *renewable energy* (energi terbarukan) sehingga diperlukan adanya penelitian lebih lanjut guna mengetahui hal tersebut [2].

METODOLOGI

Metode penelitian dapat digambarkan pada *FlowChart*, dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. *Flowchart* Metode Penelitian

Pengumpulan Informasi

Metode yang digunakan dalam studi literatur adalah dengan mencari sumber-sumber data dari buku dan jurnal yang berkaitan dalam menunjang pembuatan proposal penelitian tersebut. Instrumen alat kami adalah dengan menggunakan turbin angin *(wind turbine)* 400W 12/24V, *inverter*, sensor dan buku-buku yang berkaitan dengan tema kegiatan penelitian [3].

Survei Lapangan

Dalam penelitian harus dilakukan pengamatan lokasi yang akan dituju yaitu pesisir pantai MONPERA terkait dengan perancangan tepat guna di pesisir pantai yang mempunyai potensi kecepatan angin yang tinggi dan pemakaiannya lebih efisien. Dalam hal ini masalah yang ada adalah kecepatan angin di kota Balikpapan yang tidak menentu, serta untuk mengetahui apakah kecepatan angin kota Balikpapan memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan atau tidak [2].

Pembuatan Media Alat Penelitian

Perakitan alat ini bertujuan untuk mendapatkan mekanisme dan fungsi yang optimal dengan memperhatikan data yang telah didapat berdasarkan hasil observasi. Berikut merupakan komponen yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah:



Gambar 2. Sensor Anemometer Vertikal

Sensor Anemometer Vertikal sebagai alat untuk mengukur kecepatan angin dari segala arah.



Gambar 3. *Arduino Uno*

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Arduino Uno sebagai mikrokontroler yang mengatur seluruh fungsi kerja seluruh sensor yang digunakan.



Gambar 4. Turbin Angin

Turbin angin sebagai sumber pembangkit listrik dan alat utama mengukur daya.



Gambar 5. *Accu 12v 3.5 A*

Aki 12v 3.5 A sebagai baterai penyimpan daya yang dihasilkan oleh turbin angin.



Gambar 6. *Inverter DC to AC 300W*

Inverter berfungsi untuk mengubah arus DC pada aki menjadi arus AC.



Gambar 7. *Micro SD Module*

Micro SD Module berfungsi sebagai media penyimpan data di dalam *SD Card* atau kartu memori.



Gambar 8.*RTC(Real Time Clock)*

RTC sebagai pengatur waktu secara *Real Time.*

Dari komponen tersebut kemudian disatukan hingga membentuk media akhir untuk penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 9. Rangkaian Alat Setelah Disatukan

Proses kerja alat ini adalah dengan memberikan suplai listrik melalui turbin angin untuk disimpan ke dalam baterai/*accu* dan dilengkapi *Inverter DC to AC 300W* digunakan untuk menghidupkan mikrokontroler *Arduino Uno* dan sensor. Sensor yang berupa anemometer vertikal dihidupkan untuk membaca data kecepatan angin melalui mikrokontroler untuk disimpan ke *Micro SD Module* yang diintegrasikan dengan *RTC Module* sebagai pemberi tanda berupa waktu pengambilan setiap data.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi Turbin Angin

Efisiensi pada turbin angin adalah perbandingan antara energi kinetik yang diserap oleh turbin angin terhadap energi kinetik angin yang tersedia dan dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$Cp = \frac{\text{Daya maksimum Turbine}}{\frac{1}{2} * \rho * A * v^3} 100\% \quad (1)$$

$$Cp = \frac{400}{\frac{1}{2} * 1{,}22 * 1{,}13097 * (5{,}66)^3} 100\%$$

$$Cp = 31{,}97\%$$

Keterangan:
Cp = Efisiensi Turbin
ρ = Densitas udara (Kg/m^3)
A = Luas Penampang (m^2)
v = Kecepatan Angin (m/s)

Energi Kinetik

Dikarenakan angin adalah udara yang bergerak maka udara mempunyai massa sehingga energi yang ditimbulkannya dapat dihitung sebagai berikut:

$$Ek = 0{,}5 * M * v^2 \quad (2)$$
$$Ek = 0{,}5 * 15 * (5{,}66)^2$$
$$Ek = 240{,}267\ J$$

Keterangan:
M = massa (kg)

Daya Total Mekanis

Dayatotal aliran angin adalah sebanding dengan tenagakinetik aliran udara yang dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$Ptot = \frac{1}{2Gc} * \rho * A * v^3 \quad (3)$$

$$Ptot = \frac{1}{2 * 1} * 1{,}22 * 1{,}13097 * (5{,}66)^3$$

$$Ptot = 125{,}092\ watt$$

Keterangan:
Gc = Faktor Konversi

Daya Maksimum Mekanis

Daya maksimum angin yang dapat diserapoleh sudu rotor dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$Pmax = \frac{8}{27} * \rho * A * v^3 \quad (4)$$

$$Pmax = \frac{8}{27} * 1{,}22 * 1{,}13097 * (5{,}66)^3$$

$$Pmax = 74{,}129\ watt$$

Daya Nyata Mekanis

Daya nyata adalah daya yang dapat dimanfaatkan oleh turbin untuk dijadikan sebagai energi baru yang dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$P = Cp * Ptot \quad (5)$$

$$P = 31{,}97\ \% * 125{,}092$$

$$P = 39{,}99\ watt$$

Kecepatan Sudut

Selanjutnya adalah menemukan nilai kecepatan sudut turbin dengan asumsi kecepatan putar sebesar 500 rpm adalah sebagai berikut:

$$\omega = \frac{\pi * n}{30} \quad (6)$$

$$\omega = \frac{\pi * 500\ rpm}{30}$$

$$\omega = 52{,}36\ rad/s$$

Keterangan:
ω = Kecepatan Sudut (rad/s)
n = Kecepatan putar (rpm)

Torsi

Semua benda yang berputar selalu terdapat torsi, yaitu gaya yang menyebabkansebuahtetapdapatberputarpad akecepatanputarnya. Setelah menemukan nilai kecepatan sudut, besarnyatorsi dapat diperhitungkandalampersamaan sebagai berikut:

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

$$\tau = \frac{\pi * D * Ptot}{\omega} \quad (7)$$

$$\tau = \frac{\pi * 1{,}2 * 125{,}092}{52{,}36}$$

$$\tau = 9{,}007 \text{ Nm}$$

Keterangan:
D = Diameter (m)

Tip Speed-Ratio

Tip – Speed Ratio (TSR) adalah perbandingan kecepatan angin dengan kecepatan sudu. Lalu untuk kecepatan angin nominal tertentu, TSR akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. TSR dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\pi * D * n}{60v} \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{\pi * 1{,}2 * 771}{60 * 5{,}66}$$

$$\lambda = 8{,}56$$

Keterangan:
n = Kecepatan Putar (rpm)

Tegangan yang Dibangkitkan

Berikutnya adalah menemukan tegangan yang dibangkitkandengan jumlah lilitan per kumparan sebanyak 50 lilitan, frekuensi sebesar 50 Hz, nilai kumparan stator sebanyak 6 buah, jumlah fase sebanyak 1 fase dan nilai fluksnya *neodydmium* N50 sebesar 1,45 Wb/m^2 dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$E_S = 2\pi * f * N * \emptyset * \frac{N_S}{N_{ph}} \quad (9)$$

$$E_S = 2\pi * 50 * 50 * (1{,}45 * 0{,}0004) * \frac{6}{1}$$

$$E_S = 53{,}72 \text{ Volt}$$

Keterangan:
E_S = Tegangan yang dibangkitkan (Volt)
f = Frekuensi (Hz)
N = Jumlah lilitan per kumparan
$\emptyset$ = Nilai fluks *neodydmium* N50 (Wb/m^2)
N_S = Nilai kumparan stator
N_{ph} = Jumlah fase

Daya *Output* Elektrik

Setelah mendapatkan nilai dari kecepatan sudut dan torsi, maka berikutnya adalah menemukan nilai daya *output* dengan nilai arusnya sebesar 0,506 Ampere menggunakan perhitungan sebagai berikut:

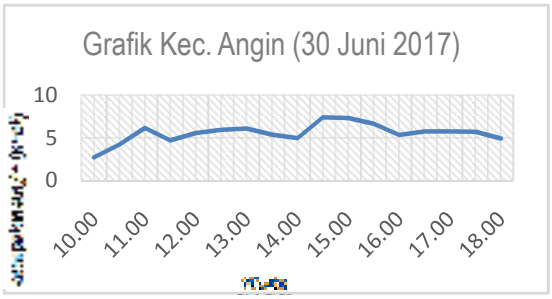
$$Pout = E_S * I \quad (9)$$

$$Pout = 53{,}72 * 0{,}506$$

$$Pout = 27{,}18 \text{ watt}$$

Keterangan:
I = Arus (Ampere)

Kemudian, berdasarkan data yang ditampilkan pada gambar 10 tersebut memberikan penjelasan berupa tingkat kestabilan kecepatan angin selama 9 jam dimana kecepatan angin tersebut lebih seimbang dengan adanya peningkatan dan penurunan pada tiap 1 jam yang memiliki variabel tidak begitu jauh sehingga lebih konsisten. Hal ini sesuai dengan teori pada jurnal penelitian *World Meteorological Organization Instruments And Observing Methods Report No.106* yang menyatakan bahwa hasil data dengan analisis yang akurat membutuhkan tingkat efisiensi dan tingkat konsistensi tertentu dimana jumlah variabel antar data tidak memiliki tingkat yang jauh dan dominan kecil perbedaannya agar memiliki hasil data yang sesuai [4].

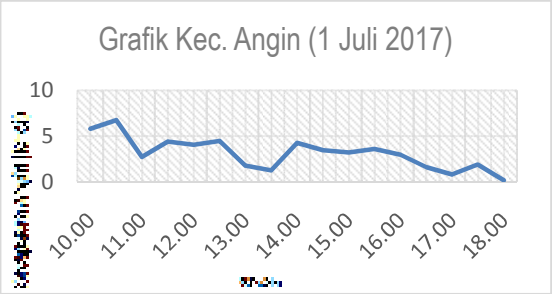


Gambar 10. Data kecepatan angin pada 30 Juni 2017

Data yang ditampilkan pada gambar 11 memberikan penjelasan dengan adanya perubahan signifikan dimana pada gambar tersebut menampilkan adanya tingkat penurunan kecepatan angin yang cenderung menurun dan memiliki tingkat kenaikan yang lebih sedikit perbandingannya namun memiliki variabel yang tidak begitu jauh dan dominan memiliki nilai perbedaan yang kecil. Tingkat dominan penurunan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

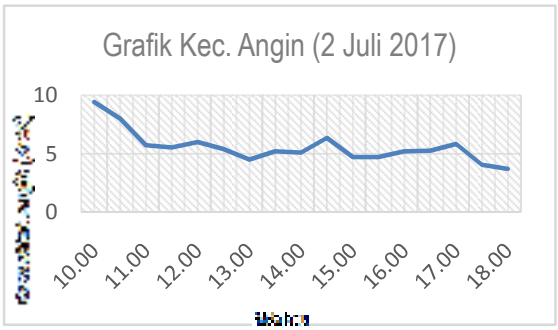
kecepatan angin dengan variabel terjauh hanya terjadi pada pukul 10:00 WITA hingga 11:00 WITA setempat sehingga analisis dari hasil data tersebut masih bisa diterima sesuai dengan teori jurnal penelitian *World Meteorological Organization Instruments And Observing Methods Report No.106* [4].



Gambar 11. Data kecepatan angin pada 1 Juli 2017

Data yang ditampilkan pada gambar 12 memberikan penjelasan yang menyatakan adanya tingkat penurunan signifikan pada pukul 10:00 WITA sampai dengan 11:00 WITA setempat yang kemudian pada jam-jam setelahnya kembali stabil dengan tingkat penurunan dan peningkatan yang seimbang dengan variabel nilai perbedaannya yang cenderung kecil. Jika dibandingkan dengan grafik pada gambar 11, hasil analisis data pada gambar 12 memiliki nilai yang lebih tinggi dan jauh lebih stabil dibandingkan dengan gambar 11 yang cenderung memiliki penurunan tingkat kecepatan angin hingga mendekati nilai nol. Dalam hal ini, perlu diketahui bahwa nilai nol yang didapatkan dalam penelitian tetap dianggap ada atau bernilai dikarenakan nilai variabel nol sangat berpengaruh dalam hasil analisis akhir data yang berupa kesimpulan.

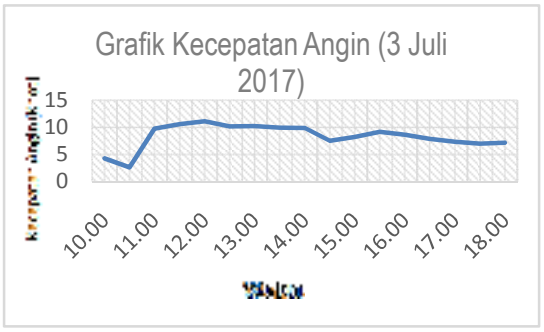
Penjelasan ini juga secara tidak langsung telah didukung dengan berdasarkan teori pada jurnal penelitian milik *World Meteorological Organization Instruments And Observing Methods Report No.106* dan *Guide Meteorological Instruments And Methods Of Observation* yang menyatakan bahwa tingkat *error* suatu data ditentukan saat data tersebut tidak dapat dibaca atau terbaca dari instrumen yang digunakan beserta metodenya, yang hal ini memiliki perbedaan arti jika data yang dimiliki bernilai nol [4] [5].



Gambar 12. Data kecepatan angin pada 2 Juli 2017

Data yang ditampilkan pada gambar 13 memberikan penjelasan berupa adanya penurunan tingkat kecepatan angin pada pukul 10:00 WITA sampai dengan 11:WITA dan mengalami peningkatan kecepatan angin yang sangat signifikan pada pukul 11:00 WITA hingga 11:25 WITA setempat, dimana pada jam-jam setelahnya mengalami kestabilan pada variabel data yang dihasilkan sehingga memiliki tingkat pemerataan pada peningkatan dan penurunan variabel yang cenderung seimbang.

Jika dibandingkan dengan grafik pada gambar 11, grafik pada gambar 13 memiliki peningkatan kecepatan angin jauh lebih tajam serta didahului oleh penurunan tingkat kecepatan angin yang tidak begitu signifikan dan sesuai dengan teori pada jurnal penelitian *World Meteorological Organization Instruments And Observing Methods Report No.106* [4].



Gambar 13. Data kecepatan angin pada 2 Juli 2017

Kemudian, hasil data berupa kecepatan angin dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1. Hasil Data Kecepatan Angin

Hari & Tanggal	Kecepatan Angin (knot)		
	Minimal	Maksimal	Rata-rata
Jumat, 30 Juni 2017	1,9	8,2	5,55
Sabtu, 1 Juli 2017	0	8,4	3,14
Minggu, 2 Juli 2017	3,3	10,8	5,58
Senin, 3 Juli 2017	1,5	11,15	8,36

Berdasarkan pada data tabel 1 maka dapat diperhatikan bahwa pada hari Jum'at kecepatan angin 5,55 knot, lalu pada hari Sabtu kecepatan angin 3,14 knot, kemudian pada hari Minggu kecepatan angin 5,58 knot kondisi cerah dan pada hari Senin kecepatan angin 8,36 knot.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kegiatan penelitian didapatkan berupa data kecepatan angin dan perhitungan daya yang diperoleh pada daerah tersebut, dapat diketahui bahwa kecepatan angin tertinggi yang dihasilkan adalah sebesar 11,15 knot atau 5,66 m/s dengan perolehan daya maksimum mekanis sebesar 74,129 Watt, daya nyata mekanis sebesar 39,99 Watt, daya total mekanis sebesar 125,092 Watt dan daya *output* elektrik sebesar 27,18 Watt.

Hasil penelitian ini didapatkan dengan menggunakan turbin angin horizontal DC 12/24V 400W dengan tinggi tiang penyangga sebesar 3 meter dan diameter sudu sebesar 1,2 meter sehingga masih adanya kemungkinan peningkatan terhadap energi listrik yang dihasilkan jika menggunakan turbin angin horizontal dengan ukuran yang lebih besar dan lebih tinggi serta pemasangan yang dilakukan secara merata di kota Balikpapan.

SARAN

Untuk penelitian selanjutnya, diperlukan setidaknya minimal 4 turbin angin jenis horizontal dengan spesifikasi yang sama agar didapatkan korelasi yang tepat mengenai kecepatan angin dengan listrik yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian tersebut tidak akan mendapatkan hasil yang sesuai jika tanpa adanya bantuan dari dosen pembimbing dan teman seperjuangan Institut Teknologi Kalimantan demi tujuan bersama yaitu penelitian dengan kebermanfaatan yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. "*Analisa Penyusun Kecepatan Angin Kota Balikpapan"*. Balikpapan (2015).
[2] Badan Perencanaan Pembangunan Daerah. "*Kajian Energi Terbarukan Di Kota Balikpapan*". Balikpapan (2015).
[3] Kalmikov, Alex. *"Wind Power Fundamentals"*. MIT University (2010).
[4] World Meteorological Organization. "*World Meteorological Organization Instruments And Observing Methods Report No.106"*. Geneva 2, Switzerland (2011).
[5] World Meteorological Organization. "*Guide Meteorological Instruments And Methods Of Observation"*. Geneva 2, Switzerland (2011).

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

JURNAL NATAPRAJA
Kajian Ilmu Administrasi Negara

Vol. 7, No. 2, 2019 https://journal.uny.ac.id/index.php/natapraja pp. 153-168

ANALISIS *OPEN GOVERNMENT* PADA DIREKTORAT JENDEREAL ENERGI BARU, TERBARUKAN DAN KONSERVASI ENERGI, KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL, REPUBLIK INDONESIA

Anggraeni Respitawulan

Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, Indonesia

anggra_respita@yahoo.com

ABSTRACT

The change paradign in energy demand side and supply side management make goverment should think creatively to increase nergy national mix 23% at 2025 with new and renewable energy development programme. This research aims to describe the open goverment strategy condition in new and renewable energy development programme use kualitatif method through interview and observation. In general, implementation of open government have on the directorate general ebtke has been implemented in terms of planning, implementation and supervision activities. This reseach find that new and renewable energy programme basically has a good platform, proven from a lot of using information and technology to support the programme. But unfortunately, many platform are not used optimally to increase tranparency, participation and collaboration as a open goverment theory to the new and renenwable energy programme. In the transparency aspect informatio technology has used to broadcast information, in participation aspect, public has no access to policy formulation. While in the collaboration aspect show with many cooperation between goverment, private sector, public, NGO and other institution or country in various new and renewable energy programme.
***Keywords**: Transparency, Participation, and Collaboration.*

ABSTRAK

Perubahan paradigma pengelolaan energi dalam sisi *demand side management* dan *suplly side management* pemerintah perlu berfikit kreatif untuk meningkatkan target bauran energi nasional sebesar 23% pada tahun 2025 melalui program pengembangan energi baru dan energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk memotret pelaksanaan *open goverment* dalam program pengembangan energi baru dan energi terbarukan (EBT) menggunakan metode kualitatif melalui wawancara dan observasi. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa program pegembangan EBT pada dasanya telah memiliki *platform* yang cukup baik, terbukti dengan banyaknya pemanfaatan teknologi informasi dalam menunjang program dimaksud. Pada umumnya pelaksaan open goverment pada Ditjen EBTKE telah diimplementasikan dalam hal perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan kegiatan. Namun sayangnya *platform* teknologi informasi yang telah tersedia belum digunakan secara optimal dalam menunjang transparansi, partisipasi dan kolaborasi sesuai teori *open goverment* dalam program pengembangan EBT. Dalam aspek transparansi telah digunakan teknologi informasi sebagai sarana penyebarluasan informasi, dalam aspek partisipasi, masyarakat belum mempunyai akses langsung dalam perumusan kebijakan. Sedangkan aspek Kolaborasi ditunjukkan dengan kerjasama antara sektor pemerintah, swasta, masyarakat, NGO dan lembaga /negara donor dalam berbagai program pengembangan EBT.
Kata Kunci: Transparansi, Partisipasi dan Kolaborasi

Diterima 11 Juli 2018; Diterima dengan revisi 13 Oktober 2019; Dipublikasikan 1 Desember 2019
2406-9515 (p) / 2528-441X (e)
© 2019 Anggraeni Respitawulan. Dipublikasikan oleh JAP FIS UNY

PENDAHULUAN

Kehadiran teknologi informasi dalam pemerintahan membawa konsekuensi pada merebaknya pemanfaatan internet sebagai alat dalam pelaksanaan roda pemerintahan. Tidak bisa dipungkiri bahwa teknologi informasi telah merubah warna proses administrasi pemerintahan yang selama ini mendapat stigma berbelit-belit, boros dan lama berkembang menjadi administrasi pemerintahan yang efisien dan cepat. Berbagai peraturan dikeluakan pemerintah Indoensia untuk mendukung pemanfaatan elektronik *goverment* dalam penyelenggaraan pemerintahan dan pelayanan publik. Dalam laporan *Open Goverment* Indonesia disebutkan bahwa tingkat penggunaan internet di Indonesia sebesar 17,14% dari total populasi penduduk mengakses internet (OECD, 2016). Akses ini termasuk akses terhadap portal data pada website instansi pemerintah. Tingginya akses internet ini membawa implikasi pada tuntutan modernisasi sistem pemerintahan dari yang *paper based* menjadi *internet based* sehingga muncul istilah *e-goverment.*

Penerapan teknologi informasi ini berangsur-angsur mulai berevolusi dalam melalui kebijakan *open goverment*. OECD mendefinisikan *open goverment* sebagai transparansi tindakan pemerintah, akses terhadap layanan dan infromasi dari pemerintah serta ketanggaan pemerintah terhadap ide-ide baru, permintaan dan kebutuhan. *Open goverment* sendiri berpijak pemanfaatan teknologi informasi dalam pemerintahan dengan menitikberatkan pada upaya pemerintah dalam meningkatkan transparansi, partisipasi dan kolaborasi pemerintah. (*open goverment Indonesia*, 2016). Dalam laporan *The World Justice Project Goverment Index* pada tahun 2015 Indonesia mendapat peringkat 32 dari 102 negara yang disurvei dengan skor 0,58. Survei ini melihat dimensi

Tabel 1. Peringkat Open Goverment di Asia Pasifik

No	Country	Score	Global Ranking
1	New Zealand	0,81	2
2	Australia	0,74	9
3	Republik Korea	0,74	10
4	Japan	0,72	12
5	Hongkong	0,63	24
6	Singapura	0,63	25
7	Indonesia	0,58	32
8	Filipina	0,54	50
9	Thailand	0,49	68
10	Mongolia	0,56	75

Sumber : *The World Justice Project Goverment Index 2015 Report*

publikasi data dan peraturan perundang-undangan, kebebasan informasi,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

partisipasi warga dan penanganan pengaduan.

Tuntutan penyediaan energi yang meningkat 6-7% pertahun membuat pemerintah perlu mencari alternatif pengembangan energi dengan mengembangkan energi baru terbarukan yang saat ini porsinya dalam *energy mix* baru sebesar 12,52% dari target 23% pada tahun 2025 (ESDM, 2018). Padahal Indonesia mempunyai potensi energi terbarukan yang melimpah, bahkan potensi panas bumi di Indonesia menjadi yang terbesar didunia. Minimnya pemahaman masyarakat mengenai energi baru menjadi kendala tersendiri bagi pemerintah dalam meningkatkan investasi guna mendorong pembangunan energi baru. Selain itu penggunaan energi baru sebagai alternatif pengganti batubara dalam penyediaan listrik masih awam bagi masyarakat, ditambah lagi harga pembangkit dari sumber energi baru yang lebih mahal membuat banyak pihak menjadi enggan untuk melakukan investasi. Padahal energi baru merupakan energi yang ramah lingkungan karena tidak menimbulkan efeknegatif bagi gas rumah kaca dan polusi.

Oleh sebab itu pemerintah perlu melakukan upaya yang komprehensif guna menggalakkan penggunaan energi baru sehingga porsi energi baru dalam bauran energi nasional dapat meningkat. Kementerian Eenergi dan Sumber Daya Mineral (KEDM) selaku pemegang tanggung-jawab dalam perumusan kebijakan bidang energi mempunyai andil yang besar untuk membuat energi baru dapat diterima oleh masyarakat dan menciptakan iklim investasi yang menarik sehingga pembangunan energi baru dapat ditingkatkan. Melihat gambaran tersebut, pentingnya membangun hubungan kolaboratif antara pemerintah, masyarakat dan swasta/ *stake holder* menggunakan sarana teknologi informasi dalam kerangka *open goverment* yang tujuannya untuk meningkatkan penggunaan energi baru untuk memenuhi kebutuhan energi dirasa penting. Untuk itu penelitian ini mengambil judul analisis open goverment dalam pengembanagn energi baru dan energi terbarukan.

Open goverment sendiri dipopulerkan oleh Obama dalam *Open Goverment progress to the American People* yang kemudian banyak diadopsi oleh berbagai negara karena dianggap

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sesuai dengan kondisi saat ini. *Open goverment* berfokus pada interaksi antara pemegang kekuasaan dengan masyarakat terutama dengan penggunaan media teknologi informasi. *Open goverment* dapat didefinisikan sebagai kode dari pemerintahan yang mengutamakan transparansi, akuntabilitas, partisipasi dan kerjasama melalui pengunaan teknologi informasi secara intensif dan sistem manajemen baru yang berlandaskan tata kelola bersama dan tanggungjawab bersama dengan masyarakat dengan tujuan untuk memaksimalkan nilai publik dengan mempromosikan inovasi dan perkembangan. (Criado dalam Siera dan Gago, 2018). Febrianingsih (2012 dalam Prakarsa (2017) menyatakan bahwa *open goverment* merupakan penyelenggaraan pemerintahan yang transparan, terbuka dan parsitipatoris dalam seluruh proses pengelolaan sumber daya publik mulai dari pengambilan keputusan, pelaksanaan serta evaluasinya.

Open goverment mempunyai prinsip kebijakan menurut OECD (2016) meliputi:

- Adanya keterlibatan publik dalam proses kebijakan mulai dari formulasi, implementasi dan evaluasi;
- Terdapat transparansi dalam penyenggaraan kebijakan;
- Akuntabilitas sebagai bentuk pertanggungjawaban kepada masyarakat;
- Integritas yang tinggi dari pelaksana kebijakan.

Tabel 2 Variabel dan Dimensi *Open Goverment*

No	*Variables*	*Dimensions*	*Examples*
1	*Transparency*	*Information and open data*	*Open data portals*
		Training Programs	*Digital inclusion policies*
		Public Policies monitoring	*Follow the money, access to information*
2	*Participation*	*Consultation*	*On line consultation*
		Deliberative arenas	*Public debates, on line forums*
		Co-Decision of public policies	*Co drafting, consensus-oriented procedures*
3	*Collaboration*	*Horizontality*	*Multi stakeholderism*
		Transversality	*Multi level governance*
		Collaborative Governance	*Public-private-civic partnership, shared decision making*

Sumber : *Blasio and Sorice, 2016 (Open Goverment : A Tool for democracy*

Komitmen Indonesia dalam *open goverment* tertuang dalam RPJMN 2015-2019 melalui strategi untuk meningkatkan kepercayaan publik dan komunikasi serta mendorong kemudahan akses terhadap informasi. OECD (2011) sebagaimana dikutip Cretu (2014) menyatakan bahwa *"open goverment is seen as a platform for improving goverment capacity and public administration reform"*. Penelitian ini menggunakan variabel

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

open goverment yang dikemukakan oleh Blasio dan Sorice (2016) dimana *open goverment* terdiri dari tiga variabel yaitu transparansi, partisipasi dan kolaborasi yang tergambar dalam tabel sebagai berikut :

Senada dengan Blasio and Sorice (2016), Wirtz and Birkmeyer (2015) menggambarkan *open goverment* sebagai bentuk hubungan antara tranparansi, partisipasi dan kolaborasi dalam organisais pemerintah kepada masyarakat, organisasi dan kelompok sosial untuk meningkatkan nilai masyarakat. Hubungan ini dipengaruhi secara simultan dengan adanya faktor pendukung yaitu teknologi, peraturan, akuntabilitas dan penerimaan dari masyarakat

METODE

Studi ini menggunakan pendekatan kualitatif yang dilakukan melalui wawancara terhadap narasumber yang dipilih menggunakan metode *purposive sampling*. Selain itu untuk mendukung penelitian dilakukan pengumpulan data dukung melalui penelurusan berbagai dokumen seperti buku, jurnal nasional dan internasional, prosiding nasional dan internasional, artikel, laporan, dan rencana kerja. Studi ini merupakan analisis deskriptif yang menggambarkan pelaksanaan *open goverment* dalam program pengembangan energi baru, terbarukan dan konservasi energi pada Ditjen EBTKE. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni hingga Agustus 2018

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keterbukaan data dan informasi dalam program pengembangan energi baru data diwujudkan dengan adanya portal Direktorat Jenderal EBTKE dan portal lintas EBTKE yang merupakan wujud dari publikasi mengenai informasi kegiatan dan data energi baru terbarukan. Disusunnya rencana strategis pengembangan energi baru yang tertuang dalam road map pengembangan energi baru, yang dapat diunduh melalui portal tersebut menjadi sumber informasi bagi pihak yang membutuhkan. Data dan informasi yang dipublish pada website ini merupakan data yang tidak bersifat rahasia dan dapat di sebarluaskan kepada berbagai pihak yang membutuhkan. Dalam kaitannya dengan kebijakan digital program pengembangan energi baru mempubyai berbagai aplikasi *online* yaitu : Aplikasi SKT Jasa Konservasi Energi, Aplikasi Sistem informasi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

produk hemat energi, Aplikasi Pendaftaran Penghargaan Efisiensi Energi Nasional, Sistem Informasi Pelaporan Penghematan Energi dan Air, Aplikasi Pelaporan Online Manajemen Energi, Aplikasi Database Biomassa , Sistem informasi layanan bahan bakar nabati, Sistem Informasi Pelaporan Panas Bumi dan, Database Panas Bumi Berbasis Web dan GIS, Aplikasi Akuisisi Data PLTS, Sistem Informasi Kerjasama Aneka EBT, Sistem Informasi Pelelangan Kuota PLTS, Sistem, Informasi Pelayanan dan Pengawasan Usaha Aneka EBT dan Database dan Aplikasi Permohonan Infrastruktur EBT. Berbagai platform online tersebut berguna untuk menujang peningkatan pemanfaatan energi baru dalam bauran energi nasional. Namun sayangnya dari berbagai portal tersebut updating data menjadi kendala utama sehingga seringkali data yang dipublish tidak *real time.*Kelamahan ini menjadi jamak bagi organisasi pemeirntah dimana tingkat updating data dan informasi pada website rendah sehingga data yang disediakan tidak *up to date*.

Wirtz and Birkmeyer (2015) mengatakan bahwa transparansi adalah gambaran dari demokrasi yang ideal dan website pemerintah adalah salah satu alat untuk meningkatkan transparansi. Teknologi informasi penting dikembangkan dalam organisasi publik untuk mendukung pengembangan website pemerintah demi meningkatkan transparansinya. Hal ini juga dilakukan dalam masa pemerintahan Presiden Obama yang meningkatkan transparansi melalui intensifitas penggunaakn teknologi.

Meskipun telah ada portal mengenai layanan informasi dan investasi, namun sayangnya belum terdapat Standar Pelayanan sebagaimana Undnag-Undang Nomor 25 Tahun 2009 yang mewajibkan setiap unit penyelenggara pelayanan untuk mempublish persyaratan, biaya, jangka waktu dan tata cara pengajuan keluhan secara resmi melalui peraturan. Meskipun demikian layanan pengaduan dapat disampaikan melalui website ataupun email secara langsung. Sebagaimana yang diungkapkan oleh Dwiyanto (2006) diatas bahwa indikator dalam transparansi menjadi tolok ukur tingkat keterbukaan organisasi pemerintah dalam mewujudkan *good governance*.

Dalam hal *Public Policies Monitoring* masyarakat belum terdapat sistem/aplikasi yang digunakan untuk memonitor capaian kinerja secara *real*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

time hal ini menyulitkan masyarakat untuk melakukan kontrol terhadap program-program yang dijalankan. Keterbukaan kebijakan yang ada terwujud dari laporan kinerja yang dibuat setiap tri semester dipublish pada website. Bremer (2013) menyebutkan bahwa *e-rulemaking* merupakan dorongan untuk meningkatkan transparansi dalam pembuatan kebijakan. Namun konsep ini belum dapat diaplikasikan karena pada Ditjen EBTKE karena belum adanya regulasi yang melegalkan penggunaan media elektronik dalam pembuatan aturan/kebijakan.

Partisipasi dalam pengembangan energi baru dan energi terbarukan

Harrison et al (2012) mendefinisikan partisipasi sebagai pelibatan masyarakat dalam pembuatan keputusan melalui diskusi dan deliberasi. Adanya partisipasi masyarakat dapat meningkatkan kinerja pemerintah melalui akuntabilitas yang dibangun. Meskipun partisipasi masyarakat sendiri masih menjadi perdebatan mengenai keuntungan dan kerugiannya namun adanya peluang bagi masyarakat dalam pembuatan kebijakan dapat meningkatkan pengetahuan, ide dan pengalaman sehingga meningkatkan efektivitas dan kualitas dari suatu kebijakan.

Dengan adanya teknologi informasi partisipasi masyarakat dan *stakeholder* dalam perumusan kebijakan menjadi lebih mudah dilakukan mengingat keberadaa internet sebagai sarana yang dapa dimanfaatkan untuk keperluan menjaring ide dan menuangkan aspirasi. Ditjen EBTKE meresmikan LINTAS EBTKE pada 25 april 2016. Keberadaan LINTAS EBTKE ini diharapkan sebagai poros

Gambar 2. Portal LINTAS EBTKE



PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

informasi, sarana konsultasi dan online forum yang dapat mendekatkan pemerintah dengan stakeholder dan masyarakat. Salah satu inovasi yang dapat menunjang partisipasi masyarakat adalah inovasi pengajuan usulan program pembangunan infrastruktur energi baru terbarukan secara *online* dimana pemerintah daerah dapat mengirimkan proposal pembangunan melalui aplikasi tersebut dan dapat melakukan komunikasi dua arah dengan pihak Ditjen EBTKE.

LINTAS EBTKE ini mencakup berita dan informasi mengenai energi baru, terbarukan dan konservasi energi, layanan informasi baik prosedur dan potensi energi dan layanan investasi yang meliputi investasi energi terbarukan (hidro, panas bumi tenaga surya, bioenergi, angin dan lautan), konservasi energi (industri, gedung dan bangunan, transportasi dan rumah) serta sumber daya. Namunmenurut pengakuan Kepala LINTAS EBTKE, selama ini LINTAS belum dimanfaatkan secara optimal beberapa pelayanan masih dilakukan oleh masing-masing unit terkait. Keberadaan LINTAS lebih banyak sebagai sarana edukasi pengenalan energi baru dan konservasi energi melalui penerimaan kunjungan dari sekolah. Pemanfaatkan teknologi informasi sebagai sarana konsultasi online belum banyak terekspos, hal ini lantaran peraturan yang ada belum banyak mengakomodir sarana online sebagai dasar yang sah dalam pembuatan keputusan. Dalam hal penyusunan peraturan pelibatan masyarakat yang diwakili oleh DPR dan Pemerintah daerah lebih banyak dilakukan secara langsung melalui tatap muka lantaran persetujuan pembuatan peraturan membutuhkan paraf koordinasi dari berbagai pihak terkait yang secara yuridis tidak bisa terwakili dengan keberadaan teknologi informasi. Belum adanya aplikasi penyusunan perundang-undangan *online* membuat perumusan peraturan masih mengandakan prosedur tradisional melalui tatap muka dan diskusi langsung. Hal ini mengindikasikan bahwa partisipasi masyarakat secara langsung belum dapat diwujudkan dalam perumusan kebijakan, namun partisipasi tersebut diwakilkan melalui anggota dewan yang diharapkan dapat membawa aspirasi masyarakat.

Sebagai upaya meningkatkan pelayanan kepada masyarakat Ditjen EBTJE meluncurkan aplikasi Sistem Informasi Energi Desa (Sinergi Desa)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

yang bertujuan untuk menjaga kualitas layanan listrik dari pembangkit yang bersumber dari energi baru terbarukan. Aplikasi ini megakomodir proses perencanaan pembangunan dan pemeliharaan dima adidalamnya terdapat tiga aplikasi lain yang saling menunjang yaitu e-proposal (proposal elektronik), Sistem Akuisisi Data serta Sistem Infomrasi dan Komunikasi dua arah melalui aplikasi ponsel "Energi Desa". Dalam aplikasi e-proposal masyarakat dapat mengusulkan desanya untuk mendapat pembangunan infrastruktur PLT EBT baik yang menggunakan sumber tenaga matahari dan air menggunakan angaran APBN maupun DAK, aplikasi akuisisi data digunakan untuk monitoring pembangkit yang sudah dibangun, sedangkan ENERGI DESA merupakan forum tanya jawab tentang pengoperasian PLT EBT. Masyarakat pengusul juga dapat mengetahui jumlah usulan yang telah masuk, status usulan, jumlah anggaran dari usulan yang diajukan, total kapasitas energi yang diusulkan, rencana strategis serta peta sebaran titik lokasi usulan. Pihak pemerintah pusat dyakni Ditjen EBTE dapat melakukan verifikasi data usulan yang masuk dengan memberikan hasil review melalui aplikasi dimaksud sehingga masyarakat pengusul dapat langsung melihat status pengusulannya. Adanya palikasi ini mengindikasikan bahwa telah terdapat pemanfaatan teknologi informasi yang dapat digunakan masyarakat untuk ikut serta memberikan usulan dalam pembangunan EBT. Sampai saat ini tercata telah ada sekitar 500 desa yang mengajukan pembangunan EBT menggunakan aplikasi ini. Adanya aplikasi ini juga memungkinkan terciptanya komunikasi dua arah antara pemerintah dengan masyarakat dimulai dari proses perencanaan, monitoring bahkan operasional penggunaan EBT Sebelumnya pengajuan dilakukan secara manual dimana pihak masyarakat / pemerintah daerah mendatangi kantor Ditjen EBTKE untuk menyampaikan usulan pembangunan dengan membawa berkas pendukung. Melalui inovasi ini dapat meningkatkan efisiensi anggaran dan waktu.

Untuk sumber energi panas bumi digunakan aplikasi Indonesia *geothermal information and service*, yang dapat diakses melalui portal LINTAS EBTKE. Dalam aplikasi tersebut masyarakat selain dapat mengetahui wilayah kerja panas bumi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

yang ditawarkan serta progres pembangunan pembangkit panas bumi dapat mengetahui peta potensi serta kapasitas pembangkit yang telah ada.

Jika dikategorikan dalam jenjang partisipasi masyarakat menurut Arntein diatas partisipasi dalam pengembangan energi baru terbarukan termasuk pada kategori *consultating* yaitu masyarakat (dalam hal ini diwakili oleh DPR) diundang untuk menyampaikan pendapat namun pendapat meskipun pendapat tersebut masih akan menjadi salah satu bahan pertimbangan dalam penyusunan kebijakan. Hal ini sejalan dengan yang diungkapkan oleh Blasio dan Sorice (2016) dimana salah satu indikator dari adanya *participation* dalam *open goverment* adalah adanya *consultation.* Namun sayangnya consultation yang dimaksudkan Basio dan Sorice disini berbeda dengan kenyataan dilapangan bahwa konsultasi seharusnya dapat dilakukan menggunakan teknologi informasi secara *online.* Pada prakteknya konsultasi dilakukan melalui tatap muka secara langsung. Sampai saat ini belum adan legalitas mengenai *online consultation* yang dapat dijadikan landasan yuridis dalam pengambilan suatu kebijakan. Padahal jika ditelisik lebih jauh organisasi pemerintah telah mempunyai fasilitas yang memadai untuk melakukan *online consultation*.

Sejalan dengan *online consultation*, dalam hal *public debates* melalui *online* forum belum terjalin forum komunikasi secara online yang dapat digunakan sebagai landasan dalam pengambilan kebijakan. *Online* forum yang ada dalam bentuk *whattsapp group* lebih sering digunakan sebagai ajang diskusi informal. Padahal *public debates* ini seharusnya dapat digunakan sebagai sarana menjaring ide dari masyarakat. Belum adanya legalitas penggunaan teknologi informasi sebagai dasar pengambilan kebijakan menjadi hambatan krusial penerapan *open goverment* dalam pengembangan energi baru dan energi terbarukan. Hal ini juga menjadi hambatan dalam *co-decision of public policies* dimana pembuata kebijakan merupakan wewenang dari lembaga eksekutif sendiri terlebih bagi kebijakan yang ditetapkan oleh Menteri terkait.

Kolaborasi dalam pengembangan energi baru dan energi terbarukan

Kolaborasi dalam pengembangan energi baru, terbarukan dan konservasi energi terlihat dari banyaknya

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

kerjasama dengan stakeholder dan *non goverment organization* melalui hibah dan pendanaan dalam pengembangan energi baru. Kolaborasi berbasis teknologi informasi yang dilakukan adalah pembangunan portal LINTAS EBTKE yang mana merupakan kerjasama Ditjen EBTKE dnegan DANIDA (*Danish International Development Assistance*) dimana DANIDA memberikan bantuan dana dan alih teknologi dalam pembangunan LINTAS EBTKE. Selain itu diluncurkannya Web *Geothermal Information System* yang pernah menjadi juara harapan satu dalam inovasi pelayanan publik merupakan salah satu bentuk kolaborasi pemerintah dengan masyarakat dimana masyarakat dapat mengakses informasi yang jelas dan akurat secara cepat dan mudah. Melalui inovasi tersebut diharapkan dapat meningkatkan investasi guna pengembangan energi baru terbarukan dan konservasi energi.

Mahalnya biaya penyediaan energi baru dan energi terbarukan membuat pemerintah perlu melakukan kolaborasi dengan berbagai pihak. Kolaborasi dalam hal akuisisi data Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang menggunakan teknologi *remote sensing* dimana masyarakat dapat secara langsung menyampaikan perkembangan termasuk kerusakan pembangkit tenaga surya yang ada pada daerahnya dan langsung terhubung dengan pengelola atau teknisi untuk mendapatkan penyelesaian permasalahan. Bagi pemerintah teknologi ini juga dapat digunakan sebagai alat monitoring terhadap pembangunan pembangkit karena masyarakat akan melaporkan secara langsung penggunaannya. Adanya aplikasi *remote sensing* ini menjadikan pelayanan monitoring dan evaluasi PLTS menjadi lebih efisien dan cepat karena tidak diperlukan kehadiran fisik di lokasi yang notabene susah dijangkau dan menghabiskan anggaran dalam jumlah besar untuk mencapainya.

Faktor yang mempengaruhi open government

Penerapan *open goverment* sebagai landasan pelaksanaan pemerintahan perlu mendapat dukungan dari faktor teknologi, peraturan dan hukum, akuntabilitas serta penerimaan dan kepercayaan (Wirtz and Birkmeyer (2015). Pemerintah perlu berinvestasi dalam pemanfaatan teknologi dan jaringan untuk mendukung pelaksanaan *open goverment.* Penggunaan teknologi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

informasi dalam membangun website dan sosial media untuk mempromosikan keterbukaan, partisipasi dan kolaborasi merupakan persyaratan mutlak bagi organisasi publik yang bergerak ke arah *open goverment.* Anggaran pada pemanfaatan teknologi informasi pada Ditjen EBTKE lebih kepada anggaran *maintenance* teknologi informasi yang telah ada, namun anggaran untuk *upgrade* dan memperluas kapasitas dari teknologi informasi belum terwujud. Hal ini terkait dengan kegiatan pemanfaatan teknologi informasi merupakan kegiatan yang dianggap sebagai pendukung pelaksanaan tugas pokok, bukan fungsi utama dari unit tersebut sehingga alokasi anggaran untuk teknologi informasi terbatas. Hal ini menjadi kendala dalam pengembangan sistem yang sudah ada.

Pemanfaatan teknologi tersebut perlu didukung dengan adanya peraturan dan legalitas karena dasar pelaksanaan kegiatan organisasi pemerintah adalah regulasi dan peraturan. Perbedaan peraturan diantara organisasi publik menjadikan *open goverment* dimaknai berbeda pada setiap level pemerintahan.Dalam pelaksaaan open goverment pada Ditjen EBTKE belum terdapat peraturan yang mendukung penggunaan *open goverment* secara rinci dalam pengambilan keputusan. Namun pelaksaaan *open goverment* disini sebagai bentuk dari keterbukaan informasi publik dan pemanfaatan *e-goverment* pada organisasi publik. Belum adanya aturan tersebut membuat pengambilan keputusan tidak bisa dilaksanakan menggunakan e-*rulemaking* proses, namun *open goverment* digunakan sebagai bentuk dari pemberian informasi kepada masyarakat dan meningkatkan kemudahan pelayanan publik melalui pemanfaatan *e-goverment.*

Akuntabilitas sebagai bentuk pertanggungjawaban pemerintah terhadap aktivitas yang dilakukan merupakan faktor pendorong dari transparansi pemerintahan. Akuntabilitas organisasi publik di Indonesia seringkali dimaknai sebatas laporan kinerja. Adanya publikasi laporan kinerja pada website Ditjen EBTKE dianggap merupakan gambaran dari akuntabilitas pemerintah, selain itu perwujudan akuntabilitas dalam SAKIP dimaknai sebagai proses pertanggungjawaban organisasi publik kepad amasyarakat. Meskipun pada hakekatnya akuntabilitas bermakna

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

lebih luas namun kedua hal tersebut dapat menjadi indikasi bahwa akuntabilitas telah dilaksanakan dalam batas minoritas.

Faktor terakhir yang menentukan sukses tidaknya *open goverment* adalah penerimaan dari masyarakat. Dilihat dari jejak kunjungan pada website Ditjen EBTKE rata – rata jumlah kunjungan perhari sekitar 442 orang dan jumlah kunjungan setiap bulan sekitar 13.260 orang. Meskipun demikian hal tersebut belum dapat dijadikan indikator penerimaan masyarakat terhadap *open goverment* yang dilakukan.

Perlunya dukungan dari sisi legalitas penggunaan teknologi informasi sebagai salah satu alat sah dalam pengambilan kebijakan akan membatu mempercepat proses pembuatan kebijakan. Upaya memaksimalkan teknologi informasi yang telah tersedia guna mendukung terciptanya transparansi, partisipasi dan kolaborasi mengoptimalkan program pengembangan energi baru, terbarukan dan konservasi energi juga membutuhkan komitmen pimpinan serta kemauan berbagai pihak yang terlibat sehingga patform-platform yang telah tersedia dapat mendukung pelaksanaan *open goverment.*

SIMPULAN

Pelaksanaan *open goverment* dalam program pengembangan energi baru, terbarukan dan konservasi energi telah dimulai semenjak berdirinya Direktorat Jenderal EBTKE, banyaknya *platform* berbasis teknologi informasi yang telah dibangun menandakan keseriusan pemerintah untuk mengembangkan *elektronik goverment* yang berkembang menjadi *open goverment* dengan menitik beratkan pada transparansi, partisipasi dan kolaborasi. Adanya portal LINTAS EBTKE menjadi salah satu contoh mulai dibangunnya keterlibatan pihak lain dalam perumusan kebijakan. Namun sayangnya berbagai *platform* tersebut belum dapat digunakan secara optimal dikarenakan belum adanya dukungan regulasi yang dapat menjadi landasan yuridis penggunaan teknologi informasi dalam pengambilan kebijakan. Penggunaan teknologi informasi sebatas pada alat monitoring dan bahan evaluasi serta sarana komunikasi dengan masyarakat yang kemungkinan digunakan sebagai salah satu masukan pembuatan kebijakan.

Terdapat beberapa langkah yang dapat dilakukan instansi untuk meningkatkan pelaskanaan *open*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

goverment dalam pengembangan energi baru terbarukan. Pertama, membangun komitmen pejabat terhadap pembuatan kebijakan secara terbuka dengan pemanfaatan teknologi informasi baik melalui pemanfaatan media sosial maupun melalui *electronic regulation*. Kedua, menyusun regulasi terkait pengaturan pemanfaatan teknologi informasi dalam kegiatan administratif dan pembuatan kebijakan misalnya dalam hal keabsahan penggunaan *e-signature* dan *video conference* dalam perumusan kebijakan. Ketiga, mendorong kelompok kepentingan yaitu masyarakat dan *stake holder* untuk berperan aktif dalam pemanfaatan website, electronic goverment maupun media sosial Ditjen EBTKE untuk melakukan aktivitas pelayanan publik maupun akses informasi. Keempat, memperkuat sumber daya manusia sebagai aktor pelaksana *open goverment* dan sumberdaya financial untuk pengembangan teknologi informasi.

Keterbukaan pemerintah diharapkan dapat membantu mensukseskan tercapainya tujuan pengembangan energi baru dan terbarukan yaitu bauran energi baru dan energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025. Keterbukaan informasi yang akan meningkatkan pengetahuan masyarakat dan pemerintah dapat menciptakan ide-ide kreatif yang dapat dijadikan masukan dalam perumusan kebijakan. Pemanfaatan teknologi informasi juga akan membawa pengaruh pada akuntabilitas pemerintah yang mendorong pemerintah untuk berkinerja lebih baik. Adanya peran serta masyarakat melalui keterlibatan perumusan kebijakan, pelaksanaan dan pengawasan akan membawa berpengaruh pad ameningkatnya transparansi, partisipasi dan kolaborasi masyarakat dan *stakeholder* secara sinergis untuk bersama-sama menciptakan tujuan pengembangan energi baru dan energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

Arrozaaq, Dimas Lukito.Collaborative Governance (studi tentang kolaborasi antar stakeholders dalam pengembangan kawasan minapolitan di kabupaten sidoarjo) http://repository.unair.ac.id/67685/3/Sec.pdf

Blasio, De Emiliana and Sorice, Michele. 2016 .Open Goverment : A Tool for democracy? (https://www.researchgate.net/publication/311850643_Open_Government_A_Tool_for_Democracy)

Cretu, Veronica and Cretu Nicolae, 2014, How To built local open

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

goverment?European Public sector information platform topic report no 2014/7 (https://www.europeandataportal.eu/sites/default/files/2014_how_to_build_local_open_government.pdf)

Djunaedi, Achmad.2002.Beberapa Pemikiran Penerapan e-goverment dalam pemerintahan daerah di Indonesia. (http:Otda.lampungprov.go.id/download.php?file=files/e-govt-pemda-indo.pdf)

Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi. 2015. Road Map Pengembangan EBTKE 2014-2019. Jakarta :Ditjen EBTKE

Dwiyanto, Agus. 2006. *Mewujudkan Good Governance Melalui Pelayanan Publik*. Yogyakarta: UGM Press

Fendt, Thomas Christian.2010. Introducing Electronic Suply Chain Collaboration in China : Evidence from manufacturing Industries. Berlin : Universitatsverlag Der Technischen Universitat Berlin

Harrison, T. M, Guerrero, S., Burke, B. G, & Cook, M. (2012). Open government and e-government: Democratic challenges from a public value perspective. *Information Polity, 17*, 83–97.

Hernandez and Gasco Mila. 2014. *Open Goverment : an Opportunities and Challenges for Public Governance*. New York : Springer

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2015. Rencana Strategis Kementerian ESDM 2015-2019. Jakarta : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Kementerian Komunikasi dan Informatika.2003. *Kebijakan dan Stragei Pengembangan e-goverment.*

Kim, S., Kim, H. J., & Lee, H. (2009). An institutional analysis of an e-government system for anti-corruption: The Case of Open. *Government Information Quarterly, 26*(1), 42-50. doi:10.1016/j.giq.2008.09.002

Kuhn, Johanes. 2014. *Open goverment : Who Participates and why*. Berlin :Universiteit Twente

OECD Kajian Open Goverment Indonesia Hal-Hal Pokok.2016

OECD.2016.OECD Comparative Study : Digital Goverment Strategies For Transforming Public Services in the Welfare Areas.

Sirera, Tatiana Fernandez and Gago, Elvira Gonzalez, 2018. *The Public Administration and The Open Innovation and Science Paradigm : Challenges and Opportinities*. Barcelona : Ministry of the Vice Presidency and of the economy and Finance.

The World Justice Project Goverment Index 2015 Report (https://worldjusticeproject.org/our-work/wjp-rule-law-index/wjp-open-government-index-2015)

Prakarsa. 2017. Open Goverment : Mengkaji penggunaan e-goverment Pemerintah Daerah di Indonesia (Sebuah Laporan untuk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

advokasi kebijakan implementasi e-goverment).

Wijaksono, Sigit.2013.Pengaruh Lama Tinggal Terhadap tingkat partisipasi masyarakat dalam pengelolaan lingkungan pemukiman.*Jurnal ComTech Vol. 4 No 1 Juni 2013*

Wirtz, Bernd W and Birkmeyer Steven. 2015. Open Goverment : Orgin, Development and Cenceptual perspektive. *International Journal of Public Administration*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PEMANFAATAN ENERGI ALTERNATIF SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN UNTUK MENDUKUNG SUBTITUSI BBM

Imam Kholiq
Fakultas Teknik - Universitas Wijaya Putra Surabaya Jawa Timur Indonesia
Jln.Raya 1-3Benowo
Email : kholiqimam@gmail.com

ABSTRACT

Energy represent requirement of human being base, what increasing in line with its life storey; level. Oil fuel/fossil energy represent one the source energy having the character of do not newly (non sources energy renewable) which during the time representing pledge to fulfill requirement of energi in all activity sector. Properties of resource of energy in Indonesia, that is water power (Hydropower), hot earth, earth gas, coal, peat, biomassa, biogas, wind, sea energy, sun and other can be exploited as alternative energy, replacing depended to oil fuel, what limited progressively goodness sum up and its reserve. Oil fuel hold very dominant position in accomplishment requirement of energi in country. Have to realize in this time Indonesia have imported crude oil and also oil fuel to fulfill requirement.Crisis of Energy which knock over world affect, world crude oil price height, having an effect on direct to activity of economics. Properties of resource energy, specially the source of new and new energy which we have, require to difikirkan to be exploited as alternative energi, replacing and lessening role of oil fuel in consumption of energi in Indonesia. On that pattern, Body Research and Development of University of wijaya Putra doing research with activity of Analysis Exploiting Of Resource of Energi Alternative To Is Ready of Energi Society in Indonesia, upon which policy of management of exploiting of resource of energi existing. Energy terbarukan To support BBM subtitusi

Keywords:Renewable energy Sustainability, Subtitusi BBM

ABSTRAK

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengantingkat kehidupannya. Bahan bakar minyak/energi fosil merupakan salah satu sumberenergi yang bersifat tak terbarukan (non renewable energy sources) yang selama inimerupakan andalan untuk memenuhi kebutuhan energi di seluruh sektor kegiatan.Kekayaan sumber daya energi di Indonesia, yaitu tenaga air (Hydropower), panasbumi, gas bumi, batubara, gambut, biomassa, biogas, angin, energi laut, matahari danlainnya dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif, menggantikan ketergantunganterhadap bahan bakar minyak, yang semakin terbatas baik jumlah dan cadangannya. Bahan bakar minyak memegang posisi yang sangat dominan dalam pemenuhankebutuhan energi di dalam negeri. Harus disadari saat ini Indonesia telah mengimporminyak mentah maupun bahan bakar minyak untuk memenuhi kebutuhan tersebut.Krisis energi yang melanda dunia berdampak, tingginya harga minyak mentah dunia,berpengaruh langsung terhadap kegiatan perekonomian. Kekayaan sumber dayaenergi, khususnya sumber energi baru dan terbarukan yang kita miliki, perlu dipikirkan untuk dimanfaatkan sebagai energi alternatif, menggantikan danmengurangi peran bahan bakar minyak dalam konsumsi energi di Indonesia. Dalam rangka itu, Badan Penelitian dan Pengembangan Universitas wijaya Putramelakukan penelitian dengan kegiatan Analisis Pemanfaatan Sumber Daya EnergiAlternatif Untuk Penyediaan Energi Masyarakat di Indonesia, sebagai bahankebijakan pengelolaan pemanfaatan sumber daya energi yang ada.EnergiTerbarukanuntuk mendukung subtitusi BBM.

Keywords: Renewable energySustainability,Subtitusi BBM

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengantingkat kehidupannya. Bahan bakar minyak (BBM) memegang posisi yang sangatdominan dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional. Komposisi konsumsi energinasional saat ini adalah BBM : 52,50%; Gas: 19,04%; Batubara: 21,52%; Air:3,73%; Panas Bumi: 3,01%; dan Energi Baru: 0,2%. Kondisi demikian terjadisebagai akibat dari kebijakan subsidi masa lalu terhadap bahan bakar minyak dalamupaya memacu percepatan pertumbuhan ekonomi.Suatu kenyataan yang tidak dapat dipungkiri bahwa produksi minyak bumi Indonesiamengalami penurunan akibat adanya penurunan secara alamiah dan semakinmenipisnya cadangan. Menurunnya produksi minyak mentah kita dan tingginya hargaminyak mentah dunia sangat berpengaruh terhadap kemampuan anggaranpembangunan. Selama ini bahan bakar minyak di Indonesia masih disubsidi olehnegara (melalui APBN), sehingga menjadi beban yang sangat berat bagi pemerintah.Untuk mengurangi beban subsidi tersebut pemerintah berusaha mengurangiketergantungan kepada energi bahan bakar minyak, dengan mencari danmengembangkan sumber energi lain yang murah dan mudah didapat.Harus disadari bahwa saat ini Indonesia telah mengimpor minyak mentah maupunBBM untuk memenuhi kebutuhan konsumsi dalam negeri. Hingga saat ini sumberenergi minyak bumi masih menjadi sumber energi utama didalam penggunaannyaterutama dalam bidang kelistrikan, industri dan transportasi. Ditengah krisis energisaat ini timbul pemikiran untuk penganekaragaman energi (diversifikasi energi)dengan mengembangkan sumber energi lain sebagai energi alternatif untukpenyediaan konsumsi energi domestik.Indonesia memiliki beranekaragam sumber daya energi, sepertiminyak dan gas bumi, panas bumi (geothermal), batubara, gambut, energi air, biogas,biomassa, matahari, angin, gelombang laut dan lain lain. Potensi sumber daya energitersebut tersebar diseluruh daerah diIndonesia menurut karekteristik dankondisi geologinya. Secara umum dalam pemakaian/konsumsi energi di Indonesiamasih mengandalkan dan bergantung pada sumber daya energi minyak bumi. Kondisireal menunjukkan bahwa sumber daya energi minyak bumi akan habis dan memilikiketerbatasan baik persediaan dalam bentuk cadangannya. Disisi lain permintaansumber daya energi tersebut semakin meningkat menyebabkan harga minyaksemakin tinggi sehingga mempunyai potensi pasar ekspor yang tinggi. Seharusnyaminyak bumi dapat diandalkan sebagai sumber pemasukan bagi pendapatan negaradan hanya sebagai energi untuk keperluan tertentu yang secara teknologi harusmenggunakan bahan bakar minyak.Energi listrik sebagai energi sekunder sangat populer digunakan diseluruh sektorkegiatan. P.T. Perusahaan Listrik Negara (Persero) sebagai badan usaha milik negara,menyelenggarakan tugas negara melakukan penyediaan dan pelayanan tenaga listrik,dalam membangkitkan tenaga listrik masih banyak menggunakan sumber daya energiminyak bumi. Suatu kondisi bahwa, perkembangan teknologi menunjukkan bahwahampir seluruh peralatan rumah tangga, perkantoran, perhotelan dan peralatanperalatanlainnya menggunakan energi listrik yang kesemua tersebut bergantung padabahan bakar minyak. Sementara teknologi konversi energi untuk pembangkit listriktelah banyak ditemukan dengan berbagai skala dan kapasitas seperti energi sumberdaya air (PLTA), energi sumber daya nuklir (PLTN), energi sumber daya panas bumi(Geothermal), energi biodisel dan lain sebagainya.Ketergantungan pemanfaatan kepada minyak bumi ini tidak dapat dibiarkan, karenakebutuhan energi terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan jumlah penduduk,meningkatnya industrialisasi dan perkembangan teknologi yang serba canggih danmutakhir seperti pada saat sekarang ini. Komposisi penggunaan energi yang terlalubersandar pada bahan bakar minyak harus segera dipikirkan dengan jalanmenganekaragamkan penggunaan sumber daya energi (diversifikasi energi) yangberbasis pada potensi dan kebutuhan yang ada pada saat ini. Dalam upaya tersebutperlu diketahui besaran penggunaan energi persektor kegiatan, jenis sumber dayaenergi yang dapat digunakan, jenis pemanfaatan dan penggunaan energi, teknologipenggunaan energi, lokasi/penyebaran kegiatan penggunaan energi.

Pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan perlu dikembangkan mengingatperan dan harga BBM terus meningkat dan melambung tinggi sebagai penggantiuntuk penyedia energi yang berkesinambungan. Berbagai cara yang dilakukan untukmengetahui potensi sumber daya energi yang dapat dikembangkan di Indonesia,salah satunya adalah dengan melakukan pendataan. Berdasarkan data yang diperolehdapat ditentukan langkah serta strategi dalam pemanfaatan dan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pengelolaan seluruhpotensi sumber kekayaan alam terutama sumber daya energi yang ada untukpenyediaan kebutuhan energi pada wilayah tertentu dan jenis kegiatan, sehinggadapat ditetapkan strategi pemanfaatannya. Penganekaragaman penggunaan energidengan memanfaatkan sumber daya energi setempat, diharapkan dapat mengurangiketergantungan pada sumber daya energi minyak bumi, sehingga dalam pemanfaatandan pengelolaan sumber daya energi minyak bumi harus benar-benar kepada yangmembutuhkannya terutama yang menjadi skala prioritas.Namunimplementasi sumber energi terbarukansangat penting untuk segera dimulai. Dibawah ini dibahas secara singkat berbagaisumber energi terbarukan tersebut. Mengapa energi terbarukan? EnergiTerbarukan harus segera dikembangkansecara nasional bila tetap tergantungan energi fosil, ini akan menimbulkansetidaknya tiga ancaman serius yakni:

1) Menipisnya cadangan minyak bumi yangdiketahui (bila tanpa temuan sumurminyak baru)
2) Kenaikan/ketidakstabilan harga akibatlaju permintaan yang lebih besar dariproduksi minyak, dan
3) Polusi gas rumah kaca (terutama CO2)akibat pembakaran bahan bakar fosil.

Kadar CO2 saat ini disebut sebagaiyang tertinggi selama 125,000 tahunbelakangan [2]. Bila ilmuwan masihmemperdebatkan besarnya cadanganminyak yang masih bisa dieksplorasi, efekburuk CO2 terhadap pemanasan global telahdisepakati hampir oleh semua kalangan. Halini menimbulkan ancaman serius bagikehidupan makhluk hidup di muka bumi.Oleh karena itu, pengembangan danimplementasi bahan bakar terbarukan yangramah lingkungan perlu mendapatkanperhatian serius.

1.2 Model Penyediaan Energi

Model penyediaan energi akan mengalokasikan berbagaisumber energi primer untuk memenuhi kebutuhan energi.Asumsi penting yang dimasukkan ke dalam model penyediaanenergi adalah:

- Pasokan dan kebutuhan gas bumi mengikuti BukuNeraca Gas Indonesia 2012-2025 (KementerianESDM), sedangkan untuk 2026-2030 mengikutitrend gas delivery. Ekspor gas bumi juga mengikutiBuku Neraca Gas Indonesia dan mempertimbangkan adanya impor gas sampai tahun 2030.
- Cadangan batubara dan minyak bumi mengikuti datadari Kementerian ESDM dengan status Januari 2012.Cadangan minyak yang dipertimbangkan adalahcadangan terbukti. Sedangkan cadangan batubarayang dipertimbangkan adalah cadangan tertambangdan cadangan terukur.
- Harga minyak mentah berdasarkan data tahun 2013sebesar 105 $/barel untuk harga saat ini (currentprice): dan diasumsikan naik secara linier menjadi 126$/barel pada tahun 2035.
- Pengembangan CBM berdasarkan data dari IATMI(Ikatan Ahli Teknik Perminyakan Indonesia) yangdipresentasikan dalam *The 5th International IndonesiaCBM 2014*.
- Teknologi coal to liquid (CTL) yang dipertimbangkan:proses indirect coal liquefaction dengan kapasitasproduksi 50 ribu barel/hari.
- Penambangan kilang minyak baru berdasarkan PetaInfrastruktur Kilang dari Direktorat Jenderal Migas,Kementerian ESDM tahun 2012 yang terdiri ataskilang minyak Plaju II, Balongan II, dan Tuban yangmasing-masing dengan kapasitas 300 ribu barel/hari.
- Pembangkit listrik *super-critical boiler* untuk PLTUbatubara 1000 MW di wilayah Jawa dimanfaatkanmulai tahun 2018.
- LNG receiving terminal dipertimbangkan.
- Biaya produksi pembangkit listrik hanya didasarkanpada keekonomiannya.
- Konservasi energi di sisi kebutuhan maupun disisi penyediaan sudah dipertimbangkan melaluipemanfaatan teknologi yang efisien.

1.3 Pemutakhiran Data

Data-data penting yang digunakan dalam buku ini adalahsebagai berikut:

- Cadangan terbukti minyak bumi sebesar 3,74 miliarbarel berdasarkan data Kementerian ESDM tahun2012.
- Cadangan terbukti gas bumi sebesar 103,35 TCFberdasarkan data KementerianESDM tahun 2012.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

- Cadangan batubara sebesar 28,9 miliar tonberdasarkan data dari Kementerian ESDM tahun 2012
- Sumberdaya CBM (Coal Bed Methane) sebesar 453TCF berdasarkan data dari Ditjen Migas, KementerianESDM dan dari IATMI.Sumber daya dan cadangan panas bumi sudahdiperhitungkan per wilayah dengan total sebesar29 GW berdasarkan data Kementerian ESDM tahun2012.
- Potensi tenaga air sudah diperhitungkan per wilayahdengan total sebesar 26,3 GW berdasarkan *masterplan study for hydro power development in Indonesia*dari Nippon Koei tahun 2011.
- Pengembangan kelistrikan nasional berdasarkanStatistik Ketenagalistrikan 2013 dan Statistik EBTKE2013 dari Kementerian ESDM serta RUPTL 2013-2022dari PT. PLN (Persero).
- Kebijakan batubara berdasarkan kebijakan untukmembangun ketahanan dan kemandirian energi dariDitjen Minerba, Kementerian ESDM tahun 2012.
- Kapasitas dan produksi kilang minyak Dumai-SP, Musi,Cilacap, Balongan, Balikpapan dan Kasim diperolehdari hasil kunjungan ke Pertamina bulan April 2012.

1.3.1 Skenario Dasar

- Tahun dasar yang digunakan sebagai acuan dalammodel adalah tahun 2012 dengan kurun waktuproyeksi 2013-2035.
- Pembahasan dalam buku ini menggunakan duaskenario yaitu skenario dasar dan skenario tinggiserta satu kasus, yaitu pengembangan energi untukmendukung program substitusi BBM.
- Pada skenario dasar sudah mempertimbangkansubstitusi minyak tanah ke LPG, realisasi programpercepatan pembangunan pembangkit listrik 10.000MW tahap pertama untuk pembangkit berbahanbakar batubara, dan tahap kedua untuk mendorongpenggunaan EBT.
- Pada skenario dasar pertumbuhan PDB diasumsikanakan meningkat sejalan dengan target pertumbuhanPDB dari Bappenas pada kurun waktu 2015-2019untuk skenario business as usual. Pada kurun waktutersebut pertumbuhan PDB meningkat rata-ratasebesar 6% per tahun. Pertumbuhan PDB untukkurun waktu 2020-2035 mengikuti tahun-tahunsebelumnya.

1.3.2 Skenario Tinggi

- Pada skenario tinggi, asumsi yang digunakan samadengan skenario rendah kecuali pertumbuhanekonomi.
- Pada skenario tinggi pertumbuhan PDB diasumsikanakan meningkat sejalan dengan target Bappenastahun 2015-2019 untuk skenario comprehensivereform.Pada kurun waktu tersebut pertumbuhanPDB meningkat rata-rata sebesar 7% per tahun.Pertumbuhan PDB untuk kurun waktu 2020-2035mengikuti tahun-tahun sebelumnya.
- Skenario dasar dan tinggi keduanya sudahmempertimbangkan upaya untuk melepaskan diridari jebakan negara berpendapatan menengah(middle income trap). Indonesia harus mencapaipendapatan per kapita 12.616 dolar dalam beberapatahun mendatang untuk dapat menjadi negara maju.Pemerintah perlu mendorong produktivitas nasionalmelalui peningkatan inovasi pada teknologi dan tidaklagi bergantung pada produksi sumber daya alamdan upah buruh yang rendah.

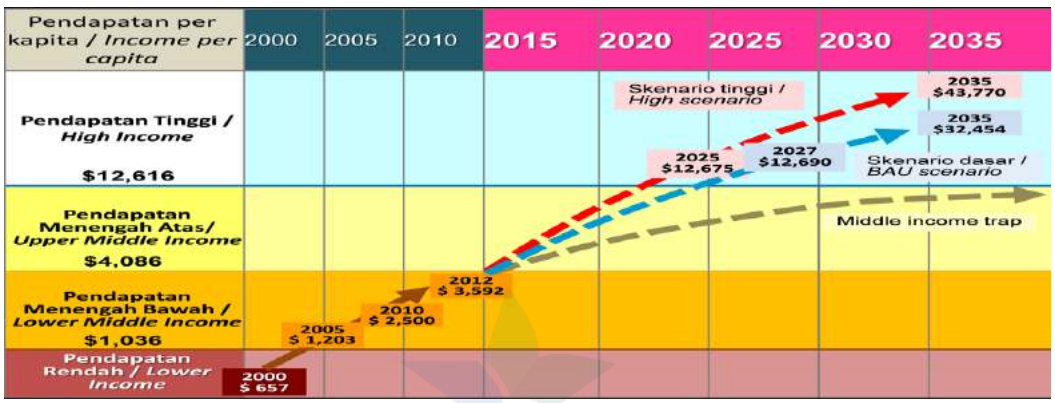
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1.1 Asumsi untuk skenario dasar dan skenario tinggi

Keterangan / *Note*	Satuan / *Unit*	Tahun / *Year*					
		2012	*2015*	*2020*	*2025*	*2030*	*2030*
Populasi / Population	Juta / *Million*	245.4	255.4	271.0	284.8	296.4	305.6
Pertumbuhan rata-rata / *Average growth*	%/tahun *%/year/*	1.40	1.40	1.19	1.19	0.08	0.08
Harga Minyak / *Crude Oil Price*	USD/barrel						
	Constant 2010	107.0	94.4	86.3	83.7	81.1	78.7
	%/tahun */%/year*	112.7	104.9	105.1	111.8	118.9	126.4
Harga Batubara / *Coal Price*	USD/ton						
	Constant 2010	90.7	72.5	74.5	76.5	78.5	80.7
	USD/barrel						
Harga LNG/*LNG Price*	USD/MMBTU						
	Constant 2010	15.9	13.8	10.4	9.9	9.8	9.6
	Current Price	16.7	15.3	12.6	13.3	14.3	15.4
Skenario Rendah / *Business as Usual (BAU) Scenario*							
PDB / *GDP*	Triliun Rupiah/ *Trillion Rupiah*						
	Constant 2010	2,619	3,110	4,431	6,620	9,795	14,193
	Current Price	8,229	11,636	22,057	43,323	84,271	160,542
Pertumbuhan PDB /*GDP Growth*	%/tahun *%/year*	6.2	6.1	8.0	8.4	8.0	7.5

1.3.3 Kasus

Kasus pengembangan energi untuk mendukung program substitusi BBM akan membahas pengembangan energi alternatif untuk mengurangi penggunaan BBM baik di sektor transportasi maupun sektor industri. Pembahasan akan meliputi prospek biodiesel sebagai bahan bakarpengganti solar, pengembangan perkebunan energi berbasis kelapa sawit, prospek CNG sebagai bahan bakar pengganti bensin dan prospek pengembangan bioetanol.



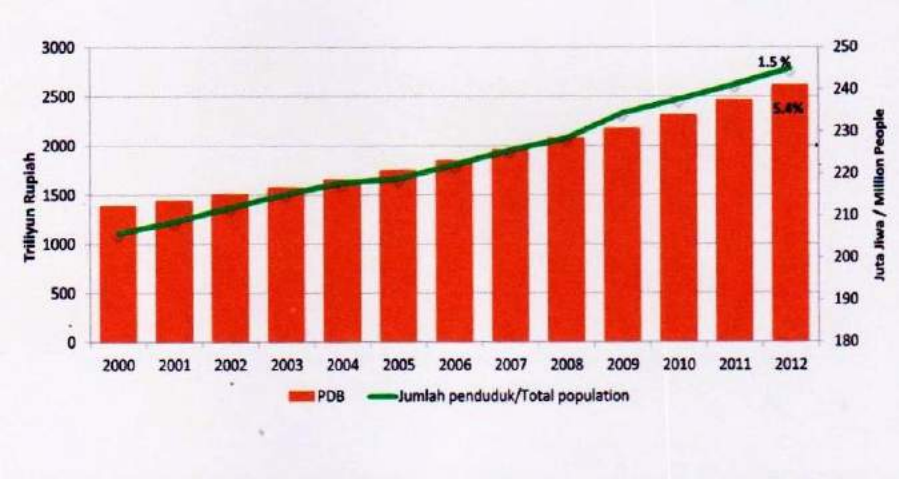
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 1. Asumsi pertumbuhan ekonomi (Data Bank Dunia 2013 dan asumsi sendiri)

BAB 2. KONDISI DAN PERMASALAHAN ENERGI SAAT INI

2.1 Produk Domestik Bruto dan Penduduk

Jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2012 mencapai245 juta jiwa atau meningkat rata-rata sebesar 1,51% pertahun sejak tahun 2000. Pada saat ini sekitar 54% penduduktinggal di wilayah perkotaan. Sedangkan produk domestikbruto (PDB) pada tahun 2012 mencapai 2.619 triliun rupiah(harga konstan tahun 2000) dengan laju pertumbuhanPDB rata-rata selama 12 tahun terakhir mencapai 5,4%.Pada tahun 2012, pertumbuhan ekonomi nasionalmencapai sebesar 6.3% per tahun yang lebih rendah daripertumbuhan pada tahun 2011 yakni sebesar 6.5%.Pendapatan per kapita meningkat dari 6,7 juta rupiahper kapita pada tahun 2000 menjadi 34,1 juta Rupiahper kapita pada tahun 2012. Berdasarkan kriteria BankDunia, Indonesia pada tahun 2012 termasuk negaraberpendapatan menengah bawah dengan pendapatansebesar 3,592 dolar per kapita.

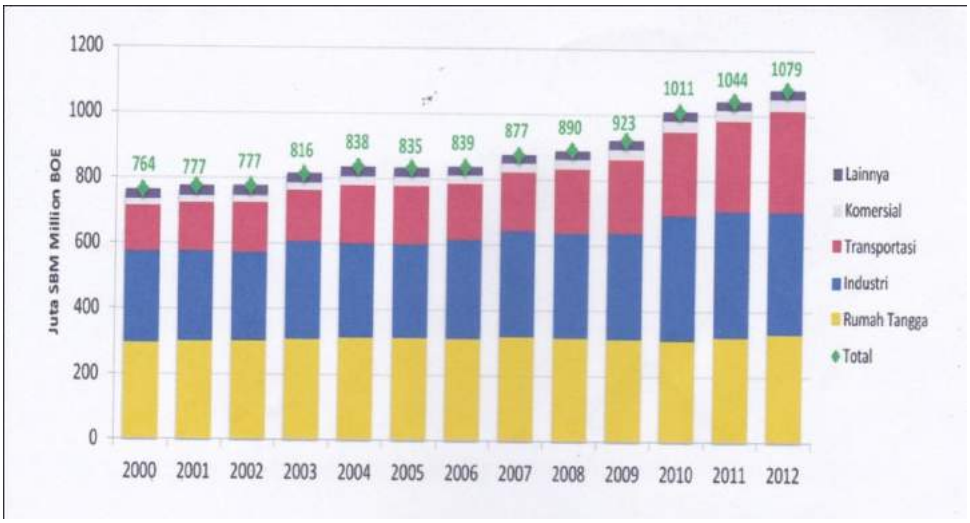


Gambar 2. Jumlah penduduk dan produk domestik bruto

2.2.1 Konsumsi Energi Final per Sektor

Konsumsi energi final (termasuk biomasa) pada kurun waktu 2000-2012 meningkat dari 764 juta SBM pada tahun 2000 menjadi 1.079 juta SBM pada tahun 2012 atau meningkat rata-rata 2,91% per tahun. Konsumsi energi final tersebut tidak mempertimbangkan other petroleumproducts, seperti pelumas, aspal, dan lainnya, di sektor industri. Pada tahun 2012 pangsa terbesar penggunaan energi adalah sektor industri (34,8%) diikuti oleh sektor rumah tangga (30,7%), transportasi (28,8%), komersial (3,3%), dan lainnya (2,4%). Selama kurun waktu 2000-2012, sektortransportasi mengalami pertumbuhan terbesar yang mencapai 6,92% per tahun, diikuti sektor komersial (4,58%), dan sektor industri (2,51%). Sedangkan untuk pertumbuhan di sektor rumah tangga hanya sebesar 0,92%, dan sektor lainnya mengalami penurunan sebesar 0,94%. Tingginya laju pertumbuhan konsumsi energi final di sektor transportasi disebabkan pesatnya pertumbuhan kendaraan bermotor dari kurun waktu 2000-2012 yang mencapai sekitar 14,3% per tahun. Sektor rumah tangga mempunyai pertumbuhan konsumsi energi yang rendah karena terjadi perubahan penggunaan peralatan dan teknologi yang lebih efisien serta beralihnya penggunaan kayu bakar digantikan penggunaan energi komersial seperti LPG dan listrik.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

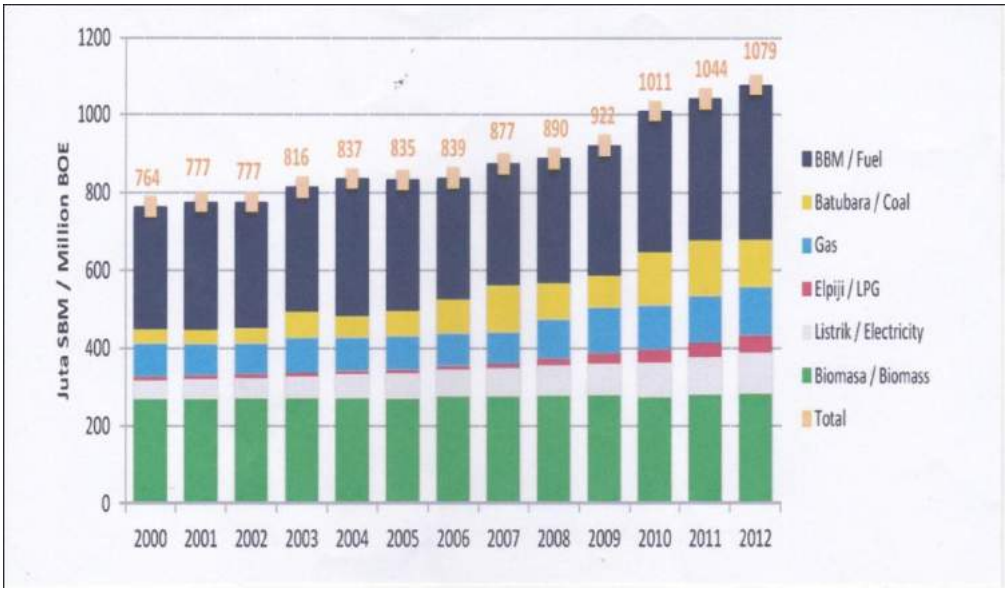


Gambar 2. Konsumsi energi final per sektor

2.2.2 Konsumsi Energi Final Per Jenis

Konsumsi energi final menurut jenis selama tahun 2000-2012 masih didominasi oleh BBM (avtur, avgas, bensin, minyak tanah, minyak solar, minyak diesel, dan minyak bakar). Selama kurun waktu tersebut, total konsumsi BBM meningkat dari 315 juta SBM pada tahun 2000 menjadi398 juta SBM pada tahun 2012 atau meningkat rata-rata 1,9% per tahun. Pada tahun 2000, konsumsi minyak solar termasuk minyak diesel mempunyai pangsa terbesar (42%) disusul minyak tanah (23%), bensin (23%), minyak bakar (10%), dan avtur (2%). Selanjutnya pada tahun 2012urutannya berubah menjadi bensin (50%), minyak solar (37%), avtur (7%), minyak tanah (4%), dan minyak bakar(2%).Perubahan pola konsumsi BBM tersebut disebabkan oleh tingginya laju konsumsi bensin kendaraan pribadi, tingginya laju konsumsi avtur/avgas oleh pesawat udara,terjadinya diversifikasi energi di sektor industri, dan adanya program substitusi minyak tanah dengan LPG di sektor rumah tangga. Konsumsi batubara meningkat pesat dari 36,1 juta SBMpada tahun 2000 menjadi 123 juta SBM pada tahun 2012 atau meningkat rata-rata 9.9% per tahun. Seluruh batubara tersebut digunakan untuk memasok kebutuhan energi sektor industri, terutama untuk industri semen, industri tekstil, serta industri kertas. **Konsumsi gas bumi meningkat dari 87,2 juta SBM pada** tahun 2000 menjadi 125,3 juta SBM pada tahun 2012 dengan laju pertumbuhan rata-rata 2,8% per tahun. Keterbatasan infrastruktur transmisi dan distribusi gas nasional menyebabkan pasokan gas bumi untuk memenuhi kebutuhan industri terbatas. Konsumsi listrik dalam kurun waktu tahun 2000-2012 mengalami pertumbuhan rata-rata 6,2% per tahun, masih lebih rendah dibanding batubara (9,9%), dan LPG (13,5%). Hal ini menyebabkan rasio elektrifikasi nasional masih 75,8% pada tahun 2012 yang berarti 24,8% penduduk Indonesia belum dialiri listrik. Kondisi ini menunjukkanbahwa tingkat elektrifikasi Indonesia masih rendah jika dibandingkan dengan negara-negara ASEAN lain seperti Singapura 100%, Malaysia 99,4%, Filipina 89,7%, dan Vietnam 97,6%.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 3. Konsumsi energi final per jenis

2.4.1 Potensi Sumber Daya Energi Fosil

Energi fosil yang terdiri atas batubara, minyak, dan gas merupakan sumber daya energi yang utama di Indonesia. Sebagian besar dari sumber daya maupun cadangan batubara yang dapat ditambang berada di wilayah Sumatera dan Kalimantan, terutama Sumatera Selatan dan Kalimantan Timur. Antara 2011-2012 terjadi penurunan sumberdaya batubaradari 120 milliar ton menjadi 119 milliar ton, sementara cadangannya bertambah dari 28 milyar ton menjadi 29 milyar ton. Dengan tingkat produksi batubara 353 juta ton pada 2011 dan 386 juta ton pada 2012, maka rasio cadangan terhadap produksi (R/P) batubara tersebut turun dari 79 pada tahun 2011 menjadi 75 tahun pada tahun 2012 Pada tahun 2011, total cadangan minyak Indonesia sebesar 7,73 milyar barel yang terdiri atas sekitar 4,04 miliar barel cadangan terbukti (proven) dan 3,69 miliar barel cadangan potensial. Pada 2012, total cadangan minyak tersebumenurun menjadi 7,41 milyar barel yang terdiri atas 3,74milyar barel cadangan terbukti dan 3,67 milyar barel cadangan potensial.
Berdasarkan tingkat produksi minyak bumi sebesar 329juta barel pada 2011 dan 315 juta barel pada2012, rasio cadangan produksi (R/P) minyak bumi adalah sekitar 12 tahun baik pada 2011maupun 2012. Sumber cadangan minyak tersebut sebagian besar berada di luar Jawa, terutama di Sumatera yang mencapai pangsa lebih dari 60 persen. Cadangan minyak lainnya tersebarantara lain di Kalimantan, Papua, Sulawesi, dan Maluku. Lebih dari 8 persen dari cadangan minyak tersebut berada di Kalimantan. Sementara cadangan minyak di Jawa mencapai sekitar 21 persen dari total cadangan nasional.Total cadangan gas bumi pada 2011 mencapai sekitar 153 TSCF yang terdiri dari cadangan terbukti sebesar 105 TSCF dan cadangan potensial lebih dari 48 TSCF. Total cadangangas tersebut pada 2012 cenderung menurun mencapai 151 TSCF yang terdiri atas 103 TSCF cadangan terbukti dan 47 TSCF cadangan potensial. Dengan Tingkat produksi gasbaik gas ikutan (associated) maupun gas bukan ikutan (non associated) mencapai 3,26 TCF pada 2011 dan 3,17 TCF pada 2012, rasio cadangan produksi gas mencapai secaraberurutan meningkat 32 tahun pada 2011 dan 33 tahun pada 2012.Sumber daya gas tersebut umumnya berada di luar Jawa,terutama di Sumatera termasuk Natuna yang mencapaihampir 56 persen. Cadangan gas di luar Jawa lainnya tersebar di Papua, Kalimantan, Maluku, dan Sulawesi yang masing-masing memiliki cadangan gas secara berurutan 16%, 11%, 10%, dan hampir 2%. Sementara itu di Jawa, cadangan gasnya hanya sekitar delapan persen dari totalcadangan gas Indonesia. Berdasarkan rasio cadangan produksi sumber energifosil tersebut, potensi pemanfaatan batubara merupakan yang paling tinggi, yaitu sekitar 75 tahun lagi akan habis, sedangkan potensi gas masih dapat bertahan sampai hampir 33 tahun lagi. Minyak merupakan sumber energi fosil yang potensinya paling kecil, yaitu masih dapatdimanfaatkan hanya sekitar 12 tahun lagi, bila tidak ditemukan cadangan baru.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Total cadangan gas bumi pada 2011 mencapai sekitar 153TSCF yang terdiri dari cadangan terbukti sebesar 105 TSCF dan cadangan potensial lebih dari 48 TSCF. Total cadangangas tersebut pada 2012 cenderung menurun mencapai 151 TSCF yang terdiri atas 103 TSCF cadangan terbukti dan 47 TSCF cadangan potensial. Dengan Tingkat produksi gas baik gas ikutan (associated) maupun gas bukan ikutan (non associated) mencapai 3,26 TCF pada 2011 dan 3,17 TCF pada 2012, rasio cadangan produksi gas mencapai secara berurutan meningkat 32 tahun pada 2011 dan 33 tahunpada 2012.Sumber daya gas tersebut umumnya berada di luar Jawa,terutama di Sumatera termasuk Natuna yang mencapai hampir 56 persen. Cadangan gas di luar Jawa lainnya tersebar di Papua, Kalimantan, Maluku, dan Sulawesi yang masing-masing memiliki cadangan gas secara berurutan 16%, 11%, 10%, dan hampir 2%. Sementara itu di Jawa,cadangan gasnya hanya sekitar delapan persen dari total cadangan gas Indonesia.Berdasarkan rasio cadangan produksi sumber energifosil tersebut, potensi pemanfaatan batubara merupakan yang paling tinggi, yaitu sekitar 75 tahun lagi akan habis, sedangkan potensi gas masih dapat bertahan sampai hampir 33 tahun lagi. Minyak merupakan sumber energi fosil yang potensinya paling kecil, yaitu masih dapat dimanfaatkan hanya sekitar 12 tahun lagi, bila tidak ditemukan cadangan baru.

Tabel 2. Potensi sumber daya energi fosil 2011-2012 (CDIEMR, 2012; 2013)

Jenis Energi / *Energy Type*	Tahun / *Year*	Cadangan potensial / *Potential Reserve*	Cadangan Terbukti / *Proven Reserve*	Total
Minyak Bumi (Miliar Barel) / *Oil (Billion Barrel)*	2011 2012	3.69 3.67	4.04 3.74	7.73 7.41
Gas Bumi (TSCF) / *Gas (TSCF)*	2011 2012	48.18 47.35	104.71 103.35	152.89 150.70
		Sumber Daya / *Resource*	Cadangan / *Reserve*	
Batubara (Miliar Ton) / *Coal (Billion Ton)*	2011 2012	120.33 119.42	28.01 28.97	

3. ENERGI TERBARUKAN UNTUK MENDUKUNG SUBTITUSI BBM

3.1 Langkah-Langkah Kebijakan

Kebijakan Energi Terbarukan dilaksanakan melalui :

3.1.1 Konservasi Energi

Mendorong pemanfaatan energisecara efisien dan rasional tanpamengurangi penggunan energi yang benarbenardiperlukan.

- Konservasi di sisi pembangkit, yangdidahului oleh audit energi
- Mengurangi pemakaian listrik yangbersifat konsumtif, keindahan,kenyamanan
- Mengganti peralatan yang tidak effisien
- Mengatur waktu pemakaian peralatanlistrik

3.1.2 Diversifikasi Energi

Upaya penganekaragaman penyediaandan pemanfaatan berbagai sumberenergi dalam rangka optimasi penyediaanenergi. Dalam rangka diversifikasi,penggunaan energi dari non-renewableenergy resources ke renewable energyresources, misalnya:

1. Menggagas upaya mengganti BBMdengan Bio-diesel (Bio-Solar) dan Bio-Etanol
2. Mendorong pembangunan PLT mikrohidro di pedesaan
3. Mengurangi peran pembangkit BBM danmenggantikannya dengan pembangkit non-BBM (campuran 10 persen biodiesel dan 90persen solar) menjadi Rp 2.400 per liter,suatu harga yang tidak terlalu tinggi untukbahan bakar yang lebih ramah lingkungan.Dengan kebutuhan solar Indonesiasekitar 23 juta ton per tahun (7,2 juta ton didiimpor), penggunaan B-10 akanantaranya memerlukan 2,3 juta ton biodiesel, atausetara dengan 2,415 juta ton CPO yangdapat dihasilkan dari

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sekitar 700.000 hakebun kelapa sawit, dan dapat menghidupisekitar 350.000 keluarga petani kelapasawit, dengan asumsi kepemilikan lahanseluas 2 ha per keluarga. Banyakkeuntungan dari pemakaian biodiesel.Jenis bahan bakar ini tidakmengandung sulfur dan senyawa benzeneyang karsinogenik, sehingga biodieselmerupakan bahan bakar yang lebih bersihdan lebih mudah ditangani dibandingkandengan solar. Perbedaan antara biodieseldan solar terutama pada komposisinya.Biodiesel terdiri dari metil ester asam lemaknabati, sedangkan solar adalah hidrokarbon.Pada dasarnya tidak perlu adamodifikasi mesin diesel apabila bahanbakarnya menggunakan biodiesel. Biodieselbahkan mempunyai efek pembersihanterhadap tangki bahan bakar, injektor danslang. Biodiesel tidak menambah efekrumah kaca seperti halnya solar, karenakarbon yang dihasilkan masih dalam sikluskarbon.Energi yang dihasilkan olehbiodiesel serupa dengan solar, sehinggaengine torque dan tenaga kuda yangdihasilkan juga serupa. Selain itu biodieselmenghasilkan tingkat pelumasan mesinyang lebih tinggi dibandingkan dengan solar.Sumber : Suara Pembaruan (20/6/05)

3.1.3 Intensifikasi Energi

Upaya pencarian sumber energibaru agar dapat meningkatkan cadanganenergi guna dimanfaatkan menghasilkantenaga listrik Pembangunan PLT Angindengan lokasi tersebar (2 unit diharapkanselesai 2006, dan 10 unit selesai setelah2006) Pembangunan PLT Hybrid di daerahterpencil.

3.1.4 Prospek Biodiesel dan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Pengganti Solar dan Bensin (BBM)

Pemerintah mempercepat pemanfaatan biodiesel denganmeningkatkan target mandatori pemanfaatan biodieseldi seluruh sektor (transportasi PSO dan non PSO, industri,komersial, dan pembangkit listrik) melalui perubahanterhadap Peraturan Menteri ESDM 32/2008. DenganPeraturan Menteri ESDM 25/2013 dengan target mandatoriyang lebih tinggi. Pada tahun 2015 target biosolar padatransportasi PSO dari 5% menjadi 10%, Industri dari 10%menjadi 20% dan listrik dari 15% menjadi 30%. Pada tahun2014 ditargetkan subtitusi mencapai 4 juta kl, sehinggadalam satu tahun ke depan diharapkan terjadi penurunanimpor BBM jenis solar dengan penghematan devisa sebesar3.1 juta dolarPemerintah mempercepat pemanfaatan biodiesel dengan meningkatkan target mandatori pemanfaatan biodieseldi seluruh sektor (transportasi PSO dan non PSO, industri,komersial, dan pembangkit listrik) melalui perubahanterhadap Peraturan Menteri ESDM 32/2008. DenganPeraturan Menteri ESDM 25/2013 dengan target mandatoriyang lebih tinggi. Pada tahun 2015 target biosolar padatransportasi PSO dari 5% menjadi 10%, Industri dari 10%menjadi 20% dan listrik dari 15% menjadi 30%. Pada tahun2014 ditargetkan subtitusi mencapai 4 juta kl, sehinggadalam satu tahun ke depan diharapkan terjadi penurunanimpor BBM jenis solar dengan penghematan devisa sebesar3.1 juta dolar.

3.2 Potensi Sumber EnergiTerbarukan di Indonesia

3.2.1 Energi Panas Bumi

Sebagai daerah vulkanik, wilayahIndonesia sebagian besar kaya akan sumberenergi panas bumi. Jalur gunung berapimembentang di Indonesia dari ujung PulauSumatera sepanjang Pulau Jawa, Bali, NTT,NTB menuju Kepulauan Banda, Halmahera,dan Pulau Sulawesi. Panjang jalur itu lebihdari 7.500 km dengan lebar berkisar 50-200 km dengan jumlah gunung api baik yangaktif maupun yang sudah tidak aktifberjumlah 150 buah. Berdasarkan penelitianyang telah dilakukan di sepanjang jalur itu,terdapat 217 daerah prospek panas bumi.Potensi energi panas bumi totaladalah 19.658 MW dengan rincian di PulauJawa 8.100 MW, Pulau Sumatera 4.885MW, dan sisanya tersebar di PulauSulawesi dan kepulauan lainnya. Sumberpanas bumi yang sudah dimanfaatkan saatini adalah 803 MW. Biasanya data energipanas bumi dapat dikelompokkan ke dalamdata energi cadangan dan energi sumber.Biaya investasi ada dua macam. Pertamabiaya eksplorasi dan pengembangansebesar 500-1.000 dollar AS/kW:1. Kedua, biaya pembangkit sebesar 1.500dollar/kW (kapasitas 15 MW), 1.200dollar/kW (kapasitas 30 MW), dan 910dollar/kW (kapasitas 55 MW).2. Untuk biaya energi dari panas bumiadalah 3-5 sen/kWh.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

3.2.2 Energi Air

Indonesia memiliki potensi besaruntuk pengembangan pembangkit listriktenaga air. Itu disebabkan kondisi topografiIndonesia bergunung dan berbukit sertadialiri oleh banyak sungai dan daerahdaerah tertentu mempunyai danau/wadukyang cukup potensial sebagai sumber energiair.Pembangkit listrik tenaga air (PLTA)adalah salah satu teknologi yang sudahterbukti (proven), tidak merusak lingkungan,menunjang diversifikasi energi denganmemanfaatkan energi terbarukan,menunjang program penguranganpemanfaatan BBM, dan sebagian besarmemakai kandungan lokal.Besar potensi energi air di Indonesiaadalah 74.976 MW, sebanyak 70.776 MWada di luar Jawa, yang sudah termanfaatkanadalah sebesar 3.105,76 MW sebagianbesar berada di Pulau Jawa.Pembangunan setiap jenispembangkit listrik didasarkan padakelayakan teknis dan ekonomis dari pusatlistrik serta hasil studi analisis mengenaidampak lingkungan.Sebagai pertimbangan adalahtersedianya sumber energi tertentu, adanyakebutuhan (permintaan) energi listrik, biayapembangkitan rendah, serta karakteristikspesifik dari setiap jenis pembangkit untukpendukung beban dasar (base load) ataubeban puncak (peak load)Selain PLTA, energi mikrohidro(PLTMH) yang mempunyai kapasitas 200-5.000 kW potensinya adalah 458,75 MW,sangat layak dikembangkan untukmemenuhi kebutuhan tenaga listrik di daerahpedesaan di pedalaman yang terpencilataupun pedesaan di pulau-pulau kecildengan daerah aliran sungai yang sempit.Biaya investasi untuk pengembanganpembangkit listrik mikrohidro relatif lebihmurah dibandingkan dengan biaya investasiPLTA. Hal ini disebabkan adanyapenyederhanaan standar konstruksi yangdisesuaikan dengan kondisi pedesaan.Biaya investasi PLTMH adalah lebih kurang2.000 dollar/kW, sedangkan biaya energidengan kapasitas pembangkit 20 kW (ratarata yang dipakai di desa) adalah Rp 194/kWh.

3.2.3 Energi Tumbuhan (Bio Energi)

3.2.3.1 Energi Tumbuhan

Tahun 2025 menargetkanpenggunaan bahar bakar alternatif biofuelsebesar dua puluh lima persen. Target limapersen dicapai tahun 2010, meningkatmenjadi 20 persen pada tahun 2020, dan25 persen pada tahun 2025

a. Alkohol.

Pada tahun 1995 DepartemenPertambangan dan Energi melaporkandalam Rencana Umum PengembanganEnergi Baru dan Terbarukan bahwa produksi etanol sebagai bahan baku tetes mencapai35-42 juta liter per tahun.Jumlah itu akan mencapai 81 juta liter per tahun bila seluruh produksi tetesdigunakan untuk membuat etanol. Saat inisebagian dari produksi tetes tebu Indonesiadiekspor ke luar negeri dan sebagian lagidimanfaatkan untuk keperluan industri selainetanol.

b. Biodiesel

Akhir tahun 2004 luas totalperkebunan kelapa sawit di Indonesia telahmencapai 5,3 juta hektare (ha) denganproduksi minyak kelapa sawit (crude palmoil/CPO) sebesar 11 juta ton. Perkembanganperkebunan sawit ini masih terus berlanjutdan diperkirakan dalam lima tahunmendatang Indonesia akan menjadiprodusen CPO terbesar di dunia dengantotal produksi sebesar 15 juta ton per tahun.Salah satu produk hilir dari minyaksawit yang dapat dikembangkan diIndonesia adalah biodiesel yang dapatdigunakan sebagai bahan bakar alternatif,terutama untuk mesin diesel.Dengan semakin tingginya hargaminyak bumi akhir-akhir ini, sudah saatnyaapabila Indonesia mulai mengembangkanbiodiesel, baik untuk konsumsi dalam negerimaupun untuk ekspor. Harga biodieselmurni sangat bergantung pada harga CPOyang selalu berfluktuasi. Untuk skala besar,pada harga CPO US$ 400 per ton, hargabiodiesel diperkirakan mencapai sekitarUS$ 560 per ton, sehingga harga B-10(campuran 10 persen biodiesel dan 90persen solar) menjadi Rp 2.400 per liter,suatu harga yang tidak terlalu tinggi untukbahan bakar yang lebih ramah lingkungan.Dengan kebutuhan solar Indonesiasekitar 23 juta ton per tahun (7,2 juta ton diantaranya diimpor), penggunaan B-10 akanmemerlukan 2,3 juta ton biodiesel, atausetara dengan 2,415 juta ton CPO yangdapat dihasilkan dari sekitar 700.000 hakebun kelapa sawit, dan dapat menghidupisekitar 350.000 keluarga petani kelapasawit, dengan asumsi kepemilikan lahanseluas 2 ha per keluarga. Banyakkeuntungan dari pemakaian biodiesel.Jenis bahan bakar ini

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

tidakmengandung sulfur dan senyawa benzeneyang karsinogenik, sehingga biodieselmerupakan bahan bakar yang lebih bersihdan lebih mudah ditangani dibandingkandengan solar. Perbedaan antara biodiesel dan sola terutama pada komposisinya.Biodiesel terdiri dari metil ester asam lemaknabati, sedangkan solar adalah hidrokarbon.Pada dasarnya tidak perlu adamodifikasi mesin diesel apabila bahanbakarnya menggunakan biodiesel. Biodieselbahkan mempunyai efek pembersihanterhadap tangki bahan bakar, injektor danslang. Biodiesel tidak menambah efekrumah kaca seperti halnya solar, karenakarbon yang dihasilkan masih dalam sikluskarbon.Energi yang dihasilkan olehbiodiesel serupa dengan solar, sehinggaengine torque dan tenaga kuda yangdihasilkan juga serupa. Selain itu biodieselmenghasilkan tingkat pelumasan mesinyang lebih tinggi dibandingkan dengan solarSumber : Suara Pembaruan (20/6/05)

c. Biomassa/Biogas

Biomassa merupakan sumberenergi primer yang sangat potensial diIndonesia, yang dihasilkan dari kekayaanalamnya berupa vegetasi hutan tropika.Biomassa bisa diubah menjadi listrik ataupanas dengan proses teknologi yang sudahmapan. Selain biomassa seperti kayu, darikegiatan industri pengolahan hutan,pertanian dan perkebunan, limbah biomassa(Tabel 2) yang sangat besar jumlahnyapada saat ini juga belum dimanfaatkandengan baik.Munisipal solid waste (MSW) di kota-kotabesar merupakan limbah kota yangutamanya adalah berupa biomassa, menjadimasalah yang serius karena mengganggulingkungan adalah potensi energi yang bisadimanfaatkan dengan baik.Limbah biomassa padat dari sektorkehutanan, pertanian, dan perkebunanadalah limbah pertama yang palingberpotensi dibandingkan misalnya limbahlimbah padi, jagung, ubi kayu, kelapa,kelapa sawit dan tebu. Besarnya potensilimbah biomassa padat di seluruh Indonesiaadalah 49.807,43 MW.Dengan pemutakhiran teknologibudidaya tanaman, dimungkinkanpengembangan hutan energi untukpengadaan biomasa sesuai dengankebutuhan dalam jumlah yang banyak danberkelanjutan.Selain limbah biomassa padat, energibiogas bisa dihasilkan dari limbah kotoranhewan, misalnya kotoran sapi, kerbau,kuda, dan babi juga dijumpai di seluruhprovinsi Indonesia dengan kuantitas yangberbeda-beda.Pemanfaatan energi biomassa danbiogas di seluruh Indonesia sekitar 167,7MW yang berasal dari limbah tebu danbiogas sebesar 9,26 MW yang dihasilkandari proses gasifikasi. Biaya investasibiomassa adalah berkisar 900 dollar/kWsampai 1.400 dollar/kW dan biayaenerginya adalah Rp 75/kW-Rp 250/kW.

3.2.4 Energi Samudra/Laut

Di Indonesia, potensi energi samudra/laut sangat besar karena Indonesia adalahnegara kepulauan yang terdiri dari 17.000pulau dan garis pantai sepanjang 81.000km, terdiri dari laut dalam , laut dangkal.dan sekitar 9.000 pulau-pulau kecil yangtidak terjangkau arus listrik Nasional, danpenduduknya hidup dari hasil laut.Dengan perkiraan potensi semacamitu, seluruh pantai di Indonesia dapatmenghasilkan lebih dari 2 ~ 3 Terra WattEkwivalensi listrik, diasumsikan 1% daripanjang pantai Indonesia (~ 800 km) dapatmemasok minimal ~16 GWatt atau samadengan pasokan seluruh listrik di Indonesiatahun 2005.Energi samudra ada empat macam,yaitu energi panas laut, energi pasang surut,energi gelombang, energi arus laut. Prinsipkerja masing-masing :

.

3.2.5 Sel Bahan Bakar ("*Fuel Cell*")

Bahan baku utama sebagai sumber energi sel bahan bakar adalah gas hidrogen.Gas hidrogen dapat langsung digunakan dalam pembangkit energi listrik dan mempunyai kerapatan energi yang tinggi.Beberapa alternatif bahan baku seperti methane, air laut, air tawar, dan unsur-unsur yang mengandung hidrogen dapat pula digunakan namun diperlukan sistem pemurnian sehingga menambah jumlah *system cost* pembangkitnya. Biayainvestasi belum bisa diketahui karena masihbanyak penelitian yang

1. Energi panas laut yaitu dengan menggunakan beda temperatur antara temperatur di permukaa laut dan temperatur di dasar laut.
2. Energi pasang surut dengan menggunakan beda ketinggian antara laut pasang terbesar dan laut surut terkecil.
3. Energi gelombang adalah dengan menggunakan besar ketinggian gelombang dan panjang gelombang.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4. Energi arus laut prinsip kerjanya persis sama dengan turbin angin.

Dengan menggunakan turbin akan dihasilkan energi listrik.Potensi energi panas laut di Indonesia bisa menghasilkan daya sekitar 240.000 MW, tetapi secara teknologi, pembangkit listrik tenaga laut belum dikembangkan dandikuasai sedangkan untuk energi pasang surut dan energi gelombang masih sulit diprediksi karena masih banyak ragam penelitian yang belum bisa didata secara rinci.Keempat energi samudra di atas di Indonesia masih belum terimplementasikan karena masih banyak faktor sehingga sampai saat ini masih taraf wacana dan penelitian penelitian. Biaya investasi belum bisa diketahui di Indonesia tetapiberdasarkan uji coba di beberapa negara industri maju adalah berkisar 9 sen/kWh hingga 1sen/kWh sangat bervariasi yang belum bisa dipakai sebagai patokan.

3.2.6 Angin

Secara umum Indonesia masuk kategori negara tanpa angin, mengingatbahwa kecepatan angin minimum rata-rata yang secara ekonomis dapat dikembangkan sebagai penyedia jasa energi adalah 4m/dt. Kendatipun demikian ada beberapa wilayah dimana sumber energi angin kemungkinan besar layak dikembangkan.Wilayah tersebut antara lain Nusa Tenggara Timur (NTT), Nusa Tenggara Barat (NTB),Sulawesi Selatan dan Tenggara, Pantai Utara dan Selatan Jawa dan Karimun Jawa. Skala pemanfaatan Tenaga anginpada umumnya dikelompokkan dalam skalakecil, menengah dan besar.

3.2.7 Surya

Berdasarkan data penyinaranmatahari yang dihimpun dari 18 lokasi diIndonesia menunjukan bahwa radiasi suryadi Indonesia dapat diklasifikasikan berturutturutuntuk kawasan barat dan timurIndonesia dengan distribusi penyinaran :

- Kawasan barat Indonesia (KBI) = 4.5kWh/m2.hari, variasi bulanan sekitar 10%
- Kawasan timur Indonesia (KTI) = 5.1kWh/m2.hari, variasi bulanan sekitar 9%
- Rata-rata Indonesia = 4.8 kWh/m2.hari,variasi bulanan sekitar 9%.Hal ini mengisyaratkan bahwa:
- radiasi surya tersedia hampir meratasepanjang tahun,
- kawasan timur Indonesia memilikipenyinaran yang lebih baik.Energi surya dapat dimanfaatkanmelalui dua macam teknologi yaitu energisurya termal dan surya fotovoltaik.

a. Surya Fotovoltaik

Energi surya atau lebih dikenalsebagai solar cell atau *photovoltaic cell*,merupakan sebuah divais semikonduktoryang memiliki permukaan yang luas danterdiri dari rangkaian dioda tipe p dan n,yang mampu merubah langsung energisurya menjadi energi listrik.

b. Surya Termal

Sebagian besar dan secara komersial,pemanfaatan energi surya termal banyakdigunakan untuk penyediaan air panasrumah tangga, khususnya rumahtanggaperkotaan. Jumlah pemanas air tenagasurya (PATS) diperkirakan berjumlah150.000 unit dengan total luasan kolektorsebesar 400,000 m2.Secara non-komersial dan tradisional,energi surya termal banyak digunakan untukkeperluan pengeringan berbagai komoditaspertanian, perikanan, perkebunan, industrikecil, dan keperluan rumah tangga. Secarakomersial, energi surya mempunyai potensiekonomi untuk penyediaan panas prosessuhu rendah (s/d 90^0 C) menggunakansistem energi surya termik (SEST) bagikeperluan pengolahan pasca panenkomoditas tersebut dengan lebih efektif danefisien. Pengalaman menunjukkan bahwapenerapan SEST untuk pengeringan dapatmemberikan berbagai nilai tambah yangtinggi berupa: peningkatan dan jaminankualitas produk, mengurangi rugi-rugi(*losses*) material selama produksi (a.l. rusakdan hilang), dan waktu pengolahan yanglebih singkat.Meskipun belum banyak dikembangkan,pemanfaatan energi surya termaluntuk proses disalinasi pada daerah ataupemukiman dekat pantai kemungkinan besar akan berkembanmengingat mulaimunculnya banyak kesulitan air dikawasan-kawasantersebut.

3.2.8 Panas Bumi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Berdasarkan survei menunjukkanbahwa terdapat 70 lokasi panas bumibertemperatur tinggi dengan kapasitas totalmencapai 19.658 MW. Sebagian besar darilokasi tersebut belum dilakukan eksploitasisecara intensif.

3.2.9 Energi Nuklir

Kebutuhan energi nasional dari tahunke tahun semakin meningkat, terutamakebutuhan energi listrik. Peningkatantersebut sejalan dengan laju pertumbuhanekonomi, laju pertumbuhan penduduk, danpesatnya perkembangan sektor industri.Untuk memenuhi kebutuhan energi nasionaltidak cukup hanya mengandalkan sumberenergi yang ada, karena sumber energi kitasudah banyak terkuras selama beberapatahun terakhir.Untuk itu, perlu mencari sumbersumber energi alternatif yang lain yangcukup potensial untuk menggantikannya,misalnya energi baru dan terbarukan. Energinuklir adalah energi baru yang perludipertimbangkan karena energi ini bisamenghasilkan energi yang dalam order yangbesar sampai ribuan megawatt, tetapi harusmemperhatikan beberapa aspek. Aspek ituantara lain aspek keselamatan, sosial,ekonomi, teknis, sumber daya manusia, danteknologi.

a. Manfaat PLTN

- Penggunaan untuk Pembangkitan Listrik
- Diversifikasi : pasokan energi dalambentuk listrik
- Konservasi: penghematan penggunaansumber daya energi nasional
- Pelestarian Lingkungan : Mengurangiemisi gas rumah kaca (*GHC*) secarasignifikan
- Penggunaan untuk Non Listrik

Pengembangan konsep reaktor *cogeneration*untuk produksi air bersih/desalinasi, penggunaan panas proses(untuk industri, pencairan-gasifikasibatubara, produksi hidrogen, *Enhance OilRecovery*, dll).

b. Manfaat Lain Iptek Nuklir dalamSektor Energi

Teknologi Nuklir di Indonesia:berperan dalam energi Hidro pengelolaan air dan sumbernya mikrohidro (contoh di Bribin,pengeloaan air tanah dalam), *Geothermal(Sibayak, Kamojang, Lahendong)*, *Biofuel/*biodiesel (sorgum, jarak pagar), danmembersihkan gas SOx dan NOx dari PLTUfosil dengan EBM.Program energi nuklir biasanya harusmelalui beberapa tahapan yang terencanadan dilaksanakan secaraberkesinambungan. Di samping kegiatanutama diperlukan juga kegiatan pendukungyang lain, misalnya, kegiatan penelitian/studi pengembangan teknologi nuklir,kegiatan/studi daur ulang bahan bakarnuklir, pengaturan/perizinan dalam bidangnuklir serta pendidikan dan pelatihan. Halini juga harus melibatkan beberapa institusipemerintah, universitas, organisasi sosial,LSM, dan lain-lain.Sebetulnya sejak tahun 1972 proyekstudi energi nuklir sudah dipikirkan olehbadan pemerintah yang berkompeten dibidang ini, yaitu Batan. Hanya saja masihbanyak kendalanya untukdiimplementasikan.Berdasarkan informasi pemasokPLTN besarnya biaya modal/investasi padatahun 1992 untuk PLTN konvensionalberbagai jeÿÿÿÿdan ÿÿurÿÿÿÿ60ÿÿ1.ÿÿÿÿ)berkisar 1.530-2.200 dollar/kW. Adapunbiaya pembangkit tergantung kapasitasnya,yaitu kapasitas 600 MW biayanya berkisar55,2-61,2 mills/kWh, kapasitas 900 MWbiayanya berkisar 47,4-56,4 mills/kWh.Dari beberapa studi, harga bahanbakar hasilnya bervariasi, NEWJEC 1992sebesar 5,9-6,6 mills/kWh, Batan 1992sebesar 15 mills/kWh, dan Krebs et. Al/Siemens 1993 sebesar 11,2 mills/kWh,sedangkan biaya operasi dan pemeliharaansebesar 77 dollar/kW.

Tabel 3. Sumber energi baru dan terbarukan di Indonesia*(Directorate General of NRE&EC, 2013*

No	Sumber energi *Energy resources*	Potensi *Potential*	Kapasitas terpasang *Installed capacity*
1	Panas bumi *Geothermal*	16.502 MW (Cadangan / *Reserve*)	1.341 MW (Sampai Mei 2013 /*Until May 2013*)
2	Hidro *Hydro*	75.000 MW (Sumberdaya / *Resource*)	7.059 MW

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

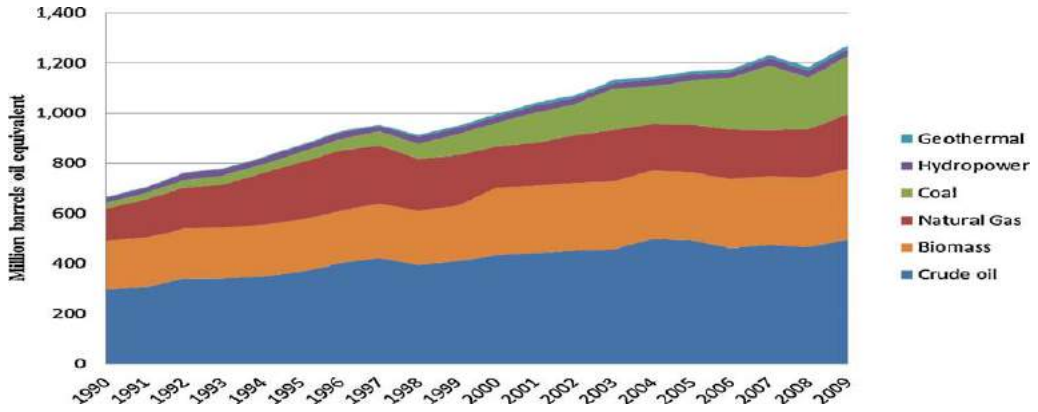
3	Mini-mikrohidro *Mini- micro hydro*	769,7 MW (Sumberdaya / *Resource*)	512 MW
4	Biomasa *Biomass*	13.662 Mwe (Cadangan / *Reserve*)	1.364 Mwe 75,5 Mwe (*On Grid*)
5	Energi surya *Solar energy*	4,80 kWh/m2/day	42,78 MW
6	Energi angin *Wind energy*	3-6 m/s	1,33 MW
7	Uranium	3000 MW	30 MW
8	Gas metana batubara *Coal bed methane*	453 TSCF (Sumberdaya / *Resource*)	
9	*Shale gas*	574 TSCF (Sumberdaya / *Resource*)	

Tabel 4. Road map pengembangan energi kelautan di Indonesia(Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia (METI)

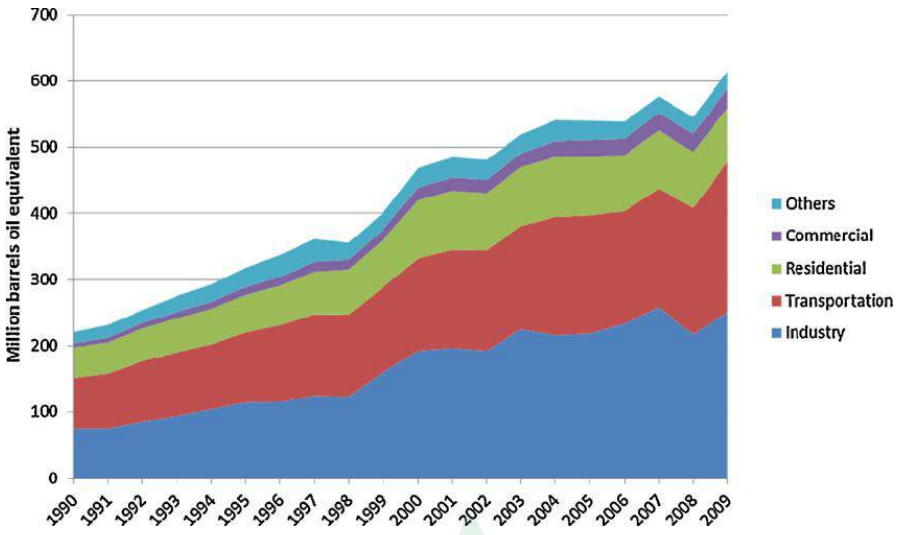
Energi Samudra / *OceanEnergy*		**2010 - 2015**	**2010 – 2020**	**2010 - 2025**
Energi Gelombang / *Wave Energy*				**50 MW**
a.	Teknologi / *Technology*	Uji Coba / *Trial*	Pengganti pembangkit listrik diesel pada daerah terpencil dan pulau-pulau kecil / *Substitute for diesel power plants in remote areas and small islands*	Pembangkit listrik utama bersaing dengan pembangkit listrik lainnya / *Compete with other power plants*
b.	Output per unit	< 100 kW	100 kW – 1 MW	0,5 – 2 MW
c.	Biaya pembangkitan / *Generating cost*		Rp./kWh 1.500 – 2.000	Rp./kWh 1.000 – 1.500
Energi Pasang Surut / *Tidal Power*				**1.000 MW**
a.	Teknologi / *Technology*	*Pilot Project*	Pembangkit utama untuk wilayah timur Indonesia / *Main power plant for eastern region of Indonesia*	Pembangkit utama untuk wilayah timur Indonesia / *Main power plant for eastern region of Indonesia*
b.	Output per unit	1 MW	10 – 50 MW	50 – 200 MW
c.	Biaya pembangkitan / *Generating cost*		Rp./kWh 1.000 – 1.500	Rp./kWh 600 – 1.000
Energi Arus Laut / *Ocean Current Energy*				**500 MW**
a.	Teknologi / *Technology*	Uji Coba / *Trial*	Pengganti pembangkit listrik diesel pada NTB dan NTT / *Substitute for diesel power plant in NTB and NTT*	
b.	Output per unit	< 100 kW	100 kW – 1 MW	10 – 100 MW
c.	Biaya pembangkitan / *Generating cost*		Rp./kWh 1,500 – 2.000	Rp./kWh 1.000 – 1.500
OTEC (*Ocean Thermal Energy Conversion*)				**100 MW**

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Energi Samudra / *OceanEnergy*		**2010 - 2015**	**2010 – 2020**	**2010 - 2025**
a.	Teknologi / *Technology*	*FS & Pilot Project*	Pengganti pembangkit listrik diesel pada pulau-pulau kecil / *Substitute for diesel power plants in remote areas and small islands* Pembangkit pada daerah wisata dan industri produk sampingan / *Power plant in the tourist areas and byproducts industry*	Pembangkit listrik utama bersaing dengan pembangkit listrik lainnya / *Compete with other power plants*
b.	Output per unit	1 – 5 MW	1 – 5 MW	50 – 100 MW
c.	Biaya pembangkitan / *Generating cost*		Rp./kWh 1500 – 2.500	Rp./kWh 1.000 – 1.500
Total 1.650 MW				



Gambar 4. Primary energy supply by fuel type in Indonesia.



Gambar 5. Final energy consumption by sector in Indonesia.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4. BERBAGAI KEBIJAKAN DI BIDANGENERGI RESPON TERHADAP SITUASINASIONAL DAN INTERNASIONAL

Untuk mendukung upaya dan program pengebangan EBT, pemerintah sudah menerbitkanserangkaian kebijakan dan regulasi yang mencakup Peraturan Presiden No. 5/2006 tentangKebijakan Energi Nasional, Undang-Undang No. 30/2007 tentang Energi, Undang-undang No.15/1985 tentang Ketenagalistrikan, PP No. 10/1989 sebagaimana yang telah diubah dengan PPNo. 03/2005 Tentang Perubahan Peraturan Pemerintah No. 10 Tahun 1989 tentangPenyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik dan PP No. 26/2006 tentang Penyediaan &Pemanfaatan Tenaga Listrik, Permen ESDM No. 002/2006 tentang Pengusahaan PembangkitListrik Tenaga Energi Terbarukan Skala Menengah, dan Kepmen ESDMNo.1122K/30/MEM/2002 tentang Pembangkit Skala Kecil tersebar. Saat ini sedang disusunRPP Energi Baru Terbarukan yang berisi pengaturan kewajiban penyediaan dan pemanfaatanenergi baru dan energi terbarukan dan pemberian kemudahan serta insentif.

- KEN 2004 – 2020, Februari 2004
- Perpres No. 7/2005, RPJM 2005 – 2009
- RUKN 2005 – 2025, April 2005
- Blueprint PEN 2005 – 2025, Mei 2005
- Kebijakan Penghematan Energi, Agustus
- Kenaikan tarif BBM, Februari danOktober 2005
- Konsep Prerpres tentang PenggunaanEnergi Alternatif di Indonesia s/d 2025

5. KESIMPULAN

1) Kondisi atau keadaan energi saat inisekali lagi mengajarkan kepada kitabahwa usaha serius dan sistematis untukmengembangkan dan menerapkansumber energi terbarukan gunamengurangi ketergantungan terhadapbahan bakar fosil perlu segera dilakukan.
2) Penggunaan sumber energi terbarukanyang ramah lingkungan juga berartimenyelamatkan lingkungan hidup dariberbagai dampak buruk yang ditimbulkanakibat penggunaan BBM.
3) Terdapat beberapa sumber energiterbarukan dan ramah lingkungan yangbisa diterapkan segera di tanah air, sepertibioethanol, biodiesel, tenaga panas bumi,tenaga surya, mikrohidro, tenaga angin,dan sampah/limbah.
4) Kerjasama, koordinasi antar DepartemenTeknis serta dukungan dari industri danmasyarakat sangat penting untukmewujudkan implementasi sumber energiterbarukan tersebut.
5) Didukung ketersediaan sumberbahan baku biodiesel di Indonesia yang cukup beragam,maka target pemanfaatan biodiesel sebagai campurandalam biosolar pada Peraturan Menteri Nomor 25Tahun 2013 masih dapat dinaikkan untuk mengurangiketergantungan akan bahan bakar minyak serta untukmeningkatkan ketahanan energi nasional.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Yuli Setyo Indartono, *Krisis Energi diIndonesia: Mengapa dan HarusBagaimana*. http://io.ppi-jepang.org/#bawah.
[2] Service, RF., *Is it time to shoot for the Sun?*,Science Vol 309, July 22, 2005, 548-551.
[3] Sunggu Anwar Aritonang, Direktur Niagadan Pelayanan Pelanggan PT PLN(Persero)
[4] Dr A Harsono Soepardjo MEng *Ketua PusatStudi Kelautan FMIPA-UI dan PenelitiPusat Studi Energi UI " Energi Baru danTerbarukan"* Kompas 24 Oktober 2005.
[5] Ika Heriansyah,"*Potensi PengembanganEnergi dari Biomassa Hutan di Indonesia*",ISSN : 0917-8376 Edisi Vol.5/XVII/November 2005 – INOVASI.
[6] Chayun Bodiono, *Tantangan dan PeluangUsaha Pengembangan Sistem Energiterbarukan di Indonesia*.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ANALISIS PENGARUH KONSUMSI ENERGI TERBARUKAN DAN ENERGI TIDAK TERBARUKAN TERHADAP GDP NEGARA ANGGOTA OECD (ORGANITATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT)

JURNAL ILMIAH

Disusun oleh :

Johan Aji Setiyawan
115020100111073

JURUSAN ILMU EKONOMI
FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
2018

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

LEMBAR PENGESAHAN PENULISAN ARTIKEL JURNAL

Artikel Jurnal dengan judul :

Analisis Pengaruh Konsumsi Energi Terbarukan dan Energi Tidak Terbarukan Terhadap GDP Negara Anggota Oecd (Organitation for Economic Co-Operation and Development)

Yang disusun oleh :

Nama	:	Johan Aji Setiyawan
NIM	:	115020100111073
Fakultas	:	Ekonomi dan Bisnis
Jurusan	:	S1 Ilmu Ekonomi

Bahwa artikel Jurnal tersebut dibuat sebagai ***persyaratan ujian skripsi*** yang dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 20 Juli 2018

Malang, 20 juli 2018

Dosen Pembimbing,

Ajeng Kartika Galuh , SE., ME

NIP. 2012018512212001

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Analisis Pengaruh Konsumsi Energi Terbarukan dan Energi Tidak Terbarukan Terhadap GDP Negara Anggota OECD (Organitation for Economic Co-Operation and Development)

Johan Aji Setiyawan
Fakultas Ekonomi Dan Bisnis Universitas Brawijaya
Email: johanajis63@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis bagaimana perkembangan dalam hal penggunaan atau konsumsi energi terbarukan dan energi tidak terbarukan dan mengetahui jenis energi manakah yang mempunyai pengaruh yang palig signifikan terhadap GDP Negara anggota OECD. Penelitian ini menggunakan data sekunder. Metode penelitian yang di gunakan dalam penelitian ini adal analisis regresi data panel di bantu alat uji berupa Eiews 9. Dalam penelitian ini di ketahui bahwa perkembangan penggunaan atau konsumsi energi terbarukan memiliki kecenderungan untuk naik dari tahun ke tahun sedangkan untuk energi tidak terbarukan (konsusmis batu bara dan konsumsi minyak bumi) memiliki kecenderungan yang fluktuatif. Dari hasil regresi di ketahui bahwa energi tidak terbarukan yaitu konsumsi minyak bumi memiliki pengaruh paling signifikan terhadap GDP di ikuti dengan konsumsi energi terbarukan dan konsumsi batu bara dengan pegaruh paling kecil dari ketiga variabel.

Kata kunci: konsumsi energi terbarukan, konsusmi energi tidak terbarukan, GDP, minyak bumi, batu bara, OECD

A. PENDAHULUAN

Penggunaan energi dalam sebuah proses produksi merupakan suatu faktor yang penting. Dari awal penggunaan energi dari tenaga manusia hingga penggunaan mesin yang canggih yang menggunakan listrik ataupun mesin yang menggunakan energi yang bersumber dari bahan bakar fosil. Perkembangan dalam efisiensi penggunaan energi ini sudah berlangsung sejak lama dan meningkat tinggi ketika terjadinya revolusi industri. Revolusi industri yang pertama terjadi di Britania Raya atau yang kita sebut dengan Negara Inggris. Penemuan – penemuan baru di bidang teknologi terutama di bidang teknologi industri semakin meningkatkan produksi barang yang ada di inggris.

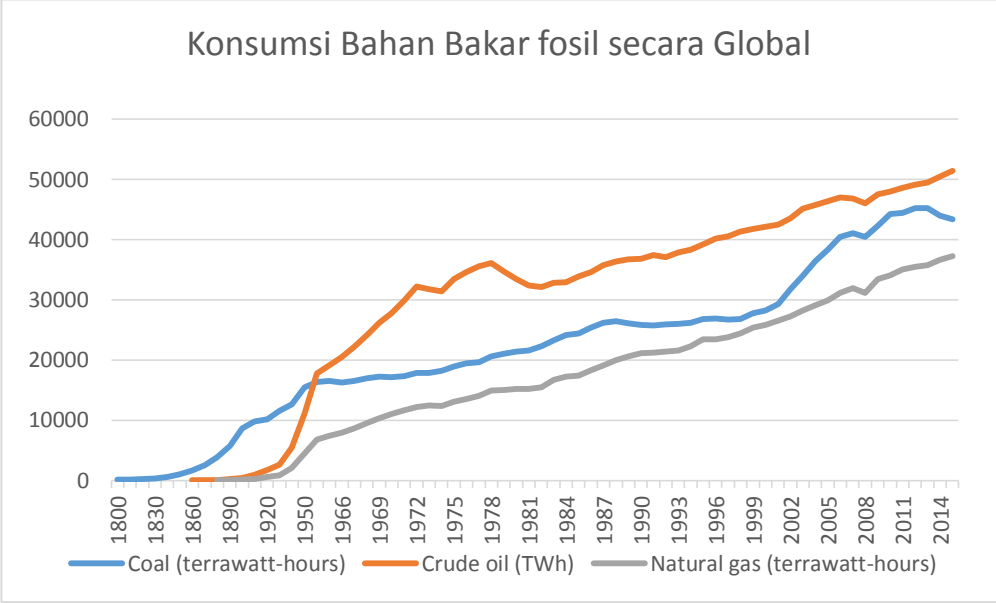
Yang paling berperan penting dalam rovolusi industri ini adalah penemuan mesin uap, sebelum adanya penemuan mesin uap ini mesin menggunakan tenaga air ataupun angin sebagai penggeraknya. Mesin uap yang pertama ini tidak digunakan untuk kegiatan produksi melainkan digunakan untuk kegiatan penambangan batu bara, mesin ini di gunakan untuk memompa keluar air yang ada di tambang batu bara .dengan adanya mesin uap ini. Pekerjaan penambangan batu bara pun lebih mudah dan batu bara yang di tambang pun menjadi lebih banyak dari sebelumnya. Mesin uap ini juga berjasa dalam berbagai bidang lain seperti transportasi dengan adanya kereta yang bermesinkan mesin uap dan juga kapal dengan mesin uap. Perkembangan di bidang transportasi ini tentu nya mempermudah jalanya perdagangan, selain itu penggunaan mesin uap dalam percetakan mempercepat laju pertumbuhan komunikasi yang berupa surat kabar ataupun Koran pada saat itu. Penemuan mesin uap ini merubah jalanya ekonomi ke arah yang lebih baik sehingga terjadilah revolusi industri yang pertama ini

Revolusi industri yang kedua sering juga di sebut dengan revolusi teknologi, dimana terjadi industrialisasi yang cepat. Perkembangan industrialisasi ini sebagian besar terjadi di Inggris, Jerman, Amerika serikat dan juga terjadi di Prancis, Italy dan Jepang. Revolusi ini merupakan kelanjutan dari revolusi industri yang pertama, revolusi indusrtri yang kedua ini di mulai dengan di bangunya jaringan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

kereta yang luas, produksi besi dan baja dengan jumlah yang besar. Penggunaan mesin dalam hal industri yang semakin meluas serta penggunaan telegram dan bahan bakar minyak

Gambar 1 Konsumsi Bahan Bakar Fosil Secara Global



Sumber : www.ourworldindata.org

Dari grafik tersebut dapat di ketahui bahwa konsumsi bahan bakar fosil terus meningkat dari awal terjadinya revolusi industri perkembangan teknologi yang terjadi setelah revolusi industri terus menigkatkan kegiatan produksi yang terjadi . penggunaan mesin di bidang industri pun semakin menigkat sehingga penggunaan bahan bakar dari mesin tersebut juga meningkat , di mana bahan bakar tersebut merupakan bahan bakar fosil. Seiring dengan meningkatnya kegiatan produksi maka perekonomian pun mengalami perkembangan yang di tunjukan oleh tingkat GDP

Penggunaan bahan bakar fosil secara terus menerus mengakibatan efek negatif berupa timbulnya gas rumah kaca yang bisa berupa gas karbon dioksida atau CO2 dimana gas ini merpakan salah satu jenis gas yang bertanggungjawab atas terjadinya pemanasan gloal yang terjadi sekarang ini .di karenakan terjadinya pemanasan global ini maka di adakan konferensi di paris yang menghasilkan paris agreement dimana dalam poin pertama paris agreement terssbut mnyatakan bahwa untuk Menekan kenaikan suhu rata-rata global di bawah 2° C di atas tingkat pra-industri alisasi dan untuk mengejar upaya untuk membatasi kenaikan suhu menjadi 1,5° C di atas tingkat pra-industri . dan salah satu cara untuk menekan kenaikan suhu tersebut ialah dengan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan menggantinya dengan menggunakan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan. Namun kenyataanya bahwa masih terdapat ketergantungan terhadap bahan bakar fosil . hal ini di tunjukan dengn laporan departemen energi US yang menyatakan bahwa konsumsi energi global akan naik sebesar 28% dan 77% dari konsumsi energi ini masih di dominasi oleh jenis energi non terbarukan.

Penelitian yang dilakukan oleh Aslan Alper dan Ocal Oguz yang berjudul *The role of renewable energi consumption in economic growth: Evidence from asymmetric causality* menujukan bahwa penggunaan energi terbarukan mempunyai efek yang positif terhadap pertumbuhan ekonomi. Jika di bandingkan dengan penjelasan sebelumnya dimana masih tinggi tingkat ketergantungan terhadap bahan bakar fossil maka timbul pertanyaan jenis energi manakah yang mempunyai efek yang lebih baik terhadap pertumbuhan ekonomi.

Negara –negara anggota OECD yang memiliki pendapatan perkapita yang tinggi yaitu dengan nilai $11.907 atau lebih , dimana menurut Bank Dunia merupakan Negara dengan pendapatan perkapita yang tinggi. Negara OECD juga memiliki jenis industri yang padat modal dimana jenis industri ini

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

menggunakan modal yang besar dan menggunakan mesin –mesin yang berteknologi yang tinggi. Dimana mesin –mesiin ini enggunakan energi ynag besar baik yang bersumber dari energi terbarukan maupun enerrgi yang tidak terbarukan. Dengan industri yang besar Negara OECD juga memiliki tingkat CO2 emisi perkapita yang tinggi dimana pada tahun 2014 sendir emisi perkapita Negara anggota OECD ini memiliki nilai sebasar 2.51 ppm padahal rata –rata emisi perkapita dunia sendiri hanya 1.14 ppm. Dengan tingginya tingkat industri, tingginya tingkat konsumsi energi dan polusi di Negara OECD ini peneliti menyatakan Negara anggota OECD ini cocok sebagai subyek penelitian bagimana pengaruh konsumsi energi terbarukan dan energi tidak terbarukan terhadap tingkat GDP.

B. KAJIAN PUSTAKA

Pertumbuhan Ekonomi

Pertumbuhan merupakan sebuah proses perubahan kondisi perekonomian suatu negara secara berkesinambungan menuju keadaan yang lebih baik selama periode tertentu. Menurut Simon Kuznet (1971) dalam Todaro (2000), pertumbuhan ekonomi dapat diartikan sebagai kenaikan kemampuan dalam jangka panjang dari negara yang bersangkutan untuk menyediakan berbagai barang ekonomi kepada penduduk di suatu negara. Adanya kemajuan atau penyesuaian teknologi yang maju, kelembagaan dan ideologis terhadap berbagai tuntutan yang ada adalah komponen penting yang menyebabkan kenaikan kemampuan suatu negara menuju kondisi yang lebih baik.

Teori Produksi

Secara umum istilah “produksi” atau memperoduksi adalah menambah kegunaan (nilai guna) suatu barang. Kegunaan suatu barang akan bertambah bila memberikan manfaat baru atau lebih baik dari semula (Algifari dan Sudarman, 1999). Dalam (Meiners dan Miller, 2000) “produksi”dapat diartikan sebagai pemanfaatan atau penggunaan SDA (Sumber Daya Alam) maupun SDM (Sumber Daya Manusia)yang nantinya akan mengubah suatu komoditas menjadi komoditas lainnya yang sama sekali tidak sama jika dibandingkan dengan sebelumnya dalam pengertian komoditas yang seperti apa, dan di mana komoditas itu ditempatkan atau kapan komoditas – komoditas itu ditempatkan, maupun jika diartikan pada sudut pandang apa yang nantinya dapat dilakukan oleh konsumen terhadap komoditas tersebu, sehingga, produksi tidak terpaku pada proses pembuatannya, tetapi juga pada saat penyimpanan, distribusi, kemudian pada saat komoditas diangkut, komoditas diecer, komoditas dikemas, usaha - usahauntuk menyiasati lembaga legulator atau pemeriksaan, dan mencari celah dari hukum demi terhindar dari pajak, dan sebagainya.

Sumber daya alam sebagai faktor produksi

Membicarakan mengenai pembangunan ekonomi berarti tidak terlepas dari peningkatan produksi secara terus meners dalam jangka panjang dengan minigkatnya produksi secara tidak langsung juga akan mendorong konsumsi secara agregat

Hubungan antara produksi dengan faktor produksi tersebut secara matematis dapat di tulis sebagai berikut

Y =f(L, K, R, T, S)

Dimana :

Y = total produksi
L = jumlah tenaga kerja
K = kapital
R = Resources (sumber daya alam)
T = teknologi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Fungsi Produksi

Mankiw (2006) menyatakan output suatu barang dan jasa suatu perekonomian yaitu GDP, bergantung pada

1. jumlah input yang digunakan, yang disebut faktor – faktor produksi, dan
2. kemampuan untuk mengubah input menjadi output, sebagaimana ditunjukkan dalam fungsi produksi.

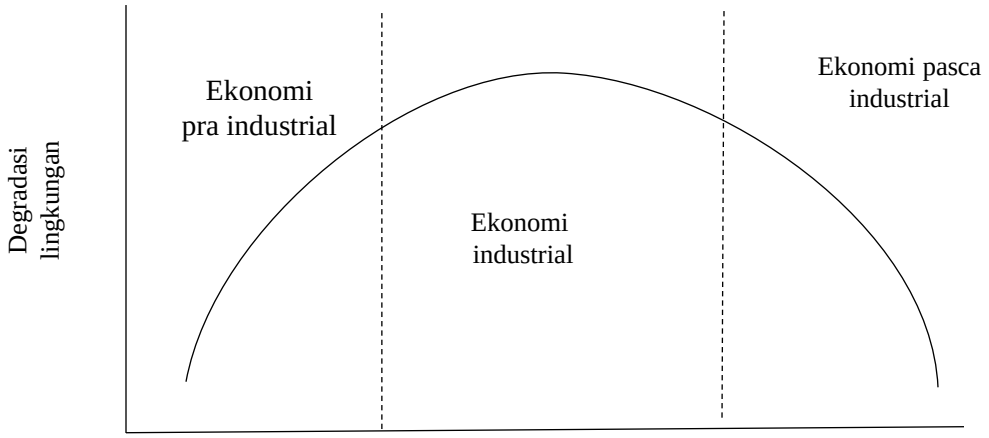
(Reksoprayitno, 2011) menyatakan bahwa secara matematis fungsi produksi dapat diungkapkan sebagai berikut :

Q = f(F1,F2 , …,FN) ……..

Dimana, Q merupakan kuantitas barang dan jasa yang telah dihasilkan pada per satuan waktu. Ini disebut juga produk total atau total product, yang disingkat menjadi TP. Kemudian, F merupakan faktor produksi

Environmental Kuznets Curve

Gambar 2 Environtmental Kuznt Cure



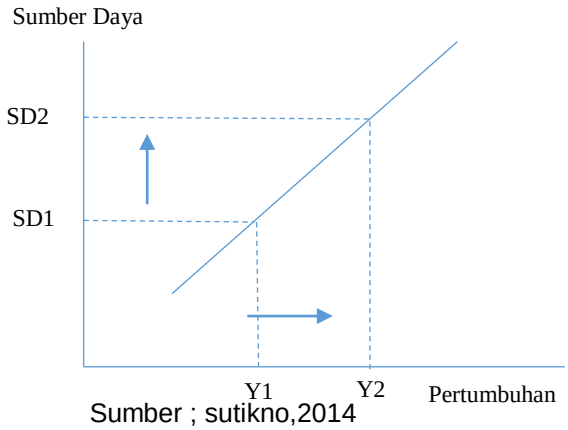
Sumber : Panayotou (2003)

Kurva lingkungan kuznet mempunyai hipotesis bahwa pertumbuhan ekonomi mengarah pada kerusakan lingkungan, tetapi setelah tingkat pertumbuhan ekonomi tertentu masyarakat mulai meningkatkan hubungan dengan lingkungan dan tingkat degradasi terhadap lingkungan mulai berkurang.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Sumber Daya Alam Dan Pertumbuhan Ekonomi

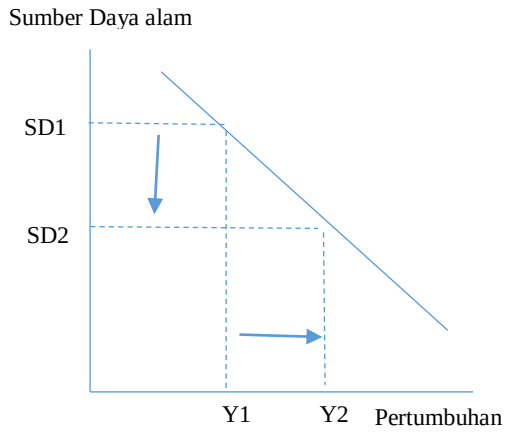
Gambar 3 Hubungan Sumber Daya Dangan Pertumbuhan Ekonomi



Sumber ; sutikno,2014

Gambar 3 menunjukan hubungan antara tersedianya sumber daya dengan pertumbuhan ekonomi,. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tingkat pertumbuhan ekonomi mempunyai hubungan yang positif dengan jumlah tersedianya sumber daya (non sumber daya alam). Hubungan positif tersebut bisa terlihat dari kurva yang tergambar dalam hubungan tersebut yaitu memiliki kemiringan yang positif (ke kanan).

Gambar 4 Hubungan Sumberdaya Alam Dengan Pertumbuhan Ekonomi

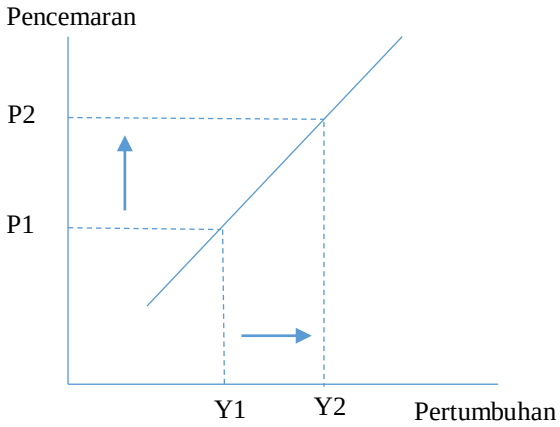


Sumber ; sutikno,2014

Sedangkan gambar 4 menujukan bagaimana hubungan antara tersedianya sumber daya alam dengan pertumbuhan ekonomi . hubungan negatif tersbut bisa dilihat dari gambar kurva yang memiliki kemiringan negatif (ke kiri), kurva tersebut menunjukan jika pertumbuhan ekonomi meningkat dari Y1 ke Y2 akan menyebabkan penurunan pada sumber daya alam dari SDA1 ke SDA 2

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 5 Hubungan pencemaran lingkungan dengan pertumbuhan ekonomi



Sumber ; sutikno,2014

Gambar 5 gambar tersebut menunjukan hubungan pembangunan ekonomi dengan pencemaran lingkungan,. Apabila pembangunan menigkat misalnya dari Y1 ke Y2 akan di ikuti dengan meningkatnya tingkat pencemaran lingkungan dari P1 ke P2 . jadi di satu pihak kegiatan proses produksi barang dan jasa menghasilkan suatu yang positif bagi manusia tetapi di sisi lain menghasilkan suatu yang negatif bagi manusia ataupun makhluk hidup lainya.

C. METODE PENELITIAN

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif, dengan menganalisis pengaruh variabel konsumsi batu bara, konsumsi minyak bumi dan konsumsi energi terbarukan terhadap tingkat GDP Negara anggota OECD pada periode 1995 – 2014

Definisi Operasional Variabel

Penelitian ini menggunakan nilai GDP 35 negara anggota OECD selama periode 1995 -2014 sebagai varabel Dependen dan nilai konsumsi batu bara, konsumsi minyak bumi dan konsumsi energi terbarukan sebagai variabel independen

1. GDP (Y). GDP adalah nilai total atas output akhir dengan satuan dolar US yang dihasilkan oleh suatu perekonomian (baik itu yang dilakukan oleh penduduk warga negara maupun orang – orang dari negara lain yang bermukim di negara yang bersangkutan) di negara OECD pada periode 1995 – 2014.
2. Konsumsi batu bara (X1). Konsumsi batu bara yang di maksud ialah jumlah konsumsi terhadap batu bara pada periode 1995 - 2014 di Negara anggota OECD dalam satuan terawatt hour (TWh)
3. Konsumsi minyak bumi (X2). Konsumsi minyak bumi yang di maksud ialah jumlah konsumsi terhadap jenis miinyak bumi seperti solar ,premium atau jenis minyak bumi lainya pada periode 1995 - 2014 di Negara anggota OECD dalam satuan terawatt hour (TWh)
4. Konsumsi energi terbarukan (X3) Konsumsi energi terbarukan yang di maksud ialah konsmsi energi yang menggunakan sumberdaya yang dapat diperbarui seperti penggunaan enegi air, angin ataupun cahaya matahari pada periode 1995 – 2014 di Negara anggota OECD dalam satuan terawatt hour (TWh)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Uji Chow

Untuk mengetahui model Common Effect (CEM) atau Fixed Effect (FEM) yang paling terbaik untuk dilakukannya estimasi data dapat dilakukan dengan uji F atau uji Chow test.

$$Chow\ test = \frac{\frac{RRSS - URSS}{N-1}}{\frac{URSS}{NT-N-K}}$$

Dimana :

SSE1 : *Sum Square Error* dari model *Common Effect*
SSE2 : *Sum Square Error* dari model *Fixed Effect*
n : Jumlah perusahaan (*cross section*)
nt : Jumlah *cross section* x jumlah *time series*
k : Jumlah variabel independen

Pengujian ini sesuai dengan distribusi F statistik, yaitu FN- 1, NT-N-K. Apabila nilai chow statistik (F-stat) atau hasil pengujian lebih besar dari F-tabel, maka cukup dibuktikan untuk melakukan penolakan terhadap hipotesis nol sehingga model yang digunakan adalah model fixed effect, begitu pula sebaliknya.

Uji Hausman

Uji Hausman merupakan suatu uji untuk memilih dan menentukan apakah metode Fixed Effect dan Random Effect yang lebih baik dari metode OLS yang ditemukan oleh Hausman. Uji Hausman ini berlandaskan pada gagasan bahwa LSDV pada metode Fixed Effect adalah efisien sedangkan metode OLS tidak efisien, di lain pihak pada alternatifnya, metode OLS efisien dan GLS tidak efisien, karena itu uji hipotesis nolnya adalah hasil estimasi keduanya tidak berbeda sehingga uji Hausman dapat dilakukan berlandaskan perbedaan estimasi tersebut.

Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi r-square dapat digunakan untuk menemukan seberapa besar daya variabel tidak terikat menerangkan variabel dependen pada model yang sudah dijelaskan (J Supranto, 1983). Nilai dapat berkisar antara $0 < R^2 < 1$ sehingga kesimpulan yang diambil adalah:

Nilai yang kecil atau mendekati nol, berarti kemampuan variable-lvariabel bebas dalam menjelaskan variabel-variabel tak bebas sangat terbatas.

Nilai mendekati satu, berarti variabel-variabel bebas memberikan hampir semua informasi untuk memprediksi variasi variabel tak bebas.

Uji Signifikansi Simultan (Uji F)

Uji F digunakan untuk mengetahui apakah variabel-variabel independen secara simultan berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen. Derajat kepercayaan yang digunakan adalah 5 %. Apabila nilai F hasil perhitungan lebih besar dari nilai F tabel maka hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa semua variabel independen secara stimultan berpengaruh signifikan tehadap variabel dependen (Gunjarati, 2001). Pengujian ini dilakukan berdasarkan hipotesis yaitu :

Ho = ß1 = ß2 = ß3 = ß4 = 0
(variabel bebas terbukti secara serentak tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel yang tidak bebas).

Ha ß1 ≠ ß2 ≠ ß3 ≠ ß ≠ 0

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

(variabel bebas terbukti secara serentak berpengaruh signifikan terhadap variabel tidak bebas).

Uji Koefisien Regresi Secara Individual (Uji T)

Uji t – statistik yang dilakukan untuk mengetahui variabel tidak terikat pada model secara individu yang mempunyai pengaruh sangat signifikan terhadap variabel terikatnya. Pengujian ini harus dilakukan agar diketahuinya secara serentak di suatu ruang atau tempat variabel independennya berpengaruh secara signifikan atau tidak terhadap variabel terikatnya.dalam rumusan hipotesis dapat di rumuskan sebagai berikut :

Ho : ß1 = 0 (variabel independenya tidak berpengaruh terhadap variable terikatnya)

Ha : ß1 ≠ 0 (variabel independenya berpengaruh terhadap variable terikatnya)

Ho bisa di katakan di terima dan Ha di tolak apabila nilai dari sig lebih besar dari 0.05 yang bisa diartikan bahwa tidak terjadi pengaruh variable independen terhadap variable bebasnya.

Ha bias di katakan di terima dan Ho di tolak apabila nilai dari sig kurang dari 0.05 yang bisa dia artikan bahwa terjadi pengaruh dari variable independen terhadap variable bebasnya.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perkembangan Konsumsi Energi Negara Anggota OECD

Terjadi fuktuasi yang terjadi dalam hal konsumsi energi yang berasal dari batu bara yang di lakukan oleh Negara anggota OECD. Terjadi *trend* atau kecenderungan dimana konsumsi energi dari batu bara terus mengalami kenaikan tau bisa dikatakan konsumsi terus bertambah dari awal tahun 1995 sampai pada tahun 2007, pada tahun 1995 konsumsi total negara anggota OECD sebesar 10679.41 TWh terus naik hingga pada tahun 2007 sebesar 12081.02 TWh. Dan selanjutnya terjadi kecenderungan di mana konsumsi batu bara mengalami penurunan dari tahun ke tahun sampai tahun 2014 kecuali pada tahun 2009 ke tahun 2010, terjadi penurunan konsumsi batu bara yang cukup signifikan dari tahun 2007 ke tahun 2009. konsumsi terhadap batu bara ini naik lagi pada tahun 2010. Namun mengalami kecenderungan turun dari tahun ke tahun sampai tahun 2014.

Sama seperti yang terjadi pada konsumsi batu bara, terjadi fluktuasi dalam hal konsumsi energi yang berasal dari minyak bumi ini Terjadi *trend* atau kecenderungan kenaikan jumlah konsumsi dari minyak bumi ini dari awal tahun 1995 sampai dengan tahun 2005 Konsusmsi minyak bumi mengalammi penurunan hingga pada nilai 26949.85 TWh pada tahun 2009 lalu mengalami kanaikan sesaat pada tahun2010 pada nilai 27318.71 TWh. dan setelah tahun 2010 ini konsumsi energi yang berasal dari minyak bumi ini pun mengalami kecenderungan untuk turun sampai tahun 2014

Berbeda dengan konsumsi batu bara maupun konsumsi minyak bumi. Pada konsumi energi terbarukan ini, *trend* atau kecenderunagn yang terjadi tidak fluktuatif seperti sebelumnya. Namun kecenderungan dari konsumsi energi terbarukan ini terus mengalami kenaikan dari tahun ke tahun. Di mana pada tahun1995 konsumsi energi terbarukan yang di lakukan oleh negra anggota OECD ini bernilai sebesar 1294.62 TWh terus mengalami kenaikan yang cukup stabil hingga tahun 2014

Diantara konsumsi batu bara, konsumsi minyak bumi dan konsumsi energi terbarukan yang di lakukan Negara anggota OECD pada tahun 1995 sampai 2014 ini. Konsumsi minyak bumi menjadi jenis energi yang di konsumsi paling banyak dengan presentasi sebesar 67.8 persen dari keseluruhan energi yang di konsumsi oleh Negara anggota OECD ini. Untuk konsumsi batu bara sendiri memiliki presentase sebesar 27.47 persen dari keseluruhan konsumsi energi yang di lakukan sedangkan konsumsi energi terbarukan mempunyai presentase paling kecil di antara konsumsi energi yang lain yaitu sebesar 4.7 persen dari keseluruhan konsumsi energi yang di lakukan oleh Negara anggota OECD ini.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Uji Pertimbangan Pemilihan Model Terbaik

Terdapat dua uji formal yang digunakan dalam data panel dalam menentukan model terbaik yang akan digunakan dalam menganalisis hasil uji hipotesis, yaitu uji chow dan uji hausman.

Uji Chow

Uji chow atau uji F-statistik merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui *Common Effect Method* method atau *Fixed Effect Method* yang akan dipilih untuk estimasi regresi data panel

Tabel 1 Hasil Uji Chow

Effects Test	Statistic	d.f.	Prob.
Cross-section F	98.816380	(33,643)	0.0000
Cross-section Chi-square	1226.445958	33	0.0000

Sumber : hasil perhitungan eviews09

Dari tebel diatas di dapatkan nilai dari prob Cross-section Chi-square sebesar 0.0000 atau kurang dari signifikansi yang di gunakan yaitu 5% atau 0.05. maka dari pada itu pada uji chow ini dipilih model fixed effect method dari pada *Common Effect Method.*

Uji Hausman

Di karenakan pada uji chow dipilih metode fixed effect maka selanjutya di lakukan uji hausman untuk mengetahui pemilihan model antara Fixed Effect Method (FEM) dan Random Effect Method (REM) yang dilakukan dengan menggunakan Uji Hausman). Uji Hausman merupakan salah satu bentuk chi-square test yang dilakukan berdasarkan bentuk kuadrat dan selisih antara konsisten estimator dan efisien estimator. Pada model analisis data panel menggunakan pendekatan Fixed Effect Method (FEM) diperoleh estimator yang konsisten, sedangkan pada model analisis dengan Random Effect Methdod (REM) diperoleh estimator yang efisie

Tabel 2 Hasil Uji Hausman

Test Summary	Chi-Sq. Statistic	Chi-Sq. d.f	Prob.
Cross-section random	560.546693	3	0.0000

Sumber : hasil perhitungan eviews09

Dari tebel diatas di dapatkan nilai dari prob Cross-section random sebesar 0.0000 atau kurang dari signifikansi yang di gunakan yaitu 5% atau 0.05. maka dari pada itu pada uji chow ini dipilih model fixed effect model dari pada model random effect model.

Analisis Hasil Statistik

Setelah mngetahui model terbaik yang bisa di gunakan dengan uji chow dan uji haausman maka selanjutnya ialah melakukan uji signifikansi mengetahui perbandingan antara hipotesis yang ada dengan hasil penelitian. Penelitian ini berusaha mengetahui bagaimana pengaruh konsumsi energi tidak terbarukan dan konsumsi energi terbarukan terhadap tingkat GDP

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 3 Hasil Estimasi Dengan Fixed Effect

Variabbel dependen	Variable independen	Koefisisen	Std. error	t-statistic
GDP	C	8.43314	0.087757	96.09834
	KBB	0.062768	0.016273	3.857138
	KMB	0.710272	0.026413	26.89052
	KET	0.085306	0.011596	7.356386

Sumber : hasil perhitungan eviews09 di olah

Berdasarrkan hasil estimasi regresi konsumsi batu bara, konsumsi minyak bumi, dan konsumsi energi terbarukan terhadap GDP, maka di peroleh persamaan linier sebagai berikut :

$$GDP_{it} = \beta_i + \beta_1 KBB_{it} + \beta_2 KMB2_{it} + \beta_3 KET3_{it} + \varepsilon_{it} \ldots\ldots\ldots$$

$$GDP_{it} = 8.43314 + 0.062768 KBB_{it} + 0.710272 KMB2_{it} + 0.085306 KET3_{it} + \varepsilon_{it} \ldots\ldots\ldots$$

Keterangan

GDP_{it} = Nilai besarnya GDP Negara naggota OECD
KBB_{it} = Konsumsi Batu bara Negara Anggota OECD
$KMB2_{it}$ = Konsumsi Minyak Bumi Negara Anggota OECD
$KET3_{it}$ = Konsumsi Energi Terbarukan Negara Anggota OECD
ε_{it} = Gangguan stokastik

Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi ($\boldsymbol{R^2}$) menunjukkan nilai besaran pengaruh perubahan variabel-variabel tidak terikat (independent variables) dalam menjelaskan perubahan pada variabel terikat (dependent variables) secara serentak, dengan tujuan untuk mengukur kebenaran hubungan antar variable dalam model yang digunakan. Besarnya nilai koefisien determinasi adalah antara 0 hingga 1 ($0<\boldsymbol{R^2}<1$), dimana nilai koefisien mendekati 1, maka model tersebut dikatakan baik karena semakin dekat hubungan antara variabel bebas dengan variabel tidak bebasnya.

Tabel 4 Hasil Estimasi Dengan Fixed Effect

Variable Dependent	Variable Independent	Prob T -Statistic	F - Statistic	R-Squared
GDP	KBB	0.0000	1508.981	0.988302
	KMB	0.0000		
	KET	0.0000		
	C	0.0000		

Sumber : hasil perhitungan eviews09 diolah

Dengan nilai R-squared sebesar 0. .988302 atau sebesar 98% dengan demikian bisa di katakan model dimana variabel bebas yang berupa konsumsi minyak, konsumsi batubara dan konsumsi energi terbarukan sebesar 98% telah menjelaskan pegaruh terhadap variable dependentya sedangkan sisanya sebesarnya 2% di jelaskan variabel di luar model.

Uji Signifikansi Simultan (Uji f)

Pengujian F-statistik ini dipakai untuk pengengujian signifikansi dari semua variabel tidak terikat sebagai suatu kesatuan atau mengukur pengaruh variabel bebas secara serentak. Pengujian ini pula dapat dilakukan dengan distribusi F dengan cara dibandingkan nilai F-hitung yang diperoleh dari hasil regresi dengan F-tabelnya. Dari hasil analisis dalam tabel 4.4 yang menunjukkan bahwa F-hitung (F-Statistik) sebesar 1508.981 dan F-Tabel dengan N1 =3 N2 =680 pada level 0,05 adalah 2.617983. Dengan demikian F-Hitung (1508.981) > F-Tabel (2,617983) yang artinya Ho ditolah dan Ha diterima karena semua variabel independen secara bersama – sama berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Uji Koefisien Regresi Secara Individual (Uji t)

Uji-t statistik digunakan untuk mengetahui apakah koefisien masing – masing variabel independen secara individu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependennya.

Tabel 5 Hasil Estimasi Dengan Fixed Effect

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	8.433314	0.087757	96.09834	0.0000
KBB	0.062768	0.016237	3.857138	0.0001
KMB	0.710272	0.026413	26.89052	0.0000
KET	0.085306	0.011596	7.356386	0.0000

Sumber : hasil perhitungan eviews09

dari tabel di preleh nilai dari prob ketiga varibel bebas bernilai 0.0000 & 0.0001 dimana nilainya kurang signifikansi yang digunakan yaitu sebesar 5% atau 0.05 sehingga dapat diartikan bahwa ketiga variable independent tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap varibel dependen.

Pembahasan

Terlihat dari uji f maupun uji t yang menunjukan bahwa secara simultan maupun secara individual masing - masing yang menunjukan nilai koefisien yang positif maka dapat di ketahui bahwa varibel bebas yang berupa konsumsi batu bara, konsumsi minyak bumi dan konsumsi energi terbarukan mempunyai dampak yang positif erhadap tingkat GDP Negara anggota OECD

Di jelaskan juga dalam poin uji-t maupun uji-f . dimana konsumsi energi baik itu energi terbarukan maupun energi yang tidak terbarukan mempunyai efek yang signifikan terhadap tingkat GDP yang ada namun terdapat perbedaan nilai koefisien dari masing-masing varibel bebas dimana nilai tersebut menujukan berapa besar pengaruh varibel independen terhadap variabel dependenya. x1 yang berupa konsumsi batu bara mempunyai nilai koefisien 0.062768 dapat di artikan bahwa setiap 1 % perubahan pada konsumsi energi yang berasal dari minyak maka akan tingkat atau niilai GDP akan berubah sebesar 0.062768 poin. untuk nilai x2 yang berupa konsumsi minyak bumi memiliki koefisien sebesar 0.710272 dapat diartikan bahwa setiap 1 persen perubahan pada nilai konsumsi batubara maka terjadi perubahan pada nilai GDP sebesar 0.710272 sedangkan untk nilai dari x3 yang merepresentasikan konsumsi energi terbarukan memiliki nilai koefisien sebesar 0.085306 dan sama seperti di jelaskan sebelumnya jika nilai dari konsumsi energi terbarukan berubah sebesar 1 persen maka nilai dari GDP anak berubah sebesar 0.085306.

Dari ketiga nilai koefisien yang di jelaskan sebelumnya di ketahui bahwa nilai koefisien dari konsumsi minyak bumi mempunyai nilai yang paling tinggi di bandingkan nilai koefisien dari konsumsi batu bara dan konsumsi energi terbarukan Jika sebelumnya di jelaskan bahwa konsumsi minyak bumi memiliki pengaruh yang lebih signifikan daripada konsumsi batu bara dan konsumsi energi terbarukan. Namun dari hasil dari regresi tersebut juga menunjukan bahwa koefisien dari konsumsi energi terbarukan lebih besar dari pada nilai koefien dari konsumsi batu bara. Hal ini menunjukan bahwa konsumsi dari energi terbarukan memiliki dampak atau pengaruh yang lebih besar daripada konsumsi batu bara terhadap tingkat GDP Negara anggota OECD ini

E. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Bahwa sesuai dengan kurva hubungan antara sumber daya dan pertumbuhan ekonomi yang menunjukan hubungan positif anata penggunaan sumber daya dan pertumbuhan ekonomi . di dalam penilitian ini pun hasil regresi yang di lakukan juga menunjukan bahwa baik secara simultan maupun

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

secara individual . konsumsi dar sumber daya yang di wakili oleh konsumsi batu bara, konsumsi minyak bumi dan konsumsi energi terbarukan ini berpengaruh positif terhadap nilai dari GDP negra anggota OECD

Varibel konsumsi minyak bumi mempunyai nilia koefisien yang paling tinggi hal ini menunjukan bahwa dari ketiga varibel . varibel konsumsi minyak bumi mempunyai pengaruh yang paling besar terhadap GDP ini dibandingkan variabel konsumsi batu bara dan konsumsi energi terbarukan.

Saran

Meskipun konsumsi minyak bumi memiliki pengaruh yang paling signifikan daripada konsumsis batu bara maupun konsumsi energi terbarukan terhadap GDP Negara anggota OECD. Namun peneliti tidak bisa menyarankan untuk meningkatkan konsumsi minyak bumi. Hal ini di karenakan bahwa penggunaan energi yang tidak terbarukan seperti penggunaan minyak bumi ini mengakibatkan efek samping yaitu timbulnya gas rumah kaca seperti gas CO2 yang menyebabkan pemanasan global. Oleh karena itu peneliti menyarankan untuk tetap mengurangi penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batu bara agar tidak terjadi peningkatan terhadap efek rumah kaca dan menigkatkan suhu rata – rata di bumi ini.serta maningkatkan penggunaan energi yang terbarukan serta yang lebih ramah lingkungan.

.

DAFTAR PUSTAKA

Andreoni, James & Levinson, Arik. 2004. The Simple Analytics of The Environmental Kuznets Curve. Journal of Public Economics. http://econweb.ucsd.edu/~jandreon/Publications/JPubEKuznets.pdf diakses pada 25 april 2018.

Ansgar Belke, Frauke Dobnik, Christian Dreger. 2011. Energi consumption and economic growth: New insights into the cointegration relationship, Germany ; Department of Economics, University of Frankfurt

António Cardoso Marques José Alberto Fuinhas, Diogo André Pereira. 2018 Have fossil fuels been substituted by renewables? An empirical assessment for 10 European countries. Portugal: university of beira interior and NECE-UBI Management and economic department.

Aslan Alper, Oca Oguz,. 2016. The Role Of Renewable Energi Consumption In Economic Growth: Evidence From Asymmetric Causality, Turkey ; epartment of Economics, Nevsehir Haci Bektas Veli University.

Dewan Nasional Perubahan Iklim. 2013. Pengantar Pasar Karbon untuk Pengendalian Perubahan Iklim. http://www.jcmindonesia.com/files/index.php?action=downloadfile&filename=buku_carbon_isi.pdf&directory=Dokumen& diakses pada 10 juli 2018.

Doddy Dirgantara Putra dan Irma Lelawati. 2013. Study of Modeling Energy Village, a Solution for EnergyIndependence Problem in Indonesia.yogyakarta : Department of Engineering Physics, Faculty of Engineering, Gadjah Mada University.

Emrah Koçak ,Aykut Şarkgüneşi, 2017. The Renewable Energy And Economic Growth Nexus In Black Sea And Balkan Countries, Turkey ; Bulent Ecevit University

Endre Tvinnereim dan Elisabeth Ivarsflaten. 2016 . Fossil Fuel, Employment, And Support For Climate Policies. Norway :Department Of Comparative Politic, University Of Bergen.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

IEA. 2012. CO2 Emissions from Fuel Combustion 2012, OECD/IEA, Paris. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2emissionfromfuelcmbustionHIGHLIGHTS.pdf diakses pada 10 juli 2018.

Jason Furman, John Podesta, 2014. The Cost of Delaying Action to Stem Climate Changehttps://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2014/07/29/newreport-cost delaying-action-stem-climate-change di akses pada 25 april 2018

Mankiw,N. Gregory. 2006. Makroekonomi Edisi Keenam, Jakarta : Erlangga

Nikolaos Antonakakis,Ioannis Chatziantoniou, George Filis. 2013 . Energi consumption, CO2 emissions, and economic growth: An ethical dilemma . South Africa ; Department of Economics, University of Pretoria,

Putong, Iskandar. 2003. Pengantar Ekonomi Mikro dan Makro Edisi 2. Jakarta : Ghalia Indonesia.

Reksoprayitno, Soediyono. 2011. Pengantar Ekonomi Mikro. Edisi Millenium. Yogyakarta : BPFE.

Sugeng Mujiyanto, Günter Tiess. 2013. Secure Energy Supply In 2025: Indonesia's Need For An Energy Policy Strategy. Austria : Montanuniversität Leoben,

Sugiyono. 2011. Metode Penelitian Kuantitaif Kualitatif dan R&D. Bandung : Alfabeta

Sukirno, Sadono. 2006. Mikro Ekonomi : Teori Pengantar. Edisi ketiga. Jakarta : Raja Grafindo Persada.

Sutikno dan Maryunani. 2006. Ekonomi sumber daya alam. Malang : BPFE.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Analisis Potensi Elektrik Berbagai Elektrolit Alam Sebagai Sumber Energi Terbarukan

Giri Amirul Mukminin[(1)a,] Gurum Ahmad Pauzi[(1)], Warsito[(1)]

[(1)]*Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung*
Bandar Lampung 35145
[a]*E-mail korespondensi:giriamirul13@gmail.com*

Diterima (22 September 2017), Direvisi (9 Oktober 2017)

Abstract. *The electrical characteristics of river water, brackish water, swamp water, spring water, and rain water can be determined by using electrodes. The electrode pairs of this research are Cu-Zn and C-Zn electrode. The electrical characteristics measurement of river water, brackish water, swamp water, spring water, and rain water are connected with a 1,2watt LED load and without load. The electrolyte cell consisted of 20 cell, which were arranged in series with a volume of ±200 ml per cell. The maximum current (I) which were produced by Cu-Zn electrode using brackish water is 1,58 mA; river water is 0,8 mA; swamp water is 0,57 mA;spring water is 0,21 mA; and rain water is 0,01 mA. Meanwhile The maximum current (I) which were produced by C-Zn electrode using brackish water is 1,54 mA; river water is 0,01 mA; swamp water is 0,8 mA;spring water is 0,26 mA; and rain water is 0,09 mA. The type of water that has the best electrical characteristic are brackish water with light intensity of 1192 lux and river water with light intensity of 121 lux.*

Keywords :*Cu-Zn electrode, Cu-Zn electrode, electric characteristics, light intensity.*

Abstrak. Karakteristik elektrik air sungai, air payau, air rawa, mata air, dan air hujan dapat diketahui dengan menggunakan elektroda, pasangan elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah elektroda Cu-Zn, dan C-Zn. Pengukuran karakteristik elektrik air sungai, air payau, air rawa, mata air, dan air hujan dilakukan dengan menggunakan beban LED 1,2 watt dan saat beban dilepas. Sel elektrolit yang digunakan terdiri dari 20 sel, yang dirangkai secara seri dengan volume ± 200 ml per sel. Arus maksimum (I) menggunakan elektoda Cu-Zn yang dihasilkan air payau 1,58 mA; air sungai 0,8 mA; air rawa 0,57 mA;mata air 0,21 mA; dan air hujan 0,11 mA. Sedangkan menggunakan elektroda C-Zn arus maksimum (I) yaitu air payau 1,54 mA; air sungai 0,01 mA; air rawa 0,8 mA;mata air 0,26 mA; dan air hujan 0,09 mA. Jenis air yang mempunyai karakteristik elektrik terbaik adalah air payau, dimana didapatkan intensitas cahaya 1192 lux dan kedua yaitu air sungai dengan intesitas 121 lux.

Kata Kunci : *Elektroda Cu-Zn, elektroda C-Zn, karakteristik elektrik, intensitas cahaya.*

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan perkembangan zaman, hal ini disebabkan oleh pertambahan jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi yang terus meningkat. Berdasarkan data ketenaga listrikan nasional tahun 2015, total kapasitas pembangkit yang terpasang adalah sebesar 53.585 MW dengan rincian 70% PLN, 5% *private power utility* (PPU) yang merupakan pembangkit terintegrasi, 20% *independent power producer* (IPP) yang merupakan listrik swasta, dan 5% pembangkit ijin operasi non BBM. Permintaan listrik diperkirakan meningkat dengan laju pertumbuhan 8,8% per tahun.

Pemanfaatan energi alternatif dari air sebagai sumber energi listrik menjadi salah satu pilihan. Ditinjau dari geografis Indonesia, pemanfaatan air sebagai penghasil energi listrik sangat potensial karena sumber air yang melimpah dan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

belum termanfaatkan dengan baik [1]. Oleh karena itu perlu dilakukan sebuah upaya untuk menghasilkan sumber energi alternatif dari air.

Energi listrik pada reaksi elektrokimia dapat terjadi melalui dua elektroda yang memiliki beda potensial dan terhubung pada bahan elektrolit [2]. Proses elektrokimia membutuhkan media pengantar sebagai tempat terjadinya serah terima elektron dalam suatu sistem reaksi yang dinamakan larutan. Larutan dapat dikategorikan menjadi tiga bagian yaitu larutan elektrolit kuat, larutan elektrolit lemah dan larutan bukanelektrolit.

Larutan elektrolit kuat merupakan larutan yang mengandung ion-ion terlarut yang dapat mengantarkan arus listrik sangat baik sehingga proses serah terima elektron berlangsung cepat dan energi yang dihasilkan relatif besar. Sedangkan larutan elektrolit lemah merupakan larutan yang mengandung ion-ion terlarut cenderung terionisasi sebagian sehingga dalam proses serah terima elektron relatif lambat dan energi yang dihasilkan kecil. Namun demikian proses elektrokimia tetap terjadi. Untuk larutan bukan elektrolit, proses serah terima elektron tidak terjadi [3].

Analisis karakteristik elektrik air laut sebagai sumber energi listrik terbarukan telah diteliti oleh Encep Hudaya tahun 2016, dengan menggunakan 3 variabel elektroda yaitu C-Zn, Cu-Al, dan Cu-Zn. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa elektrolit air laut yang dihubungkan dengan ketiga pasangan elektroda tersebut sudah dapat menghasilkan energi listrik, dengan variasi bahan elektroda dan volume air laut. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa semakin lama penggunaan elektrolit air laut dengan beban yang diberikan maka energi listrik yang dihasilkan akan semakin berkurang.

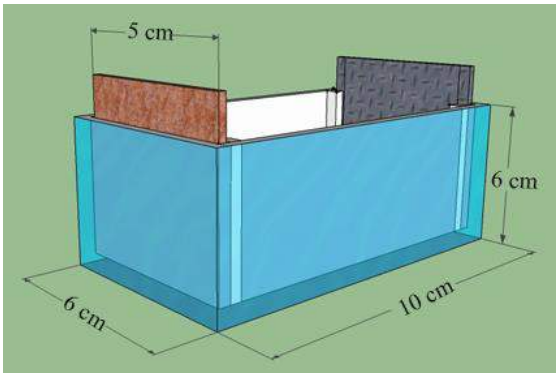
Pada penelitian ini memanfaatkan cairan yang berada di sekitar lingkungan masyarakat sebagai sumber energi listrik baru dan terbarukan yaitu air rawa, mata air, air sungai, air hujan, dan air payau dengan menggunakan 3 variabel elektroda yaitu C-Zn, Cu-Al, dan Cu-Zn. Hasil dari penelitian analisis elektrik berbagai elektrolit alam ini yaitu mengetahui besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh setiap elektrolit yang digunakan yang nantinya diharapkan dapat digunakan sebagai referensi sumber energi listrik terbarukan.

METODE PENELITIAN

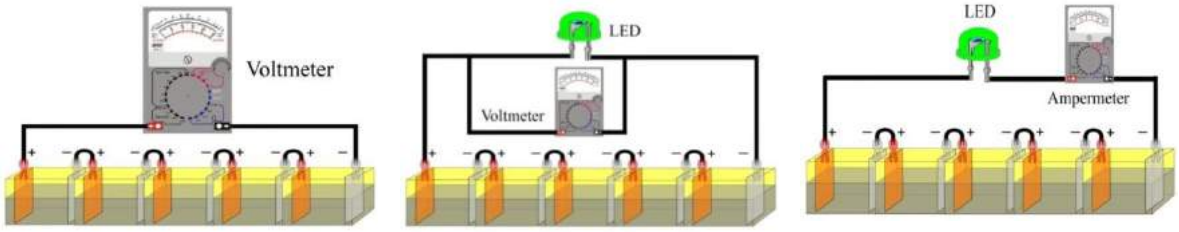
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sungai, air payau, air rawa, mata air, dan air hujan sebagai elektrolit, akrilik untuk membuat media tempat penampungan elektrolit, tembaga (Cu), seng (Zn), carbon (C), Almunium (Al), perekat, kabel, jepit buaya, lampu LED 1,2 watt untuk menguji keberadaan karakteristik elektrik. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu multimeter digital, DTS meter, pH meter, gergaji besi, tang, gunting, gelas ukur, refraktometer, dan spidol atau pensil.

Pembuatan media tempat uji dibuat dari bahan akrilik yang dibentuk menjadi kotak persegi (Sel) agar dapat digunakan untuk menampung berbagai elektrolit yang akan dibandingkan karakteristik elektriknya.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 1. Media tempat uji karakteristik elektrik



(a) (b) (c)

Gambar 2. Media tempat uji karakteristik elektrikelektrolit pada pengukuran tegangan saat beban dilepas (a), pengukuran tegangan menggunakan beban (b) dan pengukuran arus elektrolit (c)

Data pengamatanakan di ambil setelah eletrolit dan eletroda di tempatkan pada sel yang sudah dibuat dan dibiarkan selama 24 jam, data yang diambil terdiri dari data pengamatan karakteristik elektrik berbagai elektrolit saat beban dilepas (V_{bl}), data pengamatan karakteristik elektrik berbagai elektrolit saat menggunakan beban (V_b), data pengamatan zat terlarut pada berbagai elektrolit, pH berbagai elektrolit. Beban yang digunakan adalah rangkaian LED dengan beban 1,2 watt, pengukuran dilakukan disetiap 2 jam selama 3 hari. Sedangkan media tempat uji karakteristik elektrik yang digunakan berbentuk kotak balok dengan ukuran panjang sebesar 10 cm, lebar sebesar 6 cm dan tinggi sebesar 6 cm, setiap sel akan dimasukkan larutan elektrolit 200 ml.

Gambar 2. menunjukkan cara pengambilan data karakteristik elektrik berbagai elektrolit. Pengambilan data karakteristik berbagai elektrolit dilakukan selama 72 jam dengan selang waktu pengambilan data 2 jam, juga dilakukan pengambilan data setiap 2 jam selama 72 jam berupa keasamaan dengan menggunakan pH meter, zat pada terlarut dengan TDS meter, intensitas cahaya yang dihasilkan oleh led 1,2 watt menggunakan lux meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan sempel mata air diambil di wilayah Gisting, Provinsi Lampung dimana pengambilan langsung dari sumber mata air. Air rawa di ambil di lempasing dimana terdapat banyak tanaman bakau.Air hujan diambil di wilayah Kemiling, Bandar lampung. Sempel air payau di ambil di lempasing dan dilakukan sebuah metode pengamatan salinitas air payau menggunakan alat yang bernama refraktometer didapatkan nilai untuk air payau yaitu sebesar 3,3 % atau dapat dikatakan bahwa dalam 1 liter (1000ml) air payau terdapat 33 garam (terutama, namun tidak seluruhnya garam

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dapur/NaCL) dari sempel yang digunakan. Air dikategorikan sebagai air payau bila konsentrasinya 0,05 sampai 3,5% atau menjadi saline bila konsentrasinya 3,5 sampai 5%. Lebih dari 5% disebut brine [4]. Pada pengambilan sempel air sungai diambil di jalan Saleh Raja Kusuma Yudha, Bandar Lampung. Dan dilakukan metode pengambilan data salinitas didapatkan data mendekati angka 0 karena dari pengamatan putih dan biru bertemu di angka 0 atau dapat dikatakan bahwa dalam 1 liter (1000 ml) air sungai sedikit sekali terdapat kandungan garam dari sempel yang digunakan.

Analisis Daya yang Dihasilkan oleh Air Rawa

Setiap 1 jam sekali selama 5 jamberturut-turutdilakukan data pengujian darisistem dengan beban berupa LED 1,5 watt.Grafik perbandingan antara penggunaan berbagai elektroda dengan elektrolit berupa air rawa ditunjukkan pada **Gambar 5.** Pada gambar tersebut merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap waktu, didapatkan bahwa pasangan elektroda Cu-Zn menghasilkan rata-rata daya sebesar 2.02418 mW, pasangan elektroda C-Zn menghasilkan rata-rata daya sebesar 0.83736 mW, dan pasangan elektroda Cu-Al menghasilkan rata-rata daya yang sebesar0.41484 mW.Maka dapat dikatakan bahwa menggunakan pasangan elektroda berupa Cu-Zn lebih baik dibandingkan dengan C-Zn dan Cu-Al. Pada pengambilan data TDS didapatkan nilai tebesar yaitu 349 ppm dengan perubahan yang sangat kecil. Sedangkan pada pengambilan nilai keasaman diapatkan pH sebesar 7.

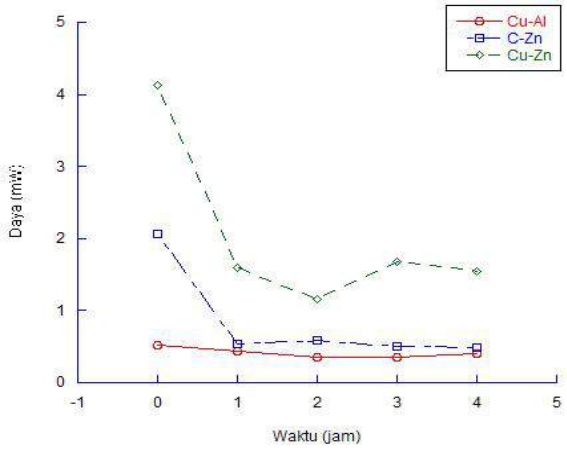


Gambar 3. Hasil pengamatan refraktometer air payau (3,3%)

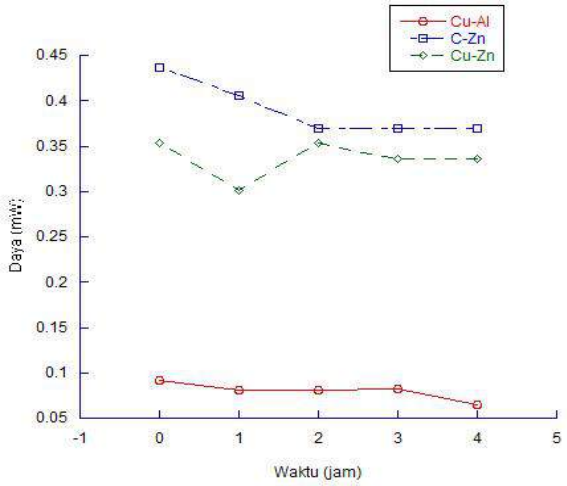


Gambar 4. Hasil pengamatan refraktometer air sungai (mendekati 0%)

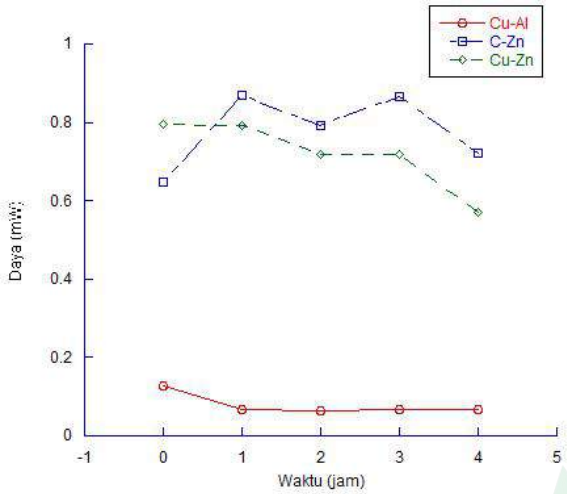
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 5. Grafik daya dan waktu pada elektrolit air rawa.



Gambar 6. Grafik hubungan antara daya terhadap waktu pada saat pengujian elektrolit mata air.



Gambar 7. Grafik hubungan antara daya terhadap waktu pada saat pengujian elektrolit air hujan.

Analisis Daya yang Dihasilkan oleh Mata Air

Gambar 6. Merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap waktudidapatkan bahwa pasangan elektroda Cu-Zn menghasilkan rata-rata daya sebesar 0.71848 mW, pasangan elektroda C-Zn menghasilkan rata-rata daya sebesar 0.77984 mW, dan pasangan elektroda Cu-Al menghasilkan rata-rata daya yang sebesar0.07826 mW. Didapatkan bahwa penggunaan elektroda berupa C-Zn lebih baik dibandingkan menggunakan pasangan Cu-Zn dan Cu-Al. Pada pengambilan data TDS didapatkan nilai terbesar yaitu 62 ppm dengan perubahan yang sangat kecil. Sedangkan pada pengambilan nilai keasaman didapatkan pH sebesar 7.

Gambar 7. Merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap waktu, didapatkan bahwa pasangan elektroda Cu-Zn menghasilkan rata-rata daya sebesar 0.33564 mW, pasangan elektroda C-Zn menghasilkan rata-rata daya sebesar 0.39024 mW, dan pasangan elektroda Cu-Al menghasilkan rata-rata daya yang sebesar 0.08024 mW. Didapatkan bahwa penggunaan elektroda berupa C-Zn lebih baik dibandingkan menggunakan pasangan Cu-Zn dan Cu-Al karena menghasilkan daya yang lebih besar. Pada pengambilan data TDS didapatkan nilai terbesar yaitu 105 ppm dengan perubahan yang sangat kecil. Sedangkan pada pengambilan nilai keasaman didapatkan pH sebesar 7.

Dikarenakan data yang didapatkan pada karakteristik elektrik air rawa, mata air dan air hujan tidak terlalu besar yaitu daya terbesar yang didapatkan oleh air rawa sebesar 2.02418 mW dengan menggunakan Cu-Zn, mata air menghasilkan daya terbesar 0.07826 mW menggunakan Cu-Al, dan air hujan menghasilkan daya terbesar 0.39024 mW dengan elektroda C-Zn dibandingkan oleh eletrokit air payau dan air sungai

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dengan menggunakan Cu-Zn dan C-Zn maka dilakukan penelitian yang mendalam menggunakan elektrolit berupa air payau dan air sungai dan pasangan elektroda Cu-Zn dan C-Zn.

Analisis Daya dengan Elektrolit Air Payau dan Air Sungai

Pada air sungai dan air payau dilakukan selama 72 jam dengan selang waktu pengambilan data 2 jam.Daya yang dihasilkan oleh masing elektrolit dapat di lihat pada **Gambar 8**.

Grafik pada **Gambar 8** merupakan perbandingan daya yang dihasilkan oleh masing-masing eletrolit dengan uji coba menggunakan Cu-Zn dan C-Zn, dapat di lihat daya terbesar dihasilkan oleh elektrolit air payau dengan pasangan elektroda berupa Cu-Zn pada jam pertama yaitu 12,008 mW namun mengalami penurunan drastis sampai pengambilan data ke 4 atau setelah 8 jam pengambilan data. Sedangkan besar daya kedua dihasilkan juga oleh elektrolit air payau namun menggunakan elektroda berupa C-Zn yaitu dengan daya yang dihasilkan saat pertama kali pengambilan data sebesar 11,5192 mW namun mengalami penurunan yang lebih jauh dibandinganken dengan air payau menggunakan Cu-Zn yaitu hingga mencapai dibawah 1 mW. Pada posisi ketiga yaitu elektrolit air sungai menggunakan elektroda berupa Cu-Zn dengan besar daya yang dihasilkan P = 5,84 mW penurunan drastis terjadi hanya pada 4 jam pertama, selebihnya mengalami penurunan yang tidak cukup besar, dan posisi trakhir yaitu air sungai dengan menggunakan C-Zn daya yang dihasilkan tidak lebih dari 1 mW karena daya yang dihasilkan tidak besar maka lampu ledtidak menyala, hal ini disebabkan karenaterlalu sedikitnya kandungan NaCl yang menyebabkan sedikit sekali terjadi reaksi redoksyang terjadi.

Berbeda dengan air payau yang menghasilkan daya lebih besar dan dapat membuat lampu led menyala hal tersebut karena banyaknya kandungan NaCl pada Elektrolit akan menghasilkan energi listrik lebih besar,NaCl yang terdapat di air payau merupakan salah satu elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik. NaCl yang larut dalam H_2O dapat diuraikan menjadi ion Na^+ dan Cl^-, dengan adanya partikel muatan bebas itu, maka akan muncul arus listrik. Reaksi kimia NaCl dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$NaCl(s) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq) \quad (1)$$

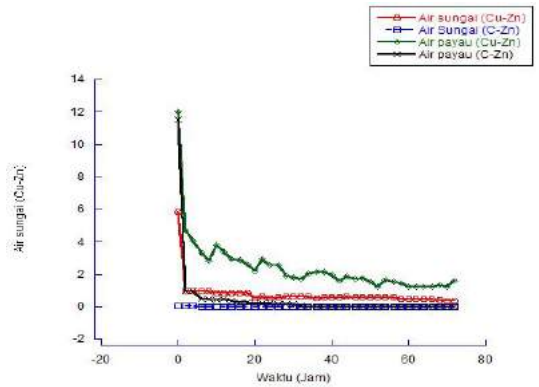
Unsur NaCl memiliki derajat ionisasi 1, atau mendekati 1 dan NaCl termasuk larutan elektrolit kuat serta dapat terionisasi sempurna dalam air [5].

Penurunan tengangan disebabkan oleh pengkaratan yang terjadi pada lempengan Cu, Zn, dan C sesuai dengan apa yang dijelaskan oleh [6]. Korosi tidak dapat dihindari, tetapi lajunya dapat dikendalikan [7]. Laju korosi elektroda seng yang menggunakan elektrolit air payau jauh lebih besar dibandingkan laju korosi pada elektroda seng yangmenggunakan elektrolit air sungai. Air payau merupakan media yang korosif karena kandungan Cl^- didalamnya yang cukup tinggi [8].

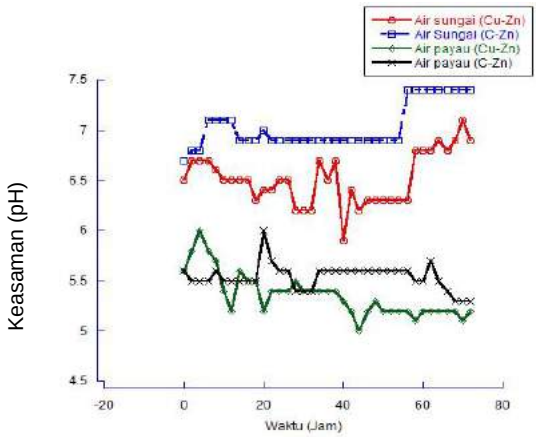
Analisis perubahan pH dengan Elektrolit Air Payau dan Air Sungai

Pada setiap pengambilan data diambil juga data pengamatan parameter kimia berupa perubahan pH setiap 2 jam darisetiap penelitian menggunakan elektrolit air sungai dan air payau dengan dua jenis pasang eletroda Cu-Zn dan C-Zn. Penggunakan Cu-Zn dan C-Zn pada percobaan berdampak berbeda terhadapat masing-masing elektrolit. pH yang dihasilkan oleh masing elektrolit dapat di lihat pada **Gambar 9**.

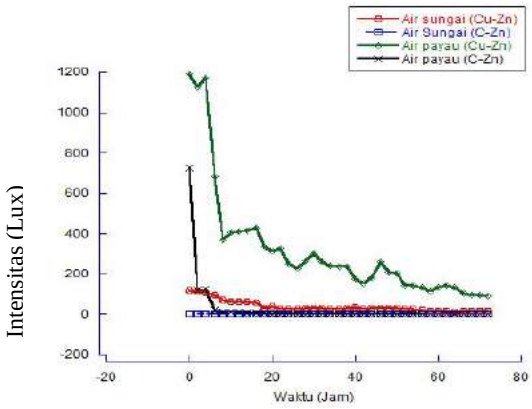
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 8. Perbandingan daya yang dihasilkan oleh air sungai dan air payau.



Gambar 9. Perbandingan perubahan tingkat keasaman yang dihasilkan oleh air sungai dan air payau.



Gambar 10. Perbandingan perubahan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh air sungai dan air payau.

Pada grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 9** terlihat perubahan keasamaan elektrolit dari masing-masing percobaan tidak terlalu jauh.Pengamatan yang terjadi pada air sungai menggunakan elektroda Cu-Zn didapatkan pH awal sebesar 6,5, dan pH akhir sebesar 6,9, namun pada dua jam sebelum akhir pH air sungai menggunakan elektroda Cu-Zn mencapai nilai 7,1 yang merupakan basa lemah. Pada elektrolit air sungai menggunakan elektroda C-Zn didapatkan pH awal sebsar 6,7, dan pH akhir 7,4. Pada elektrolit air payau dengan elektroda berupa Cu-Zn didapatkan pH awal sebesar 5,6, dan pH akhir sebesar 5,2.Sedangkan pada air payau menggunakan elektroda C-Zn didapatkan pH awal sebesar 5,6, dan pH akhir sebesar 5,3. Berdasar data tersebut dapat dikatakan bahwa elektrolit air sungai berubah dari air dengan derajat keasamana sebagai asam lemah berubah berlahan menjadi basa lemah, sedangkan pada air payau dari asam lemah perlahan berubah menjadi semakin asam.

Analisis Intensitas Cahaya dengan Elektrolit Air Payau dan Air Sungai

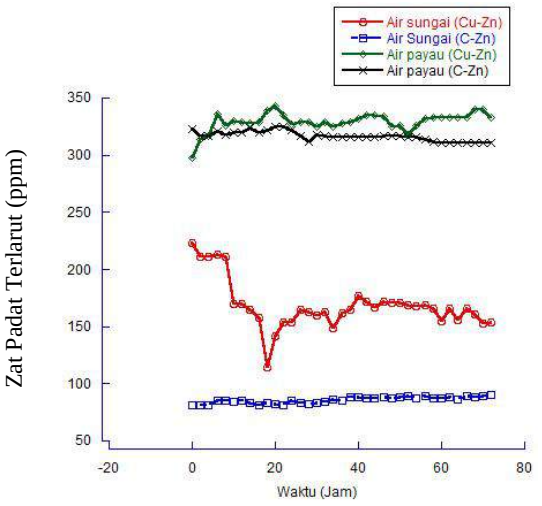
Pada setiap pengambilan data diambil juga data perubahan intensitas cahaya setiap 2 jam dari setiap penelitian dengan menggunakan elektrolit air sungai dan air payau dengan dua jenis pasang eletroda Cu-Zn dan C-Zn. Penggunakan Cu-Zn dan C-Zn pada percobaan berdampak berbeda terhadapat masing-masing elektrolit. Intensitas Cahaya yang dihasilkan oleh masing elektrolit dapat di lihat pada **Gambar 10**. Dapat diketahui pada gambar tersebut bahwa intensitas terbesar yaituyang dihasilkan oleh air payau dengan elektroda berupa Cu-Zn namum mengalami penurunan seiring berjalannya waktu yang kedua yaitu air payau dengan elektroda berupa C-Zn, ketiga yaitu air sungai dengan elektroda Cu-Zn, dan yang terakhir yaitu air sungai dengan elektroda C-Zn. Dimana intensitas yang didapat berbanding lurus dengan daya yang diamati karena intensitas bergantung dengan daya yang dihasilkan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

semakin daya besar makan intensitasnya juga semakin besar begitupun sebaliknya.

Analisis *Total Disolved Solid*(TDS) dengan Elektrolit Air Payau dan Air Sungai

Pada setiap pengambilan data diambil juga data perubahan TDS setiap 2 jam dari setiap penelitian dengan menggunakan elektrolit air sungai dan air payau dengan dua jenis pasang eletroda Cu-Zn dan C-Zn. Penggunakan Cu-Zn dan C-Zn pada percobaan berdampak berbeda terhadapat masing-masing elektrolit. Perubahan TDS yang dihasilkan oleh masing elektrolit dapat di lihat pada **Gambar 11**. Berdasarkan gambar tersebut TDS terbesar yaitu yang dihasilkan oleh air payau menggunakan elektrolit Cu-Zn dan C-Zn yaitu antara 300-350 ppm sedangkan pada air sungai dengan menggunakan Cu-Zn 100-250 ppm sedangkan air sungai menggunakan C-Zn didapatkan nilai TDS stabil di angka 100 ppm.Hal ini sesuai dengan referensi [9]. Dapat ditarik kesimpulan bahwa tidak banyak perubahan yang terjadi pada nilai TDS dan dapat dikatakan bahwa percobaan yang dilakukan tidak merubah atau membuat nilai zat padat terlarut pada elektrolit.



Gambar 11. Perbandingan perubahan TDS yang dihasilkan oleh air sungai dan air payau.

KESIMPULAN

Berdasarkan realisasi hasil penelitian dan analisis yang yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan elektrolit air payau dan pasangan elektroda Cu-Zn terbaik mampu menghasilkan daya yang dapat menghidupkan Led 1,2 watt namun nilai intensitas cahaya semakin lama semakin menurun, dibandingkan penggunakan elektrolit berupa air sungai, air rawa, mata air, dan air hujan. Hal ini disebabkan oleh NaCl yang terinonisasi secara sempurna dimana semakin banyak kandungan NaCl di sebuah larutan akan menghasilkan energi listrik lebih besar karena NaCl dapat membantu mempercepat reaksi redoks. Dan penurunan intensitas cahaya disebabkan oleh pengkaratan pada lempengan Cu, Zn, dan C yang berbanding lurus dengan kandungan NaCl pada sebuah elektrolit.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. V Nwokocha, J. Nwokocha, and A. Nnanna, "The Microbial Fuel Cell : The Solution to the Global Energy and Environmental Crises ?," *Int. J. Acad. Res. Progress. Educ. Dev.*, vol. 1, no. 1, pp. 363–374, 2012.

[2] Umair Shahzad, "The Need For Renewable Energy Sources," *ITEE J.*, vol. 15, pp. 16–18, 2012.

[3] M. R. Harahap, "Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi," *Circuit*, vol. 2, no. 1, pp. 177–180, 2016.

[4] J. P. Riley and G. Skirrow, *Chemical oceanography, v. 4. 2nd ed.* London: Academic Press, 1975.

[5] C. W. Keenan, *Ilmu Kimia untuk Universitas. Penerjemah Aloysius Hadyana Pudjaatmaka*. Jakarta: Erlangga, 1975.

[6] P. K. Barua and D. Deka, "Electricity Generation from

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Biowaste Based Microbial Fuel Cells," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 77–92, 2010.

[7] E. Budiyanto, D. A. Setiawan, H. Supriadi, and Ridhuan, "Pengaruh Jarak Anoda-Katoda Pada Proses Elektroplating Tembaga Terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda Baja AISI 1020," *J. TURBO*, vol. 5, no. 1, 2016.

[8] A. A. Karim and Z. A. Yusuf, "Analisa Pengaruh Penambahan Inhibitor Kalsium Karbonat dan Tapioka terhadap Tingkat Laju Korosi pada Pelat Baja Tangki Ballast Air Laut," *J. Ris. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 10, no. 2, pp. 205–212, 2012.

[9] B. E. Logan, B. Hamelers, R. Rozendal, U. Shroder, J. Keller, S. Freguia, P. Aelterman, W. Verstraete, and K. Rabaey, "Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 40, no. 17, pp. 5181–5192, 2006.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Ilmiah Setrum

Full Paper

Volume 7, No.2, Desember 2018 p-ISSN : 2301-4652 / e-ISSN : 2503-068X

Analisis Potensi Energi Sinar Matahari Dan Energi Agin di Pusat Kota Semarang

Zaenal Arifin[1], Aries Jehan Tamamy[2], Amalia[3]

[1]Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro Semarang.
[2]Jurusan Teknik Biomedis, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro Semarang.
[3]Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro Semarang.

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 16 Okt. 2018
Direvisi : 14 Nov. 2018
Disetujui : 15 Desembaer 2018

***Korespodensi Penulis :**
xzaenal@dsn.dinus.ac.id

Abstract

The application of renewable energy need to be throughly prepared because the investation cost is not small although the energy that will be produced is free. Few things that need to be prepared before installation are the data about energy potention of the region, technology application readiness dan human resourcess. This research used 2 solar panels with power specificaion 50 Wp SHINYOKU monocrystaline each that connected in parallel to measure the solar energy potention and anemometer to measure the wind energy potention. The research was done in semarang for a month since 30 July 2018 until 30 August 2018. From the data gathered that using the installation design used in this research, the average solar energy potention in Semarang for a month is 5,4 KWh with 7,5 hours effective time dan 3,6 hours optimum time. As for the average wind energy potention for a month is 0,9 m/s. Lastly could conclude that Semarang city has potention for using solar energy while wind energy can not be optimumly applied.

Abstrak

Penerapan energi baru terbarukan (EBT) perlu disiapkan secara menyeluruh karena biaya investasi yang dibutuhkan untuk memanfaatkan (EBT) tidaklah sedikit walaupun nantinya energi yang dihasilkan akan bersifat gratis. Beberapa hal yang perlu dipersiapkan sebelum instalasi pemanfaatan EBT adalah data tentang potensi energi suatu daerah, kesiapan teknologi dan sumber daya manusia. Hal tersebut bertujuan agar nantinya biaya investasi yang dikeluarkan sebanding dengan energi yang diperoleh dari EBT. Dalam penelitian ini menggunakan 2 panel surya dengan spesifikasi daya 50 Wp SHINYOKU monocrystaline yang terhubung secara paralel untuk mengukur potensi energi matahari dan anemometer untuk mengukur potensi energi angin. Penelitian ini dilakukan di kota Semarang selama satu bulan sejak 30 Juli 2018 hingga 30 Agustus 2018. Dari data yang dikumpulkan menggunakan desain instalasi yang digunakan dalam penelitian ini, rata-rata energi surya di kota Semarang selama sebulan adalah 5,4 KWh dengan 7,5 jam waktu efektif dan 3,6 jam waktu optimal. Adapun potensi energi angin rata-rata selama sebulan adalah 0,9 m/s. Terakhir dapat disimpulkan bahwa kota Semarang memiliki potensi untuk menggunakan energi sinar matahari sedangkan energi angin tidak dapat dimanfaatkan secara optimal.

Kata kunci: Solar panel; Kota Semarang; Energi Terbarukan (EBT); waktu efektif; waktu optimal; potensi energi

© 2018 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia masih sangat sedikit. Hal tersebut tidak lepas dari kendala serta proses pemanfaatan EBT yang tidak banyak dipahami oleh masyarakat. Salah satu potensi EBT yang dapat dimanfaatakan oleh masyarakat kota Semarang adalah energi sinar matahari dan energi kinetik angin. Energi sinar matahari dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik dengan memanfaatkan solar panel (PV)[1], sedangkan energi kinetik angin dapat diubah menjadi energi listrik dengan gerenator angin atau turbin angin. Menurut Wakil Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Arcandra Tahar ada sejumlah hal yang harus benar – benar dipersiapkan oleh Indonesia untuk mendorong pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) yaitu data potensi energi baru terbarukan (EBT), Teknologi, dan Sumber Daya Manusia (SDM)[2].

Data potensi energi sinar matahari dan energi kinetik angin untuk setiap wilayah akan berbeda tergantung dari topografi suatu wilayah. Kajian tentang data potensi energi sinar matahari dan energi kinetik angin disuatu wilayah dibutuhkan untuk menghitung keekonomian energi yang diperoleh

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

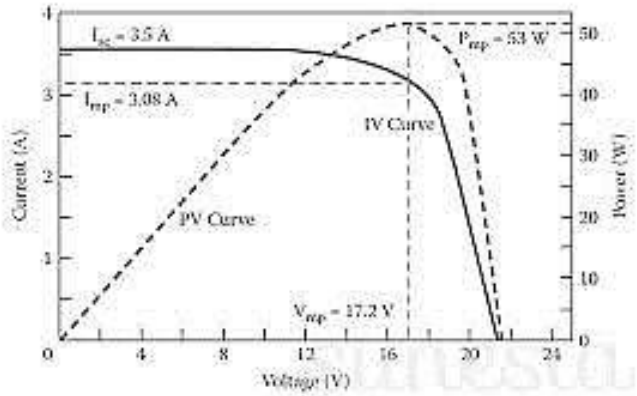
dengan biaya investasi yang dibutuhkan untuk penerapan energi tersebut. Seperti diketahui, energi tersebut bersifat gratis namun membutuhkan investasi awal yang cukup besar untuk pembelian PV dan pemasangan turbin angin[3].

Dengan harga listrik yang diterapkan oleh pemerintah yaitu sebesar Rp. 1.467/Kwh untuk tarif non-subsidi, dapat dihitung dalam jangka waktu berapa lama investasi yang telah dikeluarkan akan dapat kembali dan kemudian mulai merasakan keuntungan penggunaan EBT. Selain hal tersebut, pemerintah juga sedang membuat aturan teknis pembelian listrik berbasis EBT dari masyarakat oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Data konsumsi listrik di Kota Semarang sangat bervariatif, jumlah konsumsi listrik untuk rumah tangga, sangat dipengaruhi oleh jumlah orang yang tinggal di suatu rumah, selain itu penggunaan peralatan elektronik juga berpengaruh terhadap tingkat konsumsi listrik[4].

2. TEORI DASAR

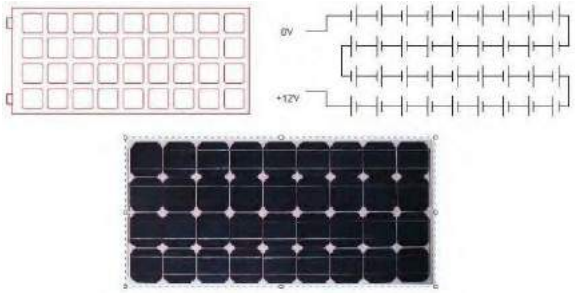
A. *Karakteristik Solar Panel*

PV sebagai alat yang dapat merubah energi sinar matahari menjadi energi listrik *Dirrect Current* (DC) memiliki karakteristik effisiensi yang rendah. PV terdiri dari crystalline silicon yang dirangkai secara berjajar baik seri maupun pararel[5]. Ukuran luas bidang PV berpengaruh pada kapasitas listrik yang dapat dinkonversi dari energi sinar matahari. Secara teori kurva perbandingan antara Arus (I) dan Tegangan (V) dalam Standar Test Conditions (STC) adalah 1000 watt per meter persegi radiasi dalam suhu 25 derajat celcius seperti pada gambar 1[6].



Gambar 1. Karakteristik I-V PV STC.

PV memiliki dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti diode. Ketika mendapatkan cahaya matahari, satu sel surya pada PV menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 volt sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala milliampere per cm2 (mA/cm2)[7]. Besar tegangan dan arus tersebut tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga sejumlah sel surya disusun secara seri ataupun pararel membentuk modul 10 surya. Kapasitas produksi listrik oleh PV ditulis dengan besaran Watt. Semakin besar kapasitas produksi listriknya, maka ukuran PV tersebut juga semakin besar.

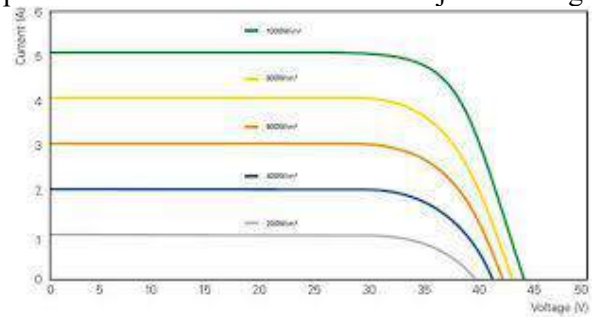


Gambar 2. Modul Solar Panel Terdiri dari 28 – 36 Sel yang dirangkai secara seri untuk memperbesar total daya output.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

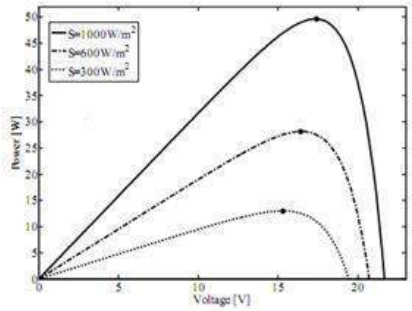
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jumlah listrik yang dapat dikonversikan oleh PV bergantung pada sinar matahari yang diterima oleh PV tersebut. Semakin banyak luas permukaan PV yang terkena sinar matahari, maka semakin besar pula energi listrik yang dapat dikonversikan. Hal tersebut ditunjukan oleh gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Sinar Matahari dengan Keluaran I - V.

Daya puncak pada PV terjadi pada tegangan tertentu. Rata – rata daya puncak PV berada pada kisaran tegangan 17 V – 18 V. Karakteristik tegangan puncak pada PV ditunjukan pada gambar 4.



Gambar 4. Karakteristik Tegangan Puncak Pada PV.

Rata – rata tingkat effektifitas panel surya yang beredar di pasaran berkisar antara 10% - 20% dari daya maksimum yang mampu dihasilkan. Sebagai contoh, apabila menggunakan panel surya sebesar 200 Watt maka daya maksimum yang mampu dihasilkan adalah sebesar 20 Watt – 40 Watt tiap satuan waktu. Maka dari itu perlu adanya rangkaian tambahan untuk mengoptimalkan panel surya tersebut[7]. Solar panel yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis solar panel *monocrystaline* dengan kapasitas 100 watt yang terdiri dari 2 buah 50 watt PV dengan merek SHINYOKU yang dipasang secara pararel.



Gambar 5. Spesifikasi solar panel SHINYOKU 50 Watt.

Maximum Power (Pmax)	50 W
Maximum Power Voltage (Vmp)	17,5 V

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Maximum Power Current (Imp)	2,86 A
Open Circuit Voltage (Voc)	20,9 V
Short Circuit Current (Isc)	3,18 A

B. *Kincir Angin/Wind Power*

Energi Kinetik angin terdapat pada gerakan angin yang diubah menjadi energi gerak oleh bilah yang ada pada kincir angin yang berfungsi untuk menggerakan generator. Besarnya energi kinetik angin bergantung pada kecepatan angin dan massa jenis angin atau udara[8]. Jika diformulasikan, besar energi kinetik yang terkandung pada angin atau udara yang bergerak dengan bermassa m dan kecepatan v adalah:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Dimana :

Ek = Energi Kinetik (joule)

m = Massa Udara (kg)

v = Kecepatan Angin (m/s)

Energi kinetik yang terdapat pada angin akan berbanding lurus dengan massa udara (ρ) dan akan berbanding lurus dengan kuadrat dari kecepatannya seperti yang ditunjukan pada rumus. Alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin adalah anemometer, dengan mengetahui kecepatan angin, dapat diketahui jenis kincir angin/wind power yang sesuai dengan kecepatan angin tersebut. Selain itu, data kecepatan angin juga dapat digunakan sebagai acuan data potensi energi yang dapat dikonversikan dari energi angin menjadi energi listrik[9].



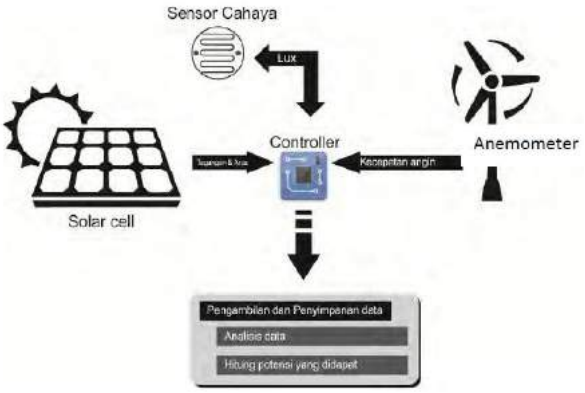
Gambar 6. Anemometer.

3. PENGAMBILAN DAN ANALISIS DATA

Pengambilan data potensi energi sinar matahari dan potensi energi angin yang berada di Kota Semarang dilakukan selama 1 bulan dengan menggunakan mikrokontroller Arduino uno yang difungsikan sebagai data logger[10]. Data yang diambil pada penelitian ini terdiri dari dua jenis potensi energi, yaitu energi angin dan energi sinar matahari. Pengambilan data kecepatan angin menggunakan Anemometer. Pengambilan data potensi energi sinar matahari dilakukan dengan mengukur 3 data, yaitu tingkat pencahayaan yang diukur dengan menggunakan Lux Meter dan tegangan serta arus yang diambil dengan mengukur keluaran dari panel surya. Pengukuran tingkat cahaya digunakan sebagai perbandingan antara cahaya dengan daya yang dihasilkan oleh panel surya.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA



Gambar 7. Skema pengambilan data



Gambar 8.
Instalasi pada salah satu rumah warga di pusat kota Semarang

a. Data Tingkat Cahaya Matahari

Pengukuran tingkat cahaya matahari dilakukan dengan menggunakan sensor BH1750 yang dihubungkan dengan mikrokontroller Arduino uno dengan menggunakan protocol I2C. sensor BH170 yang dipakai dapat mengukur intesitas cahaya mulai 1 - 65535 lux. Data diambil dengan interval 2 detik untuk setiap data. Data tersebut kemudian diolah dengan mengelompokkannya menjadi beberapa level sesuai dengan tabel dibawah[11]:

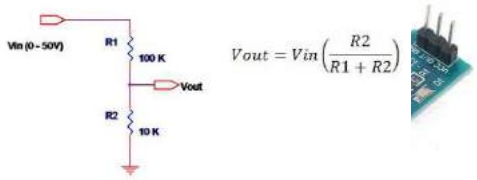
Tabel 1. Besaran Lux dengan kategori tingkat cahaya

No	Range data (lux)	Tingkat cahaya
1	107.527	Sunlight
2	10.752	Full Daylight
3	1.075	Overcast Day
4	107	Very Dark Day
5	10.8	Twilight
6	0	Night

b. Data Tegangan dan Arus Panel Surya

Dengan menggunakan 2 buah panel surya dengan ukuran masing – masing 50 watt yang dihubungkan secara pararel maka dapat mengghasilkan arus maksimum 5,72 A. Agar keluaran daya dari solar panel maksimal, maka digunakan MPPT dan juga sebagai control proses pengisian daya ke baterai. Output dari MPPT tersebut dihubungkan ke beban baterai 12 V 17 Ah dengan kondisi kosong yang digunakan sebagai media penyimpanan daya sementara[12]. Data tegangan dan arus menuju baterai diukur menggunakan sensor tegangan dan sensor arus ACS712.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 9. Rangkaian sensor pembagi tegangan dan sensor arus ACS712.

Tegangan maksimum yang dapat diukur oleh Arduino Uno adalah 5 V, Sehingga diperlukan rangkaian pembagi tegangan yang memanfaatkan hukum pembagi tegangan. Tegangan yang diukur dihubungkan kedalam Vin dan hasil Vout dihubungkan ke mikrokontroller Arduino uno. Sensor tegangan yang digunakan dalam penelitian mempunyai rasio perbandingan antara R1 dan R2 sebesar 6.77:1. Data tersebut kemudian di catat dalam logger dengan interval 2 detik untuk setiap data.

Tabel 2. Data.csv pada logger

11/8/2018	9:06:32	0.67	46265	0.06	19.66
11/8/2018	9:06:34	0.67	46380	0.03	19.66
11/8/2018	9:06:35	0.67	46430	0.03	19.66
11/8/2018	9:06:36	0.66	46469	0.29	19.66
11/8/2018	9:06:37	0.67	46418	0.41	19.63
11/8/2018	9:06:38	0.66	46385	0.29	19.66
11/8/2018	9:06:39	0.67	46401	0.44	19.63
11/8/2018	9:06:40	0.67	46423	0.53	19.7
11/8/2018	9:06:41	0.67	46395	0.62	19.63
11/8/2018	9:06:43	0.67	45848	0.76	19.66
11/8/2018	9:06:44	0.67	46485	0.73	19.66

Data pada kolom pertama merupakan tanggal, berikutnya adalah data jam data tersebut diambil. Data pada kolom ketiga merupakan data arus yang masuk pada baterai dari MPPT dalam satuan Ampere, data keempat merupakan data tingkat cahaya dalam satuan Lux. Data kelima merupakan data kecepatan angin dalam satuan m/s sedangkan data pada kolom ke enam merupaka data tegangan keluaran dari panel surya. Data yang diperoleh logger dalam bentuk .csv di SD Card kemudian direrata untuk setiap jam nya. Berikut adalah sampel data yang diambil pada tanggal 22 Agustus hingga 23 Agustus 2018 pada siklus 1 hari.

Tabel 3. Sample table data

No	Jam	Lux	Tegangan (V)	Arus (I)
1	13-14	56455	13,44	3,31
2	14-15	54877	13,39	2,59
3	15-16	18770	13,31	1,52
4	16-17	7450	13,02	0,50
5	17-18	921	12,74	0,10
6	18-19	0	12,63	0,05
7	19-20	0	12,61	0,05
8	20-21	0	12,60	0,04
9	21-22	0	12,59	0,03

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

10	22-23	0	12,59	0,02
11	23-00	0	12,59	0,02
12	00-01	0	12,63	0,03
13	01-02	0	12,64	0,03
14	02-03	0	12,65	0,01
15	03-04	0	12,66	0,01
16	04-05	0	12,67	0,02
17	05-06	119	12,68	0,03
18	06-07	2672	13,11	0,32
19	07-08	5946	14,27	0,41
20	08-09	8050	14,74	1,07
21	09-10	10396	14,69	0,58
22	10-11	11168	14,55	0,31
23	11-12	26716	14,49	0,88
24	12-13	54578	13,79	0,72

Terlihat pada tabel diatas proses pengisian baterai dengan kapasitas 12 V 17 Ah kembali terisi penuh. Pada data arus dan tegangan dapat diketahui ketika tegangan baterai mendekati tegangan keluaran MPPT sebesar 14,6 V, maka proses pengisian baterai akan berhenti dan arus yang mengalir ke dalam baterai semakin kecil. Proses pengisian baterai menggunakan 100 watt panel surya tersebut membutuhkan waktu 5-7 jam, tergantung dari kondisi tingkat radiasi sinar matahari yang diterima oleh panel surya. Dari data pada tabel 2, dapat diketahui ketika tingkat cahaya mencapai lebih dari 10752 lux (Full Daylight), arus yang mengalir ke baterai dapat mencapai titik efektif. Sehingga dapat dapat simpulkan bahwa waktu efektif dalam pengisian baterai ada pada jam 9 pagi sampai jam 4 sore, yaitu selama 7 jam dalam sehari. Dari 7 jam waktu efektif proses pengisian baterai, terdapat waktu optimal yaitu waktu dimana tingkat cahaya matahari yang diterima oleh panel surya lebih dari 50000 lux. Terlihat dari sampel data pada tanggal 22 Agustus – 23 Agustus 2018 memiliki waktu optimal selama 3 jam. Berikut adalah tabel data waktu efektif dan optimal dari proses pengambilan data yang telah dilakukan dan rata – rata kecepatan angin setiap harinya.

Tabel 4. Tabel Rekapitulasi Pengambilan Data Selama 1 Bulan.

No.	Tanggal	Waktu Efektif (Jam)	Waktu optimum (Jam)	Kecepatan angin (m/s)
1	30 Juli 2018	8	4	0,8
2	31 Juli 2018	8	4	0,9
3	1 Agustus 2018	6	3	0,6
4	2 Agustus 2018	7	3	1,1
5	3 Agustus 2018	6	3	1,2
6	4 Agustus 2018	7	3	0,8
7	5 Agustus 2018	7	3	0,6
8	6 Agustus 2018	8	4	0,9
9	7 Agustus 2018	9	4	0,8
10	8 Agustus 2018	9	6	0,7
11	9 Agustus 2018	9	5	1,2
12	10 Agustus 2018	8	4	1
13	11 Aguatus 2018	8	3	0.8
14	12 Agustus	9	5	0,6

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

	2018			
15	13 Agustus 2018	8	4	1,2
16	14 Agustus 2018	6	2	0.9
17	15 Agustus 2018	8	3	0.6
18	16 Agustus 2018	7	4	0.7
19	17 Agustus 2018	9	5	0.6
20	18 Agustus 2018	6	3	1,2
21	19 Agustus 2018	7	3	1,3
22	20 Agustus 2018	7	4	1,2
23	21 Agustus 2018	7	3	0,8
24	22 Agustus 2018	8	4	0,9
25	23 Agustus 2018	7	4	0,6
26	24 Agustus 2018	6	2	0,9
27	25 Agustus 2018	8	5	0,6
28	26 Agustus 2018	8	4	0,8
29	27 Agustus 2018	9	4	0,6
30	28 Agustus 2018	8	3	1,2
31	29 Agustus 2018	8	4	1,2
32	30 Agustus 2018	7	3	0,9
	Data rerata	**7,5**	**3,6**	**0,9**

4. KESIMPULAN

Data rata – rata waktu efektif pancaran sinar matahari yang diterima oleh panel surya yang tercatat selama bulan Agustus 2018 di pusat kota Semarang adalah 7,5 jam. Dalam jangka waktu tersebut, panel surya bekerja merubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Untuk data waktu optimal, tercatat data rata – rata yaitu selama 3,6 jam. Dalam jangka waktu tersebut, panel surya dapat menghasilkan keluaran daya mendekati daya keluaran maksimum.

Dengan kapasitas baterai 12 V 17 Ah, dapat digunakan untuk menyalakan lampu LED 10 Watt selama 18 jam. Baterai kembali terisi penuh menggunakan solar panel 2 x 50 watt dengan kondisi waktu selama 7 jam waktu efektif dan 3 jam waktu optimum. Dengan mengkonversikan jumlah daya yang terisi pada baterai ke dalam lama nyala lampu, maka diperoleh penghematan daya sebesar :

10 watt x 18 jam x 30 hari = 5,4 Kwh

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Dalam hitungan bulan didapatkan penghematan daya sebesar 5,4 Kwh. Untuk data kecepatan angin rata – rata setiap bulan adalah 0,9 m/s. Dengan melihat hasil kecepatan angin, maka potensi energi angin yang ada di pusat kota Semarang termasuk rendah dan kurang optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Mengucapkan terima kasih kepada Kementrian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas pendanaan pada penelitian ini melalui Skema Hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) (053/A38.04/UDN-09/II/2018).

REFERENSI

[1] Winasis, Azis W, Imron R, Fajar S, "DESAIN SISTEM MONITORING SISTEM PHOTOVOLTAIC BERBASIS INTERNET of THINGS (IoT)", Jurnal Nasional Teknik Elektro Teknik Informatika (JNTETI) Vol. 5, No. 4, November 2016 Universitas Gadjah Mada, ISSN: 2460 – 5719.

[2] https://finance.detik.com/energi/d-3987615/arcandra-paparkan-3-kunci-kembangkan-energi-terbarukan-di-ri
Akses pada 2 Juli 2018

[3] Daniel B, Surya T, "Perbandingan Teknis dan Ekonomis Penggunaan Penerangan Jalan Umum Solar Cell Dengan PeneranganJalan Umum Konvensional", Jurnal Universitas Sumatera Utara September 2015 ISSN Online: 2549-130X.

[4] "Penetapan Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik (Tariff Adjustment) Bulan April – Juni 2018"
Sumber : pln.go.id

[5] Nair M, Midhun A, Febin F, Jithu F, "Enhancing The Efficiency of Solar Panel Using Cooling Systems", Dept. Mechanical Engineering, Jyothi Engineering College, Thrissur, India. Int. Journal of Engineering Research and Application IJERA, Vol. 7, Issue 3, March 2017 ISSN : 2248-9622.

[6] Rois A, Gunawan N, Chayun B, "Analisa Performansi dan Monitoring Solar Photovotaic System (SPS) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Tuban Jawa Timur", Jurnal Teknik Pom Institut Teknologi Sepuluh Nopember April 2016.

[7] Machmud E. "Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking (MPPT) Solar Sel Untuk Aplikasi Pada Sistem Grid Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTAg)", Jurnal Gamma Universitas Muhammadiyah Malang, September 2013, SSN 2086 -3071.

[8] Firman A, I Made M, Made Nuarsa, "Pengaruh Kecepatan Angin dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal", Fakultas Teknik Universitas Mataram, Dinamika Teknik Mesin, Volume 3 No. 1 Januari 2013 ISSN: 2088-088X.

[9] Yusuf Ismail N, Chorul Saleh, "Rancang bangun Kincir Angin Sumbu Vertikal Pembangkit Tenaga Listrik Portabel", Institut Teknologi Nasional Malang, Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III 2015 Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.

[10] Z. Arifin, H. Rahadian, "Rancang Bangun Stand-Alone Automatic Rain Gauge (ARG) Berbasis Panel Surya", Jurnal Nasional Teknik Elektro Jilid 6 Terbitan 3 Hal. 178-184 Universitas Andalas 2017.

[11] "Recommended Light Levels (Illuminance) for Outdoor and Indoor Venues" The National Optical Astronomy Observatory NOAO.

[12].Uli W, Andres C, Peter W, "Charge Carrier Separation in Solar Cells", IEEE ISSN:2156-3403 2014.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Analisis Produksi Energi dari Inverter pada *Grid-connected* PLTS 1 MWp di Desa Kayubihi Kabupaten Bangli

A. A. Ngurah Bagus Budi Nathawibawa[1], I Nyoman Satya Kumara[2], Wayan Gede Ariastina[3]

***Abstract*—Inverter is a very important component of a grid-connected PV plant due to its function to convert DC power output of the PV module to AC power. Inverter is built from many components to support its operation so it is the most complex component in a PV systems. The 1 MWp grid-connected Kayubihi PV Plant uses 50 units of 20 kW inverter. This research is aimed to obtain inverters performance also the effect of string array position to energy production of the plant. Energy production analysis of the plant is conducted by mapping the energy production percentage of each inverter, then inverter with the highest energy production percentage is nominated as the reference to measure the performance of other inverters. The analysis considers string array location which connected to the inverter too and also based on the site condition of PV location. It is found that that the highest energy production is shown by inverter 44-E5 with energy output of 17.827 kWh and the lowest is inverter 8-D3 at 8.898 kWh. The highest average energy production is inverter 44-E5 at 72,47 kWh/day, and the lowest is inverter 11-C5 at 39,26 kWh/day. Based on the analysis, it can be concluded that all inverter in Kayubihi PV Plant has its energy production greater than or equal to 75% of the optimum energy output of string array and the inverter 29-B9 has the highest energy production percentage.**

***Intisari*—Inverter merupakan komponen yang sangat penting dalam sebuah PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik karena fungsinya untuk mengubah daya keluaran DC modul surya menjadi daya AC. Inverter dibangun dari berbagai macam komponen untuk menunjang operasinya, sehingga inverter adalah komponen paling kompleks di dalam sistem PLTS. *Grid-connected* PLTS 1 MWp Kayubihi menggunakan 50 unit inverter dengan kapasitas masing-masing 20 kW. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja inverter serta pengaruh posisi *string array* terhadap produksi energi PLTS. Analisis produksi energi di PLTS Kayubihi dilakukan dengan memetakan persentase produksi energi dari setiap inverter, kemudian inverter dengan persentase produksi energi tertinggi dipilih sebagai acuan untuk menilai unjuk kerja dari 49 inverter yang lain. Analisis juga memperhatikan letak *string array* yang terhubung dengan inverter serta berdasarkan kondisi di lokasi PLTS terpasang. Diperoleh bahwa produksi energi tertinggi dihasilkan oleh inverter 44-E5 sebesar 17.827 kWh dan terendah adalah inverter 8-D3 sebesar 8.898 kWh. Inverter dengan produksi energi rata-rata tertinggi adalah inverter 44-E5 sebesar 72,47 kWh/hari dan terendah adalah inverter 11-C5 sebesar 39,26 kWh/hari. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa seluruh inverter di PLTS Kayubihi, produksi energinya sudah lebih besar atau sama dengan 75 % sesuai keluaran energi optimum *string array* masing-masing, dengan inverter 29-B9 memiliki persentase produksi energi tertinggi.**

***Kata Kunci*— Energi Terbarukan, PLTS *On-grid*, Unjuk Kerja Inverter, Produksi Energi**

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan suatu sistem yang mampu mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik. Inverter adalah salah satu subsistem penting yang diperlukan untuk mencatu beban AC atau jika PLTS tersebut terhubung dengan jaringan PLN karena inverter mampu mengubah daya DC menjadi daya AC.

Tahun 2025 PLTS diharapkan dapat menyumbang 0,87 GW, dimana beserta energi biomassa, nuklir, air dan angin dapat mencapai target sebesar 5 % dari keseluruhan EBT sebesar 17 % dari kapasitas pembangkitan listrik nasional [1]. Bahwa untuk mencapai hal tersebut diperlukan berbagai upaya antara lain memperluas penggunaan PLTS di masyarakat khususnya masyarakat urban atau di wilayah-wilayah yang sudah terkangkau jaringan distribusi PLN dan tetap menjalankan program-program kelistrikan pada wilayah-wilayah terpencil dengan pemasangan *solar home system* (SHS) [2].

Secara umum bagian utama sebuah inverter adalah semikonduktor daya sebagai sakelar, *DC link bus*, kontroler dan sistem pengaman. Inverter juga dilengkapi rangkaian kontrol PWM, algoritma *phase locked loop* (PLL) serta *phase detector*. Dewasa ini inverter juga sudah dilengkapi fitur untuk merekam data (*data logging*) untuk memantau unjuk kerja operasinya dalam kurun waktu tertentu serta dilengkapi juga fasilitas antarmuka pengguna untuk menampilkan data tegangan, arus, frekuensi serta arus dan tegangan beban. Banyaknya komponen dan fitur tersebut membuat inverter menjadi sebuah sistem yang kompleks namun harus beroperasi pada keadaan lingkungan yang berubah-ubah. Inilah yang menyebabkan inverter harus memiliki tingkat keandalan tinggi. Komponen dengan keandalan yang tinggi dibutuhkan untuk meminimalisir *downtime* inverter dan secara tidak langsung juga meminimalisir biaya pemeliharaan [3], [4]. Banyak penelitian yang telah dilakukan mengenai unjuk kerja inverter seperti yang ditunjukkan [5], [6], [7], [8], [9].

Salah satu PLTS *grid-connected* terbesar di Bali adalah PLTS yang terletak di Desa Kayubihi Kabupaten Bangli atau yang disebut PLTS Kayubihi. Total daya pembangkitan maksimum PLTS Kayubihi adalah 1 MWp. PLTS Kayubihi menggunakan *string* inverter dengan kapasitas 20 kW

[1]*Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jalan Gunung Semeru, No. 10 Denpasar 80118 (Hp: 085935294550; telp: 0361-8473695; e-mail: ngurah.bagus93@yahoo.com)*

[2, 3] *Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-4321)*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sebanyak 50 unit. PLTS tersebut berada pada ketinggian ±870 meter diatas permukaan laut, dengan curah hujan di Kabupaten Bangli 1.947 mm/bulan serta kelembaban 68% dengan suhu 15 ºC-30 ºC. Jenis tanah di Bangli adalah tanah regosal, sehingga tanaman apa saja bisa tumbuh di daerah ini. Faktor pendukung secara alami ini menopang Bangli memiliki lahan subur yang sangat potensial di sektor pertanian [10].

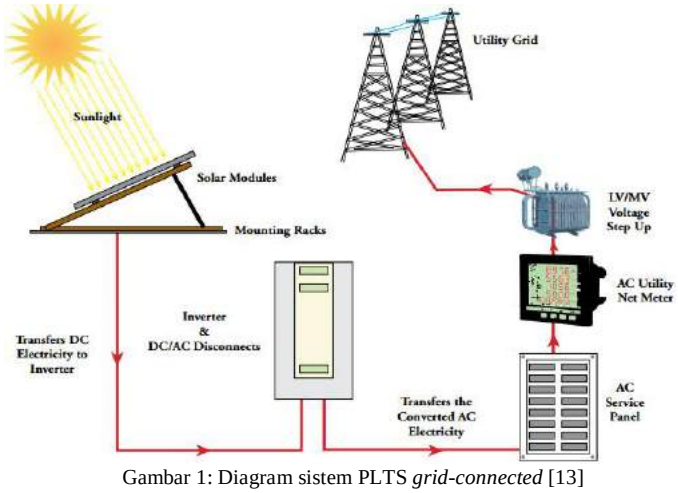
Secara teoritis suhu di PLTS Kayubihi mendekati *standard test conditions* (STC), dengan suhu harian 23,8 ºC. Namun curah hujan dan hari hujan di sekitar PLTS juga cukup tinggi sehingga dapat berdampak pada produksi energi PLTS. Berdasarkan observasi di lapangan, faktor lain yang dapat berdampak terhadap sistem PLTS adalah bayangan dari rumput dan pepohonan yang tinggi [11].

Penelitian mengenai unjuk kerja inverter PLTS Kayubihi dilakukan menggunakan data *record* sistem monitoring tahun 2014. Data *record* sistem monitoring diolah untuk memperoleh produksi energi inverter. Kemudian dilakukan analisis dengan memetakan persentase produksi energi sesuai dengan letak *string array* yang terhubung dengan inverter, menggunakan inverter dengan persentase produksi tertinggi sebagai acuan untuk menilai unjuk kerja inverter lainnya, serta melakukan observasi lapangan. Dengan demikian diharapkan dapat diketahui bagaimana unjuk kerja inverter PLTS Kayubihi dari segi produksi energi serta penyebabnya.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. PLTS Grid-connected

Sistem PLTS *on-grid* atau *grid-connected PV system* pada dasarnya menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik (PLN). Komponen utama sisten ini adalah *Power Conditioning Unit* (PCU) atau inverter yang berfungsi untuk mengubah daya DC yang dihasilkan PLTS menjadi daya AC yang disesuaikan dengan persyaratan jaringan listrik yang terhubung (*utility grid*). Selain itu juga menghentikan secara otomatis suplai daya ke jaringan listrik ketika *utility grid* tidak mengalirkan daya [12].

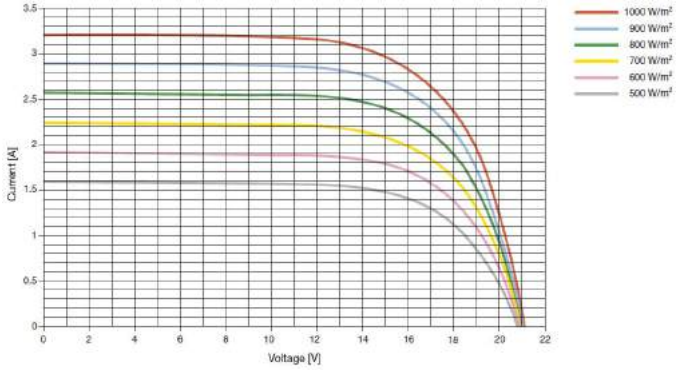


Gambar 1: Diagram sistem PLTS *grid-connected* [13]

B. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produksi Energi Modul Surya

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi produksi energi listrik modul surya adalah sebagai berikut [14]:

1) Iradiasi: Pada saat iradiasi menurun, arus yang dihasilkan modul surya akan menurun secara proporsional, sedangkan perubahan tegangan tanpa beban sangat kecil. Kurva karakteristik V-I ditunjukkan pada Gambar 2 yaitu fungsi iradiasi terhadap sel surya yang mempengaruhi arus dan tegangan.



Gambar 2: Iradiasi matahari terhadap arus dan tegangan modul surya [14]

2) Suhu Modul: Berkebalikan dengan pengaruh iradiasi, ketika suhu modul meningkat, arus yang dihasilkan praktis tidak berubah, sedangkan tegangan menurun dan dengan demikian kemampuan panel dalam menghasilkan energi listrik juga menurun. Penurunan efisiensi adalah berkisar 0,4 hingga 0,6 untuk setiap peningkatan 1 ºC.

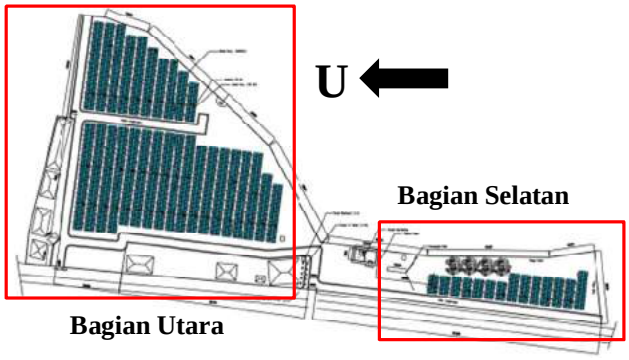
3) Bayangan: Ketika tertutup oleh bayangan, sambungan P-N di dalam sel surya berhenti memproduksi energi dan menjadi beban pasif. Sel ini berperilaku seperti sebuah diode yang memblok arus yang diproduksi oleh sel-sel lainnya yang terhubung seri, sehingga membahayakan produksi modul. Selain itu juga dapat menyebabkan panas berlebih dan kerusakan pada modul.

4) Inklinasi dan Orientasi Panel Surya: Efisiensi terbesar panel surya tercapai jika sudut datang sinar matahari selalu 90º. Sesungguhnya datangnya sinar matahari bervariasi menurut garis lintang serta deklinasi matahari sepanjang tahun. Karena kemiringan sumbu rotasi bumi sekitar 23,45º terhadap bidang orbit bumi terhadap matahari, tempat terbit dan terbenamnya mathari selalu bervariasi setiap harinya. Matahari berada di posisi sudut 90º terhadap permukan bumi yaitu pada garis khatulistiwa.

C. PLTS Kayubihi

PLTS Kayubihi berdiri diatas lahan total seluas kurang lebih 18.450 m^2, dimana sekitar 8.700 m^2 bidang lahannya digunakan untuk modul surya/*array* sebagai penghasil tenaga listrik. Secara astronomis PLTS Kayubihi terletak pada koordinat -8,35º lintang selatan (*latitude*) dan 115,36º bujur timur (*longitude*) dan pada ketinggian ±872 m dpl [15].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 3: Tampak atas PLTS Kayubihi [11] [15]

PLTS Kayubihi dengan daya nominal 1 MWp termasuk ke dalam PLTS skala besar [16]. Berdasarkan sistem pemasangannya, PLTS Kayubihi merupakan sistem PLTS terpusat (*centralized PV system*) yang terhubung ke jaringan listrik (*grid*) tanpa menggunakan baterai/sistem penyimpanan. PLTS Kayubihi menggunakan inverter dengan konfigurasi *string*. Inverter yang digunakan adalah inverter *grid-connected* SUNGROW SG20KTL dengan kapasitas 20 kW sebanyak 50 unit.



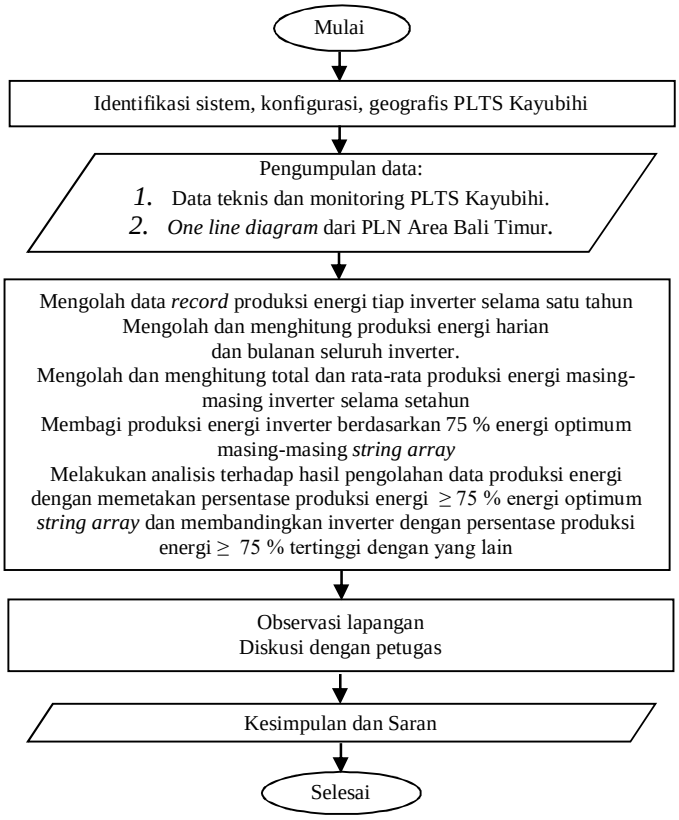
Gambar 4: *Grid-connected inverter* SG20KTL 20 kW

PLTS Kayubihi memiliki sistem monitoring yang berfungsi untuk menampilkan data dan informasi dari operasi sistem PLTS, yang sangat diperlukan untuk menganalisis unjuk kerja (*performance ratio*) dan jumlah energi yang diproduksi (harian, bulanan dan tahunan). Peralatan ini dipasang pada rumah monitoring dan digunakan untuk memantau operasi PLTS oleh operator.

Data yang diperoleh dari sistem monitoring berasal dari hubungan komunikasi komputer terhadap inverter dan peralatan stasiun cuaca atau disebut *environmental monitoring device* yang dipasang pada lokasi PLTS. Peralatan ini dilengkapi dengan sensor kecepatan angin, sensor arah angin, sensor radiasi matahari, sensor suhu lingkungan, sensor suhu modul surya dan kotak kontrol utama.

III. Metode Penelitian

Observasi awal PLTS Kayubihi untuk mengetahui sistem, konfigurasi, spesifikasi dan geografis lokasi penelitian. Mengumpulkan data *record* dari sistem monitoring PLTS Kayubihi berupa laporan harian unjuk kerja PLTS, kondisi lingkungan dan energi listrik yang dihasilkan selama satu tahun dengan interval waktu 15 menit. Mengolah data *record* produksi energi dari sistem monitoring PLTS Kayubihi untuk menghitung produksi energi harian dan bulanan seluruh inverter serta total dan rata-rata produksi energi masing-masing inverter. Data produksi energi juga diolah untuk mendapatkan produksi energi berdasarkan 75 % energi optimum masing-masing *string array*. Kemudian, melakukan analisis terhadap hasil pengolahan data produksi energi dengan memetakan letak inverter beserta persentase ≥ 75 % energi optimum *string array* serta membandingkan persentase produksi energi ≥ 75 % yang tertinggi dengan yang lain disertai observasi lapangan untuk memperkuat hasil analisis.



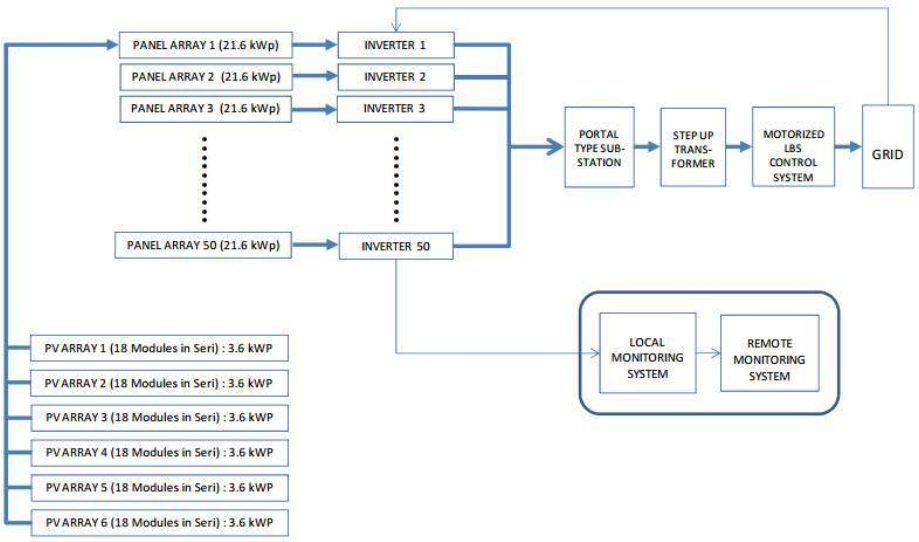
Gambar 5: *Flowchart* penelitian

IV. Hasil dan Pembahasan

A. *Spesifikasi Teknis PLTS Kayubihi*

Berdasarkan observasi yang dilakukan [11], [15], PLTS Kayubihi memiliki 278 *string array*, dimana setiap *array* terdiri dari 18 buah modul surya yang dirangkai secara seri dengan susunan 3 baris dan 6 kolom. Inverter berjumlah 50 unit dimana sebanyak 22 inverter terhubung dengan 5 *string array* (P_m STC = 17.839,8 W) dan 28 inverter terhubung dengan 6 *string array* (P_m STC = 21.407,76 W). Seluruh daya listrik yang dibangkitkan PLTS Kayubihi disalurkan ke Jaringan Tegangan Menengah (JTM) PLN 20 kV melalui 5 blok panel distribusi grup inverter dan 5 unit transformator *step-up*. Setiap transformator dihubungkan dengan satu grup inverter yang terdiri dari 10 unit *string* inverter. Sistem

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 6: Konfigurasi PLTS Kayubihi [11]

tegangan PLTS Kayubihi dibagi menjadi 3 sisi yaitu pada sisi pembangkitan/*array* tegangan nominal adalah 650 Vdc hingga maksimum 1.000 Vdc, kemudian dikonversikan menjadi tegangan bolak-balik oleh *string* inverter dengan nominal tegangan 230/400 Vac, selanjutnya tegangan ini dinaikkan melalui transformator *step up* menjadi tegangan nominal 20 kV, sesuai dengan tegangan nominal JTM PLN. Orientasi modul surya PLTS Kayubihi menghadap ke utara azimuth 0º, dengan kemiringan panel 15º dan menggunakan penyangga tipe tetap.

B. Produksi Energi Inverter PLTS Kayubihi

Analisis produksi energi inverter PLTS Kayubihi dilakukan dengan mengolah data *record* produksi energi seluruh inverter dari sistem monitoring PLTS Kayubihi. Hasil pengolahan data ditampilkan pada Tabel I (Lampiran) yaitu mengenai total produksi energi seluruh inverter selama satu tahun. Identitas inverter yang tercetak miring pada Tabel I menandakan inverter tersebut terhubung dengan 6 *string array*, sedangkan yang tercetak tegak terhubung dengan 5 *string array*.

Tabel I menunjukkan produksi energi inverter selama satu tahun. Total produksi energi tertinggi adalah inverter 44-E5 sebesar 17.827 kWh dan produksi energi terendah adalah inverter 8-D3 sebesar 8.898 kWh. Produksi energi inverter 44-E5 tertinggi, disebabkan oleh jumlah *array* yang terhubung sebanyak 6 *string array* sehingga produksi energi secara ideal lebih besar dibandingkan 5 *string array* serta didukung pula oleh letak modul atau *string array* yang cukup mendapat paparan sinar matahari. Inverter 1-D5 hingga 10-D1 (grup D) diketahui *empty record* sejak tanggal 13 Agustus 2014, sehingga bulan September hingga Desember tidak ada produksi energi.

Data *record* sistem monitoring juga diolah untuk mendapatkan rata-rata produksi energi harian seluruh inverter selama setahun dan ditampilkan pada Tabel II (Lampiran). Identitas inverter yang tercetak miring pada Tabel II menandakan inverter tersebut terhubung dengan 6 *string array*, sedangkan yang tercetak tegak terhubung dengan 5 *string array*.

Jika dilihat berdasarkan rata-rata produksi energi harian seperti yang ditunjukkan pada Tabel II, selama satu tahun rata-rata produksi energi inverter 44-E5 adalah yang tertinggi yaitu sebesar 72,47 kWh/hari, sedangkan rata-rata produksi energi inverter terendah adalah inverter 11-C5 sebesar 39,26 kWh/hari. Data tersebut menunjukkan bahwa *string array* yang terhubung dengan inverter 44-E5 konsisten mendapat paparan sinar matahari lebih tinggi dibanding yang lain serta didukung pula oleh jumlah *string array* yang lebih banyak (6 *string array*), sehingga produksi energi tahunan inverter 44-E5 juga menjadi yang tertinggi seperti ditunjukkan pada Tabel I.

Tabel I dan II menunjukkan bahwa total dan rata-rata produksi energi inverter 11-C5 adalah yang terendah diluar inverter grup D (inverter 1-D5 hingga 10-D1) yang *empty record*. Setelah dilakukan analisis berdasarkan data *record* produksi energi dari sistem monitoring, diketahui bahwa produksi energi inverter 11-C5 menurun sejak tanggal 22 Februari 2014 seperti yang ditunjukkan pada Tabel III.

TABEL III
PENURUNAN PRODUKSI ENERGI INVERTER 11-C5

Rata-rata Produksi Energi INV 11-C5	
< 22 Februari 2014	61,11 kWh/hari
≥ 22 Februari 2014	34,50 kWh/hari

Analisis lebih lanjut dilakukan terhadap inverter 11-C5 dari segi daya puncak. Diketahui bahwa berdasarkan data *record* daya puncak sistem monitoring, penurunan produksi energi disebabkan penurunan daya puncak DC seperti yang ditunjukkan pada Tabel IV, sehingga penurunan produksi energi disebabkan karena daya masukan yang menurun, bukan gangguan pada inverter. Penurunan daya masukan ini dapat disebabkan oleh kerusakan pada modul surya atau instalasi yang kurang baik.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

TABEL IV
PENURUNAN DAYA PUNCAK DC INVERTER 11-C5

Tanggal	Daya Puncak DC (kW)	Rata-rata (kW)
15-Feb-14	21,78	24,49
16-Feb-14	22,43	
17-Feb-14	25,62	
18-Feb-14	23,99	
19-Feb-14	20,50	
20-Feb-14	28,18	
21-Feb-14	28,96	
22-Feb-14	11,20	11,18
23-Feb-14	17,14	
24-Feb-14	13,22	
25-Feb-14	13,67	
26-Feb-14	7,96	
27-Feb-14	11,19	
28-Feb-14	3,87	

Kemudian dilakukan juga analisis dari segi efisiensi inverter 11-C5. Data yang diambil untuk mendapatkan efisiensi diperoleh dari "*running information records*" yang tersimpan dalam jangka waktu 30 hari di *data logger* inverter. Pengambilan data dilakukan 3 kali sehari selama 7 hari dan kemudian dihitung efisiensinya. Analisis ini dilakukan untuk melihat apakah inverter mengalami penurunan dari segi efisiensi sehingga jumlah energi yang dikonversi juga menurun. Setelah dilakukan analisis diketahui bahwa rata-rata efisiensi inverter 11-C5 adalah 97,98 % dan mendekati efisiensi spesifikasi teknis inverter SG20KTL sebesar 98 %. Hasil ini menunjukkan bahwa kemampuan inverter 11-C5 dalam mengkonversi daya DC menjadi AC masih mendekati standard yang ditentukan produsen.

TABEL V
EFISIENSI INVERTER 11-C5

Tanggal	Waktu	Pdc1 (W)	Pdc2 (W)	Pac (W)	Effisiensi (%)
16-Apr-16	09.00	2233	2171	4315	97,98
	12.00	5116	5115	10026	98,00
	15.00	216	216	423	97,92
17-Apr-16	09.00	2065	2003	3986	97,98
	12.00	4687	4684	9183	97,99
	15.00	753	754	1476	97,94
18-Apr-16	09.00	2269	2208	4387	97,99
	12.00	5220	5218	10229	98,00
	15.00	2044	1983	3946	97,99
19-Apr-16	09.00	2396	2334	4635	97,99
	12.00	4563	4560	8940	97,99
	15.00	1733	1736	3399	97,98
20-Apr-16	09.00	2351	2288	4546	98,00
	12.00	417	417	817	97,96
	15.00	355	355	695	97,89
21-Apr-16	09.00	1207	1208	2366	97,97
	12.00	2744	2742	5376	97,99
	15.00	3488	3486	6834	97,99
22-Apr-16	09.00	2280	2220	4409	97,98
	12.00	5080	5080	9956	97,99
	15.00	1472	1413	2827	97,99
Rata-rata (%)					**97,98**

Inverter tidak terhubung dengan *string array* yang sama (5 atau 6 *string array*), sehingga energi yang dihasilkan juga tidak sama. Maka dari itu dilakukan perhitungan untuk melihat bagaimana produksi energi masing-masing inverter berdasarkan jumlah *string array*. Perhitungan produksi energi dilakukan berdasarkan 75 % daya puncak dari 5 dan 6 *string array* dikali dengan *peak sun hours* PLTS Kayubihi. Referensi [15] menunjukkan bahwa *peak sun hours* di PLTS Kayubihi rata-rata sebesar 3,202 jam/hari. Sehingga perhitungan produksi energi berdasarkan 75 % energi optimum *string array* adalah sebagai berikut:

$P_{m\,STC}$ 5 *string array* = 17,8398 kW
Sehingga 75 % dari 17,8398 kW = 13,37985 kW
Maka, produksi energi dari 75 % daya puncak 5 *string array*:
13,37985 kW x 3,202 jam = 42,84 kWh

$P_{m\,STC}$ 6 *string array* = 21,40776 kW
Sehingga 75 % dari 21,40776 kW = 16,05582 kW
Maka, produksi energi dari 75 % daya puncak 6 *string array* :
16,05582 kW x 3,202 jam = 51,41 kWh

Hasil perhitungan diatas kemudian diaplikasikan ke dalam seluruh data *record* produksi energi inverter, sehingga diketahui apakah produksi energi ≥ 75 % dari energi optimum masing-masing *string array* atau tidak. Kemudian, untuk mengetahui berapa banyak produksi energi yang sudah ≥ 75 % dari energi optimum masing-masing *string array*, hasil tersebut dirata-ratakan selama satu tahun, sehingga dapat disusun Tabel VI dan VII.

TABEL VI
PERSENTASE PRODUKSI ENERGI INVERTER TAHUN 2014
BERDASARKAN 75 % ENERGI OPTIMUM 6 *STRING ARRAY*

Inverter	Persentase Produksi Energi < 51,41 kWh	Persentase Produksi Energi ≥ 51,41 kWh
INV 1-D5	40,46	59,54
INV 2-D6	23,92	76,08
INV 3-D7	23,08	76,92
INV 4-D8	29,32	70,68
INV 5-D9	30,32	69,68
INV 6-D10	31,99	68,01
INV 7-D4	30,32	69,68
INV 8-D3	57,10	42,90
INV 9-D2	30,75	69,25
INV 10-D1	19,37	80,63
INV 11-C5	82,12	17,88
INV 12-C4	23,07	76,93
INV 13-C2	22,66	77,34
INV 14-C1	20,07	79,93
INV 15-A10	23,27	76,73
INV 21-A4	24,65	75,35
INV 22-A3	20,76	79,24
INV 23-A2	27,19	72,81
INV 24-A1	27,71	72,29
INV 25-C7	34,42	65,58
INV 26-C6	21,92	78,08
INV 27-C3	28,81	71,19
INV 38-C8	31,25	68,75
INV 39-C9	21,69	78,31
INV 40-E1	23,72	76,28
INV 41-C10	21,01	78,99
INV 42-E4	20,49	79,51
INV 44-E5	20,34	79,66

Berdasarkan Tabel VI dapat dilihat bahwa inverter dengan 6 *string array* dalam satu tahun mampu menghasilkan energi ≥ 75 % dari energi optimum 6 *string array* atau ≥ 51,41 kWh. Produksi energi tertinggi adalah inverter 10-D1 yang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

menghasilkan energi ≥ 51,41 kWh rata-rata sebesar 80,63 % sedangkan yang terendah adalah inverter 11-C5 dengan rata-rata sebesar 17,88 % selama tahun 2014. Seperti sudah dijelaskan sebelumnya bahwa inverter 11-C5 sudah mengalami penurunan daya puncak dan produksi energi sejak 22 Februari 2014.

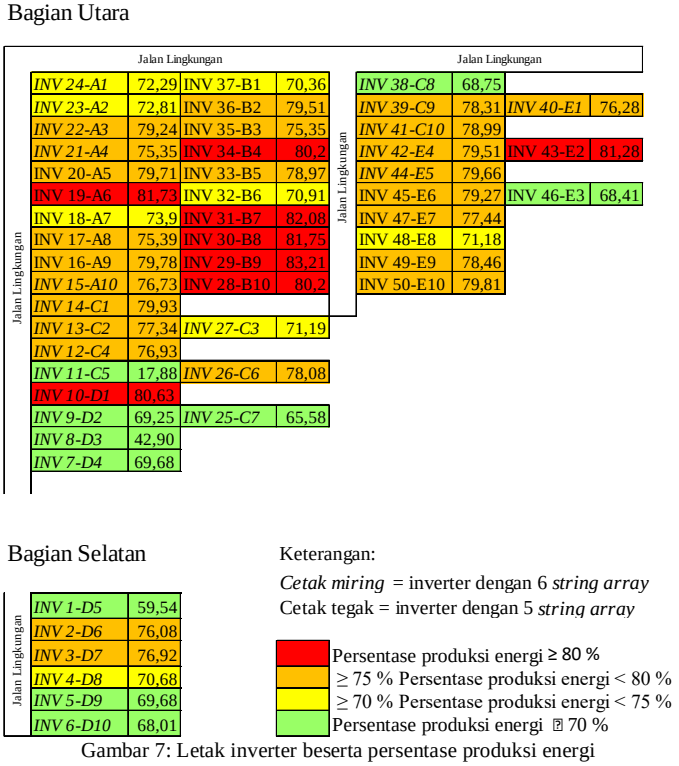
TABEL VII
PERSENTASE PRODUKSI ENERGI INVERTER TAHUN 2014
BERDASARKAN 75 % ENERGI OPTIMUM 5 *STRING ARRAY*

Inverter	Persentase Produksi Energi < 42,84 kWh	Persentase Produksi Energi ≥ 42,84 kWh
INV 16-A9	20,22	79,78
INV 17-A8	24,61	75,39
INV 18-A7	26,10	73,90
INV 19-A6	18,27	81,73
INV 20-A5	20,29	79,71
INV 28-B10	19,80	80,20
INV 29-B9	16,79	83,21
INV 30-B8	18,25	81,75
INV 31-B7	17,92	82,08
INV 32-B6	29,09	70,91
INV 33-B5	21,03	78,97
INV 34-B4	19,80	80,20
INV 35-B3	24,65	75,35
INV 36-B2	20,49	79,51
INV 37-B1	29,64	70,36
INV 43-E2	18,72	81,28
INV 45-E6	20,73	79,27
INV 46-E3	31,59	68,41
INV 47-E7	22,56	77,44
INV 48-E8	28,82	71,18
INV 49-E9	21,54	78,46
INV 50-E10	20,19	79,81

Kemudian, untuk Tabel VII menunjukkan inverter dengan 5 *string array* juga sudah mampu memproduksi energi ≥ 75 % dari energi optimum 5 *string array* atau ≥ 42,84 kWh. Persentase tertinggi adalah inverter 29-B9 sebesar 83,21 % sedangkan persentase terendah adalah inverter 46-E3 sebesar 68,41 %. Selisih produksi energi dapat diakibatkan oleh luasnya area modul surya di PLTS Kayubihi terutama di bagian utara karena inverter dengan 5 *string array* hanya terdapat di PLTS bagian utara. Untuk lebih jelasnya, dilakukan analisis dengan cara pemetaan inverter sesuai dengan jumlah *string array* yang terhubung serta letaknya di lapangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Gambar 7 menunjukkan dengan jelas bagaimana letak *string array* yang terhubung dengan inverter, sangat mempengaruhi produksi energi. Nilai yang ditunjukkan pada Gambar 7 sesuai dengan nilai pada Tabel VI dan VII. Nilai tersebut secara adil menunjukkan persentase produksi energi sesuai dengan 75 % energi optimum masing-masing *string array*, bukan berdasarkan jumlah produksi energi yang tentunya dapat berbeda karena *string array* yang terhubung juga tidak sama.

Dapat dilihat pada Gambar 7 bahwa PLTS Kayubihi bagian selatan, persentase produksi energi tertinggi adalah sebesar 76,92 % (persentase produksi energi yang berada ≥ 75 % energi optimum *string array*) yaitu inverter 3-D7, dan terus menurun hingga inverter 6-D10 yang terletak paling selatan. Inverter dengan persentase produksi energi paling rendah adalah inverter 1-D5 sebesar 59,54 %. Sedangkan pada PLTS Kayubihi bagian utara, persentase produksi energi tertinggi adalah inverter 29-B9 dimana sebanyak 83,21 % energinya berada ≥ 75 % dari energi optimum *string array*. Hal ini menarik karena *string array* inverter 29-B9 lebih sedikit dibandingkan inverter 1-D5 yang terhubung dengan 6 *string array*. Ini menunjukkan bahwa posisi *string array* yang terhubung dengan inverter 29-B9 lebih baik sehingga mendapat paparan sinar matahari yang lebih banyak dibandingkan dengan *string array* yang terhubung inverter 1-D5.



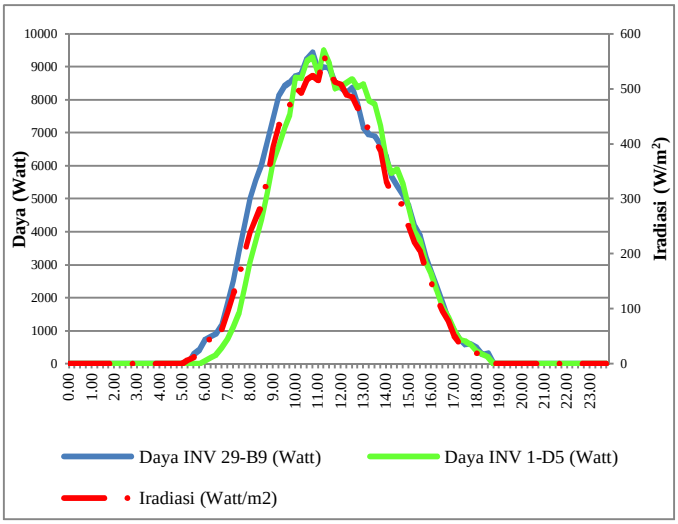
Gambar 7: Letak inverter beserta persentase produksi energi

Analisis kemudian dilakukan untuk melihat bagaimana daya harian inverter 29-B9 dan 1-D5 sehingga produksi energinya menjadi berbeda. Analisis dilakukan dengan melihat daya harian inverter 29-B9 sebagai inverter dengan persentase produksi energi ≥ 75 % tertinggi di bagian utara dan inverter 1-D5 sebagai inverter dengan persentase produksi energi ≥ 75 % terendah di bagian selatan. Daya harian yang ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 8 diperoleh dari rata-rata daya harian selama satu tahun dengan interval 15 menit sesuai data awal yang sudah diperoleh.

Gambar 8 menunjukkan bahwa daya harian inverter 29-B9 sebelum jam 12.00 lebih baik dibanding inverter 1-D5. Ini berarti bahwa di pagi hari posisi *string array* inverter 29-B9 lebih awal terpapar sinar matahari, ini juga berdampak pada produksi energi yang lebih besar. Walaupun pada pukul 12.00 hingga 14.00 dan pukul 14.15 hingga pukul 15.00 daya harian inverter 1-D5 diatas inverter 29-B9, namun tidak cukup mengurangi selisih yang terjadi pada pagi hari. Setelah pukul 15.00, daya harian kedua inverter cukup berhimpit atau hampir sama. Dengan demikian *string array* inverter 29-B9

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

lebih banyak mendapat paparan sinar matahari dibandingkan dengan *string array* di inverter 1-D5 terutama di pagi hari.



Gambar 8: Grafik daya harian inverter 29-B9 dan 1-D5

Kemudian dilakukan observasi di lapangan terkait dengan hasil analisis sebelumnya. Berdasarkan kondisi di lapangan pada saat penelitian dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10, PLTS Kayubihi bagian selatan areanya sempit, kemudian disebelah timur terdapat semak belukar serta pepohonan yang tinggi dan disebelah barat terdapat pohon perindang jalan sehingga dapat menyebabkan iradiasi kurang optimal karena tertutupi oleh bayangan pepohonan, dibandingkan dengan PLTS Kayubihi bagian utara. Mengingat bahwa Kabupaten Bangli memiliki iklim yang sejuk serta tanah yang subur sehingga tumbuhan dengan mudah tumbuh subur begitu pula di dalam area PLTS Kayubihi. Hal ini sesuai dengan hasil analisis pada Gambar 8, dimana daya harian inverter 1-D5 pada pagi hari lebih lambat terpapar sinar matahari karena di sebelah timur *string array* terdapat semak belukar dan pepohonan yang cukup tinggi sehingga menghalangi sinar matahari.



Gambar 9: Semak belukar dan pepohonan di sekitar PLTS Kayubihi bagian selatan



Gambar 10: Pohon perindang jalan di sisi barat bagian selatan

Pada PLTS Kayubihi bagian utara, persentase produksi energi lebih baik, disebabkan oleh area yang lebih luas dan lebih terbuka, sehingga iradiasi matahari lebih optimal terutama pada bagian tengah yang ditempati inverter 29-B9 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 serta hasil analisis pada Gambar 8. Namun, produksi energi inverter di bagian utara PLTS juga bervariasi, karena luasnya area sehingga suatu waktu beberapa bagian PLTS dapat tertutupi oleh awan.

Secara keseluruhan, produksi energi inverter di PLTS Kayubihi sudah ≥ 75 % dari energi optimum *string array* masing-masing. Ini menunjukkan bahwa modul surya di PLTS Kayubihi sudah mendapat paparan iradiasi matahari yang cukup untuk menghasilkan energi ≥ 75 % dari energi optimum *string array* masing-masing. Hanya saja PLTS Kayubihi bagian selatan perlu mendapat perhatian lebih karena *string array* tertutup oleh bayangan semak belukar dan pepohonan pada saat penelitian dilakukan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data *record* sistem monitoring dari segi produksi energi, serta observasi di lapangan, maka diperoleh hasil bahwa produksi energi tertinggi selama satu tahun adalah inverter 44-E5 sebesar 17.827 kWh dan terendah adalah inverter 8-D3 sebesar 8.898 kWh. Produksi energi rata-rata inveter tertinggi adalah inverter 44-E5 sebesar 72,47 kWh/hari dan terendah adalah inverter 11-C5 sebesar 39,26 kWh/hari.

Setelah dilakukan analisis berdasarkan daya puncak masing-masing *string array* serta *peak sun hours* di PLTS Kayubihi, seluruh inverter di PLTS Kayubihi menghasilkan rata-rata energi ≥ 75 % dari energi optimum masing-masing *string array*, yaitu ≥ 42,84 kWh untuk 5 *string array* dan ≥ 51,41 kWh untuk 6 *string array*. Inverter 29-B9 adalah inverter dengan persentase produksi energi ≥ 75 % energi optimum *string array* yang tertinggi sebesar 83,21 %.

Analisis yang telah dilakukan menunjukkan bahwa produksi energi inverter di PLTS Kayubihi dipengaruhi oleh letak modul surya yang terhubung dengan tiap-tiap inverter. Modul surya di bagian selatan PLTS persentase produksi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

energi tertingginya lebih rendah dibandingkan dengan persentase produksi energi tertinggi di bagian utara. Observasi di lapangan menunjukkan keadaan di sekitar modul surya yang berada di PLTS Kayubihi bagian selatan, terdapat semak belukar serta pepohonan di sisi sebelah timur dan terdapat pohon perindang jalan di sisi sebelah barat, sehingga modul surya dapat tertutupi oleh bayangan pepohonan disekitarnya.

REFERENSI

[1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025*. Jakarta: Kementerian ESDM. 2006.

[2] N. S. Kumara "Pembangkit listrik tenaga surya skala rumah tangga urban dan ketersediaannya di Indonesia". *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. Vol. 9 No. 1. 2010.

[3] L. M. Moore, and H. N. Post. "Five years of operating experience at a large, utility-scale photovoltaic generating plant". *Journal of Prog. Photovoltaic*. Volume 16 No. 3: 249-259. 2008.

[4] S. Yang, D. Xiang, A. Briant, P. Mawby, L. Ran and P. Tavner. "Condition monitoring for device reliability in power electronic converters: a review". *IEEE Transactions on Power Electronics*. Volume 25: 2734-2752. 2010.

[5] Z. J. Ma and S. Thomas. "Reliability and maintainability in photovoltaic inverter design". *IEEE Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*. 10.1109/RAMS.2011.5754523. 2011.

[6] K. Chumpolrat, V. Sangsuwan, N. Udomdachanut, S. Kittisontirak, S. Songtrai, P. Chinnavornrungsee, A. Limmanee, J. Sritharathikhun, and K. Sriprapha. "Effect of ambient temperature on performance of grid-connected inverter installed in Thailand". *International Journal of Photoenergy*. Vol 2014. 2014.

[7] R. Kaplar, R. Brock, S. DasGupta, M. Marinella, A. Starbuck, A. Fresquez, S. Gonzalez, J. Granata, M. Quintana, M. Smith and S. Atcitty. "PV inverter performance and reliability: What is the role of the IGBT?". *IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) 37* 1842 - 1847. 2011.

[8] J. D. Flicker, R. Kaplar, M. Marinella, and J. Granata. "PV inverter performance and reliability: What is the role of the bus capacitor?". *IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*. Volume 2: 1-3. 2012.

[9] I N. S. Kumara, M. Ashari, A. S. Sampeallo, A. A. G. A Pawitra, (In Press). "Simulated Energy Production and Performance Ratio of 5 MW Grid-connected Photovoltaic under Tropical Savannah Climate in Kupang Timor Island of Indonesia". *International Journal of Engineering and Technology Innovation*.

[10] BPS Bangli. *Statistik Daerah Kabupaten Bangli 2015*. Bangli: BPS Bangli. 2015.

[11] I N. S. Kumara, W.G. Ariastina, I W. Sukerayasa and I. A. D. Giriantari. "1 MWp grid connected PV systems in the Village of Kayubihi Bali; review on location's characteristics and its technical specifications". *International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE) 2013*. 10.1109/ICITEED.2013.6676258. 2013.

[12] (2011) Florida Solar Energy Center website. [Online] Available: http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/solar_electricity/basics/types_of_pv.htm.

[13] A. Miller and B. Lumby. *Utility Scale Solar Power Plants A Guide For Developers and Investors*. India: International Finance Corporation (IFC). 2012.

[14] ABB. *Technical Application Papers No. 10 Photovoltaic Plants*. Bergamo, Italy: ABB SACE. 2010.

[15] I K. A. Setiawan, I N. S. Kumara, and I W. Sukerayasa. "Analisa unjuk kerja pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) 1 MWp terinterkoneksi jaringan di Kayubihi Bangli". *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. Vol 13 No. 1. 2014.

[16] *Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems*, IEEE Std. 929-2000.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

LAMPIRAN

TABEL I
TOTAL PRODUKSI ENERGI MASING-MASING INVERTER

Inverter	SUM Energi (kWh)												Total Energi (kWh)
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	
INV 1-D5	1757	1080	1440	848	1743	1613	1261	663					10405
INV 2-D6	1934	1226	1662	943	1896	1848	1607	833					11949
INV 3-D7	1900	1203	1670	992	1887	1865	1618	881					12016
INV 4-D8	1796	1140	1612	947	1778	1731	1501	813					11318
INV 5-D9	1771	1123	1614	948	1726	1695	1468	781					11126
INV 6-D10	1761	1130	1596	921	1683	1654	1454	758					10957
INV 7-D4	1822	1181	1685	970	1785	1715	1477	814					11449
INV 8-D3	1418	1008	1257	922	1477	1342	1071	403					8898
INV 9-D2	1758	1147	1651	947	1754	1702	1472	811					11242
INV 10-D1	1970	1277	1794	1039	1926	1914	1691	908					12519
INV 11-C5	1886	993	854	493	918	906	792	545	876	821	77	498	9659
INV 12-C4	1926	1245	1774	1018	1890	1867	1634	1122	1814	1715	160	1004	17169
INV 13-C2	1933	1250	1767	1025	1894	1877	1654	1127	1796	1711	162	1012	17208
INV 14-C1	1963	1264	1787	1032	1914	1897	1675	1143	1839	1683	166	1059	17422
INV 15-A10	1917	1234	1763	1019	1889	1882	1655	1123	1791	1642	161	1018	17094
INV 16-A9	1599	1034	1465	848	1582	1584	1393	937	1487	1369	135	854	14287
INV 17-A8	1540	998	1426	826	1552	1540	1356	917	1474	1412	132	833	14006
INV 18-A7	1538	998	1427	820	1536	1521	1334	904	1460	1395	132	836	13901
INV 19-A6	1639	1065	1503	874	1616	1617	1432	971	1549	1477	139	890	14772
INV 20-A5	1592	1034	1480	855	1574	1546	1350	930	1522	1447	135	860	14325
INV 21-A4	1897	1224	1758	1013	1898	1870	1630	1111	1782	1631	160	1015	16989
INV 22-A3	1922	1241	1772	1024	1886	1862	1638	1122	1801	1644	162	1039	17113
INV 23-A2	1885	1215	1738	1000	1865	1841	1605	1088	1719	1562	156	992	16666
INV 24-A1	1865	1207	1730	999	1843	1828	1599	1081	1718	1554	153	984	16561
INV 25-C7	1962	1256	1754	1009	1866	1758	1445	961	1701	1590	144	821	16267
INV 26-C6	1994	1283	1813	1048	1956	1892	1568	1020	1865	1727	168	1014	17348
INV 27-C3	1867	1210	1741	1003	1876	1831	1598	1095	1775	1662	158	968	16784
INV 28-B10	1643	1065	1505	867	1614	1605	1405	957	1561	1429	140	868	14659
INV 29-B9	1675	1083	1517	875	1641	1643	1440	965	1570	1483	142	913	14947
INV 30-B8	1655	1071	1515	876	1625	1633	1440	956	1586	1516	140	851	14864
INV 31-B7	1673	1084	1526	885	1654	1646	1447	989	1602	1462	141	887	14996
INV 32-B6	1500	979	1408	812	1519	1487	1282	884	1477	1347	126	779	13600
INV 33-B5	1606	1042	1490	857	1557	1518	1346	933	1570	1433	136	861	14349
INV 34-B4	1645	1068	1510	875	1632	1587	1401	959	1566	1420	140	887	14690
INV 35-B3	1562	1018	1461	843	1570	1547	1360	933	1517	1374	132	836	14153
INV 36-B2	1608	1046	1486	856	1588	1571	1367	920	1533	1394	135	855	14359
INV 37-B1	1516	991	1433	820	1500	1461	1258	857	1450	1320	126	778	13510
INV 38-C8	1865	1222	1775	1010	1755	1665	1430	977	1843	1672	156	963	16333
INV 39-C9	1933	1269	1807	1041	1912	1815	1561	1078	1882	1714	165	1036	17213
INV 40-E1	1969	1263	1753	1005	1814	1743	1547	1086	1850	1690	162	1035	16917
INV 41-C10	1932	1250	1792	1031	1942	1910	1624	1088	1880	1717	163	1034	17363
INV 42-E4	1943	1261	1793	1031	1940	1902	1680	1143	1895	1724	166	1038	17516
INV 43-E2	1644	1079	1504	876	1613	1611	1431	980	1604	1452	139	881	14814
INV 44-E5	2009	1301	1834	1055	1978	1904	1636	1129	1943	1778	172	1088	17827
INV 45-E6	1663	1080	1528	881	1619	1593	1332	901	1617	1483	134	858	14689
INV 46-E3	1555	1011	1350	754	1397	1469	1293	882	1507	1373	126	801	13518
INV 47-E7	1642	1062	1498	881	1630	1585	1412	964	1590	1423	131	839	14657
INV 48-E8	1587	1010	1336	775	1466	1479	1265	854	1486	1380	133	836	13607
INV 49-E9	1696	1097	1502	849	1494	1462	1281	862	1603	1480	145	914	14385
INV 50-E10	1641	1063	1480	855	1578	1564	1362	932	1559	1417	136	846	14433

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

TABEL II
RATA-RATA PRODUKSI ENERGI MASING-MASING INVERTER

Inverter	Rata-rata Produksi Energi Harian (kWh)												Rata-rata Setahun (kWh)*
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	
INV 1-D5	56,68	54,00	72,00	56,53	75,78	53,77	40,68	55,25					57,17
INV 2-D6	62,39	61,30	83,10	62,87	82,43	61,60	51,84	69,42					65,65
INV 3-D7	61,29	60,15	83,50	66,13	82,04	62,17	52,19	73,42					66,02
INV 4-D8	57,94	57,00	80,60	63,13	77,30	57,70	48,42	67,75					62,19
INV 5-D9	57,13	56,15	80,70	63,20	75,04	56,50	47,35	65,08					61,13
INV 6-D10	56,81	56,50	79,80	61,40	73,17	55,13	46,90	63,17					60,20
INV 7-D4	58,77	59,05	84,25	64,67	77,61	57,17	47,65	67,83					62,91
INV 8-D3	45,74	50,40	62,85	61,47	64,22	44,73	34,55	33,58					48,89
INV 9-D2	56,71	57,35	82,55	63,13	76,26	56,73	47,48	67,58					61,77
INV 10-D1	63,55	63,85	89,70	69,27	83,74	63,80	54,55	75,67					68,79
INV 11-C5	60,84	49,65	42,70	32,87	39,91	30,20	25,55	34,06	48,67	45,61	25,67	23,71	39,26
INV 12-C4	62,13	62,25	88,70	67,87	82,17	62,23	52,71	70,13	100,78	95,28	53,33	47,81	69,79
INV 13-C2	62,35	62,50	88,35	68,33	82,35	62,57	53,35	70,44	99,78	95,06	54,00	48,19	69,95
INV 14-C1	63,32	63,20	89,35	68,80	83,22	63,23	54,03	71,44	102,17	93,50	55,33	50,43	70,82
INV 15-A10	61,84	61,70	88,15	67,93	82,13	62,73	53,39	70,19	99,50	91,22	53,67	48,48	69,49
INV 16-A9	51,58	51,70	73,25	56,53	68,78	52,80	44,94	58,56	82,61	76,06	45,00	40,67	58,08
INV 17-A8	49,68	49,90	71,30	55,07	67,48	51,33	43,74	57,31	81,89	78,44	44,00	39,67	56,93
INV 18-A7	49,61	49,90	71,35	54,67	66,78	50,70	43,03	56,50	81,11	77,50	44,00	39,81	56,51
INV 19-A6	52,87	53,25	75,15	58,27	70,26	53,90	46,19	60,69	86,06	82,06	46,33	42,38	60,05
INV 20-A5	51,35	51,70	74,00	57,00	68,43	51,53	43,55	58,13	84,56	80,39	45,00	40,95	58,23
INV 21-A4	61,19	61,20	87,90	67,53	82,52	62,33	52,58	69,44	99,00	90,61	53,33	48,33	69,06
INV 22-A3	62,00	62,05	88,60	68,27	82,00	62,07	52,84	70,13	100,06	91,33	54,00	49,48	69,57
INV 23-A2	60,81	60,75	86,90	66,67	81,09	61,37	51,77	68,00	95,50	86,78	52,00	47,24	67,75
INV 24-A1	60,16	60,35	86,50	66,60	80,13	60,93	51,58	67,56	95,44	86,33	51,00	46,86	67,32
INV 25-C7	63,29	62,80	87,70	67,27	81,13	58,60	46,61	60,06	94,50	88,33	48,00	39,10	66,13
INV 26-C6	64,32	64,15	90,65	69,87	85,04	63,07	50,58	63,75	103,61	95,94	56,00	48,29	70,52
INV 27-C3	60,23	60,50	87,05	66,87	81,57	61,03	51,55	68,44	98,61	92,33	52,67	46,10	68,23
INV 28-B10	53,00	53,25	75,25	57,80	70,17	53,50	45,32	59,81	86,72	79,39	46,67	41,33	59,59
INV 29-B9	54,03	54,15	75,85	58,33	71,35	54,77	46,45	60,31	87,22	82,39	47,33	43,48	60,76
INV 30-B8	53,39	53,55	75,75	58,40	70,65	54,43	46,45	59,75	88,11	84,22	46,67	40,52	60,42
INV 31-B7	53,97	54,20	76,30	59,00	71,91	54,87	46,68	61,81	89,00	81,22	47,00	42,24	60,96
INV 32-B6	48,39	48,95	70,40	54,13	66,04	49,57	41,35	55,25	82,06	74,83	42,00	37,10	55,28
INV 33-B5	51,81	52,10	74,50	57,13	67,70	50,60	43,42	58,31	87,22	79,61	45,33	41,00	58,33
INV 34-B4	53,06	53,40	75,50	58,33	70,96	52,90	45,19	59,94	87,00	78,89	46,67	42,24	59,72
INV 35-B3	50,39	50,90	73,05	56,20	68,26	51,57	43,87	58,31	84,28	76,33	44,00	39,81	57,53
INV 36-B2	51,87	52,30	74,30	57,07	69,04	52,37	44,10	57,50	85,17	77,44	45,00	40,71	58,37
INV 37-B1	48,90	49,55	71,65	54,67	65,22	48,70	40,58	53,56	80,56	73,33	42,00	37,05	54,92
INV 38-C8	60,16	61,10	88,75	67,33	76,30	55,50	46,13	61,06	102,39	92,89	52,00	45,86	66,39
INV 39-C9	62,35	63,45	90,35	69,40	83,13	60,50	50,35	67,38	104,56	95,22	55,00	49,33	69,97
INV 40-E1	63,52	63,15	87,65	67,00	78,87	58,10	49,90	67,88	102,78	93,89	54,00	49,29	68,77
INV 41-C10	62,32	62,50	89,60	68,73	84,43	63,67	52,39	68,00	104,44	95,39	54,33	49,24	70,58
INV 42-E4	62,68	63,05	89,65	68,73	84,35	63,40	54,19	71,44	105,28	95,78	55,33	49,43	71,20
INV 43-E2	53,03	53,95	75,20	58,40	70,13	53,70	46,16	61,25	89,11	80,67	46,33	41,95	60,22
INV 44-E5	64,81	65,05	91,70	70,33	86,00	63,47	52,77	70,56	107,94	98,78	57,33	51,81	72,47
INV 45-E6	53,65	54,00	76,40	58,73	70,39	53,10	42,97	56,31	89,83	82,39	44,67	40,86	59,71
INV 46-E3	50,16	50,55	67,50	50,27	60,74	48,97	41,71	55,13	83,72	76,28	42,00	38,14	54,95
INV 47-E7	52,97	53,10	74,90	58,73	70,87	52,83	45,55	60,25	88,33	79,06	43,67	39,95	59,58
INV 48-E8	51,19	50,50	66,80	51,67	63,74	49,30	40,81	53,38	82,56	76,67	44,33	39,81	55,31
INV 49-E9	54,71	54,85	75,10	56,60	64,96	48,73	41,32	53,88	89,06	82,22	48,33	43,52	58,48
INV 50-E10	52,94	53,15	74,00	57,00	68,61	52,13	43,94	58,25	86,61	78,72	45,33	40,29	58,67

*** Rata-rata produksi energi harian selama setahun, diperoleh dengan merata-ratakan produksi energi inverter bersangkutan setiap hari selama satu tahun**

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dharmakarya: Jurnal Aplikasi Ipteks untuk Masyarakat
ISSN 1410 - 5675
Vol. 8, No. 3, September 2019: 140 - 144

APLIKASI TEKNOLOGI TEPAT GUNA MELALUI PEMANFAATAN ENERGI TERBARUKAN UNTUK PENERANGAN DAN PENGEMBANGAN WISATA WATU TEKEK KULONPROGO

Evrita Lusiana Utari[1], Latifah Listyalina[1], dan Novi Irawati[2]
[1]Universitas Respati Yogyakarta,
[2]Sekolah Tinggi Pariwisata Ambarrukmo
E-mail: evrita_lusiana@yahoo.com

ABSTRAK. Pemerintah daerah Kulonprogo memberdayakan potensi alam sebagai modal pembangunan dan pengembangan daerah. potensi wisata merupakan salah satu faktor pendukung dalam peningkatan lapangan pekerjaan, peningkatan pendapatan, dan perkembangan usaha kecil. Wilayah yang memiliki potensi wisata yang cukup besar salah satunya adalah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Salah satu wilayah yang memiliki potensi wisata, yaitu wisata Watu Tekek di daerah Kabupaten Kulonprogo. Permasalahan yang timbul adanya keterbatasan energi listrik dalam memenuhi kebutuhan energi dikawasan wisata Watu Tekek dikarenakan lokasi wisata yang cukup curam dan medan yang terjal, belum adanya penataan dan pengembangan kawasan wisata Watu Tekek dan masih terbatasnya amenitas/fasilitas pendukung dan sarana prasarana dikawasan wisata Watu Tekek. Dengan program kemitraan masyarakat (PKM) dana hibah dari Kemenristekdikti memberikan solusi dari permasalahan tersebut dengan memenuhi kebutuhan energi listrik dengan menggunakan tenaga matahari berupa lampu penerangan, lampu hias, dan air mancur. Sedangkan untuk penambahan fasilitas pariwisata berupa penambahan gazebo, kursi taman , penambahan ornament tanah liat dan penataan taman. Metode kegiatan yang dilakukan dengan melaksanakan diskusi dan observasi, sosialisasi dan penyuluhan, melaksanakan pelatihan, perancangan alat dan pemasangan alat. Hasil luaran dari kegiatan ini berupa produk teknologi tepat guna berupa lampu bertenaga solar panel, produk gerabah, kursi, dan gazebo untuk penambahan fasilitas pedukung, dan memberikan informasi kepada masyarakat luas melalui media massa.

Kata kunci: Solar Panel; Teknologi Tepat Guna; Watu Tekek

APPLICATION OF TECHNOLOGY IS APPROPRIATE THROUGH THE USE OF RENEWABLE ENERGY FOR LIGHTING AND DEVELOPMENT OF TOURISM WATU TEKEK KULONPROGO

ABSTRAK. *The local government of Kulonprogo empowers the potential of nature as regional development and development capital. tourism potential is one of the supporting factors in increasing employment, increasing income, and developing small businesses. The region that has considerable tourism potential, one of which is the Special Province of Yogyakarta. One of the regions that has tourism potential, namely Watu Tekek tourism in the Kulonprogo Regency area. Problems arising from the limitations of electrical energy in meeting the energy needs of Watu Tekek tourism area due to quite steep tourist sites and steep terrain, the absence of structuring and development of Watu Tekek tourist area and limited facilities / supporting facilities and infrastructure in the tourist area of Watu Tekek. With the community partnership program (PKM), grant funds from the Ministry of Research, Technology and Higher Education provide solutions to these problems by meeting the energy needs of electricity using solar energy in the form of lighting, decorative lights and fountains. As for the addition of tourism facilities in the form of adding gazebos, garden chairs, addition of clay ornament and garden arrangement. Methods of activities carried out by carrying out discussions and observations, socialization and counseling, conducting training, designing tools and installing tools. The output of this activity is in the form of appropriate technology products in the form of solar-powered lamps, earthenware products, chairs, and gazebos for the addition of supporting facilities, and providing information to the general public through mass media.*

Key words: *Appropriate Technology; Solar Cell; Watu Tekek;*

PENDAHULUAN

Kebijakan otonomi menuntut pemerintah daerah untuk memberdayakan potensi alam sebagai modal pembangunan. Potensi wisata dari lingkup kota, kabupaten, hingga yang terkecil yaitu desa, mulai dipasarkan demi meningkatkan lapangan kerja, meningkatkan pendapatan, serta mendukung perkembangan usaha kecil di daerah masing-masing. Wilayah yang memiliki potensi wisata yang cukup besar salah satunya adalah Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Salah satu wilayah yang memiliki potensi wisata yaitu wilayah Desa Sidoharjo yang memiliki luas area 1.350 hektar dengan luasan tersebut Desa Sidoharjo terbagi atas 18 Pedukuhan yang masing-masing dipimpin oleh seorang dukuh. Lokasi Watu Tekek berada di wilayah administratif Kabupaten Kulonprogo yang berjarak ± 40 km dari pusat kota. (Artikel, Masbei). Wilayah Desa Sidoharjo memiliki obyek Wisata yaitu wisata Watu Tekek ini menyuguhkan pemandangan hijau dan asri. Seperti halnya wisata kalibiru yang juga berada di Perbukitan Menoreh ini, Watu Tekek juga menyajikan suasana yang menyejukkan dan menenteramkan. Di kawasan ini masih banyak terdapat perkebunan teh dan juga perkebunan kopi. Hal inilah yang menjadikan usaha masyarakat setempat.

Dikawasan Watu Tekek memiliki beberapa usaha dan produksi yaitu Kopi Menoreh dan Jam Kayu. Dimana usaha ini sudah *go international* dan telah dikenal dimasyarakat luas. Obyek wisata Watu Tekek memiliki tingkat perekonomian yang produktif hal ini ditunjukkan adanya produk kopi menorah dan jam kayu. Namun ada satu obyek wisata yang juga menjadi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

tumpuan perekonomonian yaitu Wisata Watu Tekek yang masih kekurangan fasilitas. Fasilitas umum yang belum memadai yaitu penerangan ditempat Wisata Watu Tekek memunculkan gagasan untuk memberikan aplikasi teknologi tepat guna melalui pemanfaatan potensi energi terbarukan sebagai penerangan dan pengembangan kawasan wisata Watu Tekek. Produk yang dihasilkan dari pemanfaatan energi matahari tersebut nantinya, dapat digunakan untuk penerangan, guna menambah daya Tarik wisata di kawasan wisata Watu Tekek dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta dan Lokasi Watu Tekek

Di Kawasan Wisata Watu Tekek terdapat UMKM yang berperan dalam mengkoordinasikan berbagai kegiatan pengembangan wisata yang dikenal dengan nama Kelompok Tani Hutan Gunung Bujel Asri. Kelompok Tani tersebut di ketua oleh Bapak Mashuri. Kelompok Tani Hutan ini bergerak dibidang pariwisata dengan pemberdayaan Wisata Hutan didaerah Watu Tekek Samigaluh, Kulon Progo. Kekuatan identitas kawasan di wilayah Sidoharjo itulah yang menjadi dasar atau landasan dalam memperkuat fasilitas yang sangat dibutuhkan masyarakat di daerah tersebut. Adapun energi yang dibutuhkan menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS ini adalah metode yang relatif baru dalam pembangkitan energi listrik dengan memanfaatkan energi matahari. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai pembangkit listrik diarahkan agar dapat dimanfaatkan oleh para pemakai yang tidak dijangkau oleh PLN [1][4] (Timotus dkk, 2009). Dengan produk teknologi ini dapat diterapkan di tempat wisata Watu Desa Sidoharjo yang listriknya masih kurang agar dapat menambah daya tarik wisatawan yang berkunjung pada malam hari. Sehingga dapat menambah pendapatan warga disekitar tempat wisata tersebut. PLTS juga sangat mudah dalam instalasinya, sehingga mitra akan dapat memelihara peralatan ini dengan mudah. Dalam pemanfaatan energi alternatif pengganti listrik yang pernah dilaksanakan di Dusun Nglinggo untuk memenuhi kebutuhan penerangan jalan didaerah wisata Kebun Teh. Sistem PLTS terdiri dari panel surya, rangkaian pengatur pengisian, penyimpan energi listrik, inverter, pengkabelan serta konektor, dan perlengkapan mekanis lainnya [6] (Utari dkk, 2017). Perkembangan teknologi dari tiap-tiap komponen ini telah mampu menghasilkan sistem PLTS yang ekonomis dan handal. Industri nasional sudah mampu memproduksi hampir semua subsistem dari PLTS kecuali panel surya [2] (Kumara, 2010). Hal ini juga akan memacu perkembangan industri PLTS di Indonesia. Dalam aplikasi pada perencanaan system penerangan jalan umum dan taman di areal kampus USU dengan menggunakan teknologi tenaga surya yang di aplikasikan di area pendopo dan lapangan parkir [3] (Sihombing dkk, 2013). Dalam Analisa Strategi Pengelolaan Taman Nasional Gede Pangrango (TNGP) Untuk Pengembangan Pariwisata Alam Di Kawasan Hutan oleh Epi Syahadat. Ada beberapa aspek yang harus diperhatikan dalam pengembangan pariwisata alam, yaitu : pariwisata nasional, perencanaan kawasan, pengelolaan lingkungan, sosial ekonomi dan budaya, penataan ruang serta peraturan perundangan. Adapun strategi pengembangan Obyek dan Daya Tarik Wisata Alam meliputi pengembangan : aspek perencanaan pembangunan, aspek kelembagaan, aspek sarana dan prasarana, aspek pengelolaan, aspek pengusahaan, aspek pemasaran, aspek peran serta masyarakat dan penelitian dan pengembangan. Menurut Sylva lestari yang mengambil penelitian terakit pengembangan ekosistem di hutan lindung resgister 25 pematang tanggang kabupaten Tanggamus menggunakan Metode yang digunakan adalah obervasi, wawancara serta dokumentasi. Pengambilan data lapangan dilakukan pada Bulan Desember 2015 dengan mencatat lokasi potensi wisata menggunakan GPS, pengambilan dokumen objek-objek lansekap yang dipandang menarik kemudian diujicobakan kepada kalangan masyarakat yaitu masyarakat di lokasi penelitian dan wisatawan yang berkunjung ke Pantai Pahawang, dokumentasi serta wawancara.

Permasalahan Mitra

Berdasarkan analisis situasi tersebut muncul permasalahan bahwa masyarakat daerah wisata Watu Tekek, Kecamatan Samigaluh Kabupaten Kulon Progo Yogyakarta memiliki beberapa permasalahan yaitu:

1. Adanya keterbatasan energi listrik dalam memenuhi kebutuhan energi di Desa Sidoharjo utamanya

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dikawasan Wisata Watu Tekek. Hal ini terlihat dari beberapa wilayah tersebut masih belum ada aliran listrik dari PLN. Aliran listrik yang belum memadai dikarenakan lokasi wisata yang cukup curam dan medan yang terjal. Kondisi geografis inilah yang menjadikan permasalahan tersebut muncul.

2. Belum adanya penataan dan pengembangan Kawasan Wisata Watu Tekek.
3. Adanya keterbatasan amenitas/fasilitas pendukung dan sarana prasarana dikawasan wisata Watu Tekek.
4. Kurang pemahaman terkait dengan pemanfaatan energi baru dan terbarukan di wisata Watu Tekek, Desa Sidoharjo, Kecamatan Samigaluh, Kabupaten Kulon Progo.
5. Belum adanya produk dari energi baru dan terbarukan di wilayah Watu Tekek.

Solusi Permasalahan Mitra

Berdasarkan analisis situasi tersebut muncul permasalahan bahwa masyarakat daerah wisata Watu Tekek, Kecamatan Samigaluh Kabupaten Kulonprogo Yogyakarta memiliki beberapa permasalahan yang akan di berikan solusinya, yaitu:

1. Adanya keterbatasan energi listrik dalam memenuhi kebutuhan energi di Desa Sidoharjo utamanya dikawasan Wisata Watu Tekek. Hal ini terlihat dari beberapa wilayah tersebut masih belum ada aliran listrik dari PLN. Aliran listrik yang belum memadai dikarenakan lokasi wisata yang cukup curam dan medan yang terjal. Kondisi geografis inilah yang menjadikan permasalahan tersebut muncul. Oleh karena itu diperlukan energi lain selain listrik untuk memenuhi keterbatasan energi listrik tersebut. Dengan potensi energi baru melalui sinar matahari inilah dapat menjadikan sumber energi alternatif sebagai penerangan di tempat wisata tersebut. Luaran berupa Produk TTG, Video Kegiatan, Publikasi Artikel ilmiah dan media masa.
2. Belum adanya penataan dan pengembangan Kawasan wisata Watu Tekek. Sehingga perlu adanya penataan kembali agar dapat menambah daya Tarik wisatawan. Luaran berupa peningkatan pengetahuan masyarakat, video kegiatan, produk, publikasi artikel ilmiah dan media masa.
3. Adanya keterbatasan amenitas/ fasilitas pendukung dan sarana prasrana di kawasan wisata Watu Tekek. Oleh karena itu perlu adanya tambahan fasilitas pendukung wista agar dapat menambah wisatawan untuk ber-kunjung. Luaran kegiatan berupa produk, video kegiat-an, publikasi ilmiah dan media masa.
4. Belum adanya produk energi baru dan terbarukan di wilayah Watu Tekek. Oleh karena itu perlu adanya produk yang memanfaatkan aplikasi teknologi tepat guna menggunakan energi terbarukan. Aplikasi ini nantinya akan diterapkan untuk penerangan didaerah wisataWatu Tekek yang masih belum terjangkau listrik. Faktor penerangan inilah yang menjadi skala prioritas didaerah wisata tersebut. Luaran berupa produk, video kegiatan dan publikasi artikel ilmiah dan media masa.

METODE

Metode Diskusi dan Observasi. Kegiatan PKM ini diawali proses pelaksanaan perijinan dimulai awal pengajuan proposal yang dilaksanakan pada bulan juli 2018. Proses ini dilakukan dengan melakukan komunikasi dengan Bapak Camat di Kecamatan Samigaluh. Dari informasi yang diperoleh dari Bapak Camat bahwa di daerah kecamatan Samigaluh masih ada tempat yang belum terjangkau oleh listrik yaitu di Desa Sidoharjo dikarenakan lokasi yang sangat sulit dan medan yang cukup terjal. Dari informasi inilah tim memohon ijin kepada Bapak Camat untuk melaksanakan program kemitraan masyarakat tahun 2019. Dari Bapak camat memberikan ijin kepada tim pelaksana untuk dapat melaksanakan program kemitraan masyarakat dengan menerjunkan tim pendamping dilapangan untuk dapat peninjauan langsung lokasi.

Metode Sosialisasi dan Penyuluhan. Memberikan sosialisasi kegiatan program kemitraan masyarakat (PKM). Sosialisasi kegiatan PKM dilaksanakan di Desa Sidoharjo Samigaluh Kulonprogo.Sosialisasi kegiatan ini menjelaskan tentang tahapan-tahapan kegiatan yang akan dilaksanakan di Desa Sidoharjo. Memberikan penyuluhan terkait dengan pemanfaaan teknologi tepat guna untuk penerangan dengan menggunakan energi matahari sebagai salah satu alternatif untuk penerangan di wisata Watu Tekek Samigaluh Kulon Progo dan Pengembangan kawasan wisata di Wisata Watu Tekek.

Metode Pelatihan. Kegiatan pelatihan merupakan kegiatan lanjutan yang dilakukan oleh pelaksana PKM ter-hadap kegiatan ceramah dan diskusi yang telah dilakukan. Kegiatan pelatihan ini meliputi pelatihan melakukan pengenalan peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam perancangan produk. Dan pelatihan pengembangan dan perawatan Kawasan wisata.

Metode Perancangan Produk. Metode perancangan produk ini meliputi proses penyiapan bahan, perakitan alat, pengeboran alat, pengecoran tiang hingga pemasangan alat

Metode Publikasi dan Capain Luaran Kegiatan. Metode publikasi dalam bentuk jurnal ilmiah, publikasi media massa. Sedangkan untuk capaian luaran kegiatan selain publikasi juga ada video kegiatan, pemberdayaan masyarakat sekitar, teknologi tepat guna dan HAKI.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan diskusi dan observasi mendapatkan informasi terkait dengan keadaan wisata Watu Tekek baik dari penerangan maupun fasilitas pendukung wisata yang masih terbatas.

Pada proses sosialisasi dan penyuluhan yang dilakukan terkait dengan ke utuhan energi listrik yang akan digantikan dengan energi terbarukan ini

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mendapatkan antusias dari warga Watu Tekek. Hasil dari penyuluhan ini masyarakat dapat menerima kegiatan pengabdian yang akan dilakukan. Dan proses pemberdayaan masyarakat dilakukan dengan cara keikutsertaan masyarakat dalam kegiatan pengabdian masyarakat. Hasil dari kegiatan pelatihan masyarakat dapat melakukan perakitan dan pemasangan alat. Terutama dalam pemeliharaan alat setelah produk diberikan kepada masyarakat.



Gambar 2. Modul Pelatihan

Hail dari perancangan produk berupa produk penerangan yang terdiri dari Box Panel, *Solar Charge Controler*, Aki, Lampu dan produk Solar Panel untuk air mancur. Produk ini merupakan aplikasi teknologi tepat guna untuk penerangan dan air mancur dengan memanfaatkan energi matahari Sedangkan untuk penambahan amenitas atau pendukung fasilitas wisata berupa dari gerabah, kursi dan gazebo.



Gambar 3. Proses Perancangan Produk

Hasil dari publikasi ini berupa jurnal ilmiah, media massa yang telah terbit baik Cetak Jawa Pos-Radar Jogja Terbit Senin 22 Juli 2019 dan Harian Kedaulatan Rakyat Terbit Minggu, 21 Juli 2019 serta Media Online https://radarjogja.co/2019/07/22/solar-panel-untuk-watu-tekek/. Untuk video kegiatan telah di upload di youtube, sedangkan pemberdayaan masyarakat berupa pembuatan Produk Gazebo dan Kursi Cor. Selain itu juga adanya penerapan teknologi tepat guna berupa produk dan HAKI berupa Hak Cipta Modul Pelatihan Perancangan dan Pemeliharaan Solar Cell.

SIMPULAN

Keterbatasan energi listrik dalam memenuhi kebutuhan energi di Desa Sidoharjo utamanya dikawasan Wisata Watu Tekek. Hal ini terlihat dari beberapa wilayah tersebut masih belum ada aliran listrik dari PLN. Aliran listrik yang belum memadai dikarenakan lokasi wisata yang cukup curam dan medan yang terjal. Kondisi geografis inilah yang menjadikan permasalahan tersebut muncul. Oleh karena itu diperlukan energi lain selain listrik untuk memenuhi keterbatasan energi listrik tersebut. Dengan potensi energi baru melalui sinar matahari inilah dapat menjadikan sumber energi alternatif sebagai penerangan di tempat wisata tersebut; Penataan kembali kawasan wisata dengan melakukan pengembangan dan penambahan fasilitas pendukung berupa pembetulan gazebo, penambahan kursi, penambahan tanaman hias agar dapat menambah daya Tarik wisatawan; Produk energi baru dan terbarukan di wilayah Watu Tekek dimanfaatkan dengan menerapkan aplikasi teknologi tepat guna menggunakan energi terbarukan. Aplikasi ini diterapkan pada penerangan didaerah wisata Watu Tekek, pada lampu hias, pada motor DC sebagai penggerak air mancur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Kemenristekdikti yang telah memberikan dana hibah pengabdian masyarakat skim PKM ini, PPPM UNRIYO yang telah memfasilitasi pelaksananan pengabdian masyarakat, kepada Camat Samigaluh, Kepala Desa Sidoharjo, seluruh warga masyarakat Tim Watu Tekek yang telah membantu terlaksananya PKM beserta Tim pengabdian masyarakat Prodi Teknik Elektro UNRIYO.

DAFTAR PUSTAKA

Sihombing D.T.B, Kasim S.T 2013. Perencanaan Sistem Penerangan Jalan Umum dan Taman di Areal Kampus USU dengan Menggunakan Teknologi Tenaga Surya (Aplikasi di Areal Pendopo dan Lapangan Parkir Vol 3 No 3, SINGUDA ELSIKOM.

Timotus C, Ratnata W.I, Mulyadi Y, Mulyana E,2009. Perancangan dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Laporan Hibah Penelitian Kompetitif, Bandung.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Bachtiar M, 2006. Prosedur Perancangan Pembangkit listrik Tenaga Surya Untuk Perumahan (Solar Home System), Jurnal Smartek.

Kumara N, 2010. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Urban dan Ketersediaannya di Indonesia, Jurnal Teknik Elektro. Universitas Udayana Bali

Utari, EL, 2018. Pemanfaatan Energi Surya sebagai Energi Alternatif Pengganti Listrik untuk memenuhi Kebutuhan Penerangan Jalan di Dusun Nglinggo Kelurahan Pagerharjo Kecamatan Samigaluh Kabupaten Kulon Progo, Jurnal Dharma Bakti, Yogyakarta.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Audit Sistem Pencahayaan dan Sistem Pendingin Ruangan di Gedung Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Cilegon

Suhendar[1], Ervan Efendi[2], Herudin[3]
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia
[3]h3ru3rl1@yahoo.co.id

Abstrak *– Semakin meningkatnya penggunaan energi, sejalan dengan berkembangnya perekonimian dan industri, maka sangat perlu dilakukan penghematan energi listrik dari sisi pemakaian. Faktor yang melatarbelakangi penelitian ini adalah terjadinya kenaikan total pemakaian konsumsi energi dari tahun 2010-2012 yaitu sebesar pada tahun 2010 sebesar 1.095.142 kWh pertahun, tahun 2011 sebesar 1.426.199 kwh pertahun, dan ditahun 2012 sebesar 1.650.398 kWh Pertahun. Pada sistem pencahayaan yang ada di rumah sakit masih ada yang dibawah standar yaitu sebesar 101,65 lux pada ruangan instalasi gizi (dapur) dengan standar SNI yaitu sebesar 300 lux, sedangkan suhu dan kelembaban masih melebihi standar yaitu SNI sebesar 30,5°C dengan kelembaban sebesar 69%. Tahapan yang dilakukan adalah melakukan audit awal dengan menghitung Intensitas Konsumsi Energi (IKE). Besar IKE RSUD Cilegon tahun 2012 yaitu sebesar101,62 kWh/m pertahun" . IKE perbulan tahun 2012 rata-rata sebesar 8,13" kWh/" "m" ^"2" " perbulan" dimana IKE tersebut masih sesuai standar, Walaupun IKE tersebut masih sesuai standar tetapi hasil pengukuran tidak sesuai standar Sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan mengganti lampu jenis LED dan pada AC mengganti refrigerant yaitu R-22 menjadi musicool M-22 atau dengan mengganti jenis AC menjadi AC Inverter. Penghematan konsumsi energi listrik setelah perbaikan pencahyaan yaitu sebesar 64,07%. Penghematan konsumsi energi listrik pada pendingin ruangan dengan pergantian freon Musicool sebesar 41,26%. Penghematan konsumsi energi listrik setelah pergantian jenis AC Inverter yaitu sebesar 19,6%. Prediksi biaya investasi pergantian lampu LED yaitu Rp. 346.139.311, dengan lama waktu pengembalian yaitu 3 tahun 2 bulan, investasi pergantian musicool yaitu Rp. 86.700.000 dengan lama waktu pengembalian 4 bulan, dan investasi pergantian inverter yaitu Rp. 875.450.000 dengan lama waktu pengembalian 7 tahun 9 bulan.*

Kata kunci : *Energi terbarukan, PLTS, PLTD, PLTH*

Abstract *– The increased use of energy , in line with the development perekonimian and industry , it is necessary to save electricity usage terms . Factors underlying this study is the increase of the total consumption of energy consumption in 2010-2012 amounting in 2010 amounted to 1,095,142 kWh per year , the year 2011 was 1,426,199 kWh per year , and in 2012 amounted to 1,650,398 kWh Annually . In the existing lighting system at the hospital there were sub-standard in the amount of 101.65 lux at room nutrition installation (kitchen) with the ISO standard that is equal to 300 lux , while the temperature and humidity are still exceeds the ISO standard is 30.5 ° C with humidity of 69% . Steps being taken is to conduct an initial audit by calculating the intensity of energy consumption (IKE) . Great IKE Hospital Cilegon in 2012 that is equal to " 101.62 kWh /m^ 2 year " . IKE 2012 monthly average of 8.13 " kWh / " " m " ^2 per monthwhich is still compliant IKE , IKE Although the standard is still appropriate but the measurement is not standardized so you will need to be improved by replacing LED type lights and the air conditioning refrigerant that is replacing R - 22 to M -22 Musicool or by changing the type of AC to AC Inverter . Saving electrical energy consumption after repair of lighting that is equal to 64.07 % . Saving electrical energy consumption on air conditioning with freon replacement Musicool of 41.26 % . Saving electrical energy consumption after the turn of the AC Inverter type that is equal to 19.6 % . Prediction LED lamp replacement investment costs Rp . 346 139 311 , with a long payback period is 3 years and 2 months , the turn Musicool investment of Rp . 86.7 million with a payback period of 4 months old , and inverter replacement investment of Rp . 875.45 million with a long payback period of 7 years 9 months .*

Keywords : *IKE , saving , LED , AC*

I. PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya penggunaan energi, sejalan dengan berkembangnya perekonimian dan industri, maka disadari juga pentingnya penghematan energi pada sisi pemakaian. Hal ini tertuang dalan instruksi presiden (INPRES) No. 13 tahun 2011 tertanggal 11 Agustus 2011, yang dikeluarkan oleh pemerintah Republik Indonesia, tentang penghematan energi dan air. Terutama ditunjukan terhadap pencahayaan gedung, Air

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Conditioning (AC), dan perlengkapan kantor yang menggunakan listrik.[1]

Rumah sakit merupakan salah satu gedung atau bangunan yang mengkonsumsi energi cukup besar. Semakin besar atau tinggi konstruksi gedung rumah sakit tersebut, maka energi yang digunakan untuk operasional gedung akan semakin besar.

II. LANDASAN TEORI

A. Pengertian Audit Energi

Audit energi adalah suatu analisis terhadap konsumsi energi dalam sebuah sistem yang menggunakan energi, seperti gedung bertingkat, pabrik dan sebagainya. Hasil dari audit energi adalah laporan tentang bagian yang mengalami pemborosan energi. Umumnya bentuk energi yang di audit adalah energi listrik.

Macam-macam Audit Energi

1. *Walking audit*

Walking audit ini sering disebut dengan mini audit. Umumnya fokus dari audit ini adalah pada bidang perawatan dan penghematan yang tidak terlalu memerlukan biaya investasi yang besar.

2. *Prelimentary audit*

Audit yang hanya dilakukan pada bagian vital saja. Audit ini meliputi identifikasi mesin, analisa kondisi aktual, menghitung konsumsi energi, menghitung pemborosan energi dan beberapa usulan.

3. *Detailed audit*

Audit energi yang dilakukan secara menyeluruh terhadap seluruh aspek yang mengkonsumsi energi listrik beserta semua kemungkinan penghematan yang dapat dilakukan. Biasanya dilakukan oleh lembaga *auditor* yang *professional* dalam jangka waktu tertentu.

4. *Energy management plan and implementation action*

Audit energi yang dilakukan adalah suatu alat dalam menejemen energi, pada dasarnya audit ini sama dengan detailed audit, akan tetapi audit ini dilakukan secara berkesinambungan, dalam jangka waktu yang cukup lama.

Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan besarnya pemakaian energi dalam bangunan gedung dan telah diterapkan di berbagai Negara (ASEAN-APEC), dinyatakan dalam satuan kWh/m^2 pertahun.[4]

Sebagai target besarnya Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik untuk indonesia, menggunakan hasil penelitian yang dilakukan oleh ASEAN_USAID pada tahun 1987 yang laporannya dikeluarlan pada tahun 1992, dengan target (IKE) listrik untuk **Indonesia** adalah seperti tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 1. Standar IKE Listrik pada Bangunan Gedung di Indonesia tahun 1992.

No	Jenis Gedung	IKE (kWh/m^2 pertahun)
1	Perkantoran (Komersial)	240
2	Pusat Perbelanjaan	330
3	Hotel dan apartemen	300
4	Rumah Sakit	380

Tabel 2. Standar IKE Listrik Perbulan berdasarkan Ruangan ber-AC.

No	Kriteria	Ruangan ber AC (kWh/m²/bulan
1	Sangat efisien	< 8,5
2	Efisien	8,5 - <14
3	Cukup efisien	14 - <18,5
4	Boros	≥18,5

Dimana rumus mencari besarnya Intensitas Konsumsi Energi (IKE), yaitu:

$$IKE = \frac{kWh\ total}{(\text{Luas Lantai})} \quad (1)$$

3. Tingkat Pencahayaan

Tingkat pencahayaan merupakan besarnya cahaya yang dibutuhkan untuk menerangi suatu ruangan. Parameter ini dinyatakan dalam satuan *lux*. Alat untuk mengukur tingkat pencahayaan adalah *Luxmeter*. dibawah ini adalah tabel indeks pencahayaan menurut jenis ruangan atau unit di Rumah Sakit berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 6197:2011) tentang konservasi energi pada sistem pencahayaan.[11]

Tabel 2.2 Standar Tingkat Pencahayaan menurut Ruangan atau Unit

No	Ruangan atau unit	Tingkat Pencahayaan (LUX)
1	Ruang Rawat Inap	250
2	Ruang operasi, Ruang Bersalin	300
4	Ruang tunggu	200
5	Laboratorium	500
6	Ruang Reaksi dan Rehabilitasi	250
7	Koridor	Minimal 100
8	Ruang Kantor Staff	350
9	Kamar Mandi	200

A. Intensitas Pencahayaan

Intensitas pencahayaan harus ditentukan di mana pekerjaannya akan dilakukan. Bidang kerja umumnya diambil 80 cm di atas lantai. Bidang kerja ini mungkin sebuah meja, bangku kerja atau suatu bidang horizontal khayalan 80 cm di atas lantai.[6]

Intensitas penerangan E dinyatakan dalam satuan Lux, sama dengan jumlah lm/m². Jadi flux cahaya yang diperlukan untuk suatu bidang kerja seluas A m² ialah:

$$\emptyset = E \times A \quad \text{lumen} \quad (2)$$

Keterangan:

$\emptyset$ = Flux Cahaya (lumen)

E = Intensitas Pencahayaan (Lux)

A = Luas Bidang Kerja (m²)

Untuk mengetahui berapa jumlah lampu yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{E \times A}{\emptyset lampu \times \eta \times d} \quad (3)$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Keterangan:
n = Jumlah lampu.
E = Intensitas Penerangan (Lux).
A = Luas Bidang Kerja (m²).
$\emptyset lampu$ = Flux Cahaya (lumen).
η = efisiensi atau rendemen.
d= faktor depresiasi

B. Sistem Pendingin Ruangan

Prinsip utama dari suatu sistem pendingin ruangan adalah kenyamanan dari pemakai bangunan tidak hanya terhadap temperature saja, namun kenyamanan penghuni bangunan.

Berikut ini merupakan tabel 2.3 standar suhu, kelembaban dan tekanan udara menurut fungsi ruangan atau unit berdasarkan Badan Standarisasi Nasional: SNI 6390:2011 tentang konservasi energi sistem tata udara bangunan gedung.

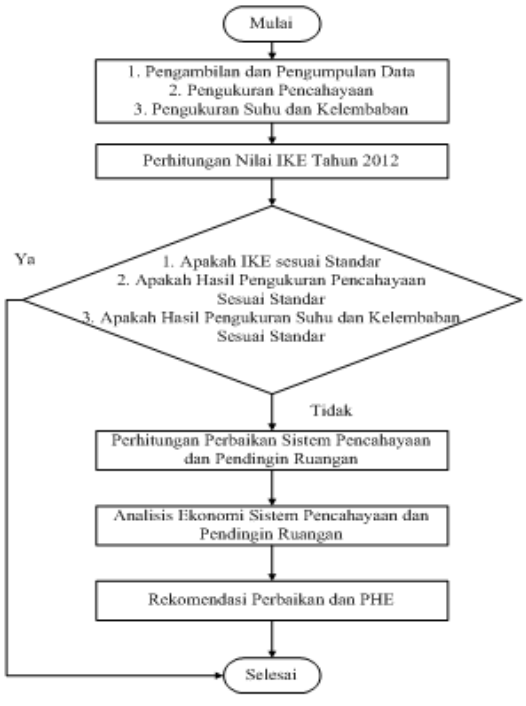
Tabel 2.3 Standar Suhu dan Kelembaban Menurut Ruangan atau Unit

No	Ruangan atau Unit	Suhu (°C)	Kelembaban /RH (%)
1	Ruang Kerja	24-27	60
2	Lobi , Koridor	27-30	60
3	Ruang Perawatan,Operasi	24-27	60

Untuk mencapai suhu yang diinginkan dalam ruangan maka dibutuhkan pendingin ruangan atau *air conditioning* (AC). Audit sistem pendingin ruangan ini bertujuan untuk mengetahui kondisi suhu dan kelembaban dalam suatu ruangan dan mengetahui efisiensi penggunaan peralatan pendingin ruangan

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan dalam menyelesaikan skripsi ini dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini



Tabel 3.1 Data Tingkat Hunian

No	BULAN	*Bed Occupancy Rate* 2011 (%)	*Bed Occupancy Rate* 2012 (%)
1	Januari	73,82	73,21
2	Februari	78,39	83,48
3	Maret	76,82	85,27
4	April	79,59	71
5	Mei	75,19	77,49
6	Juni	76,6	72,25
7	Juli	80,9	73,76
8	Agustus	67,85	67,8
9	September	63,18	81,58
10	Oktober	68,35	67,73
11	November	74,53	68,49
12	Desember	80,42	63,45
Total		895,64	885,51
Rata-rata		75	73,94

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada audit awal ini kita perlu menghitung IKE Listrik di Rumah Sakit Umum Derah (RSUD) cilegon, untuk menentukan apakah perlu audit rinci atau tidak. Dimana untuk menghitung IKE memerlukan data-data yang sudah didapat pada sub bab 4.1, dan rumus yang digunakan dapat dilihat persamaan 2.1

IKE tahun 2012

$$IKE\ Listrik\ Tahun\ 2012 = \frac{1.650.398\ kWh}{16240\ m^2}$$
$$= 101{,}62 \frac{kWh}{m^2} pertahun$$

Untuk nilai IKE perbulan yaitu:

$$IKE\ Januari\ 2012 = \frac{kWh\ Januari\ 2012}{Luas\ Lantai}$$
$$IKE\ Januari\ 2012 = \frac{134.412\ kWh}{16240\ m^2}$$
$$= 8{,}28 \frac{kWh}{m^2} Perbulan$$

Dari hasil perhitungan IKE tahun 2012 jika disamakan dengan standar nilai IKE untuk Gedung Rumah Sakit yaitu 380 kWh/m² pertahun, maka IKE RSUD Cilegon masih sangat efisien sehingga tidak perlu audit energi rinci lagi. Walaupun tidak melakukan audit rinci , tetapi masih ada hasil pengukura pencahyaan dan pendingin ruangan yang tidak sesuai standar SNI.

Untuk Mengetahui penghematan atau pemborosan yang terjadi bisa dilihat pada tabel dibawah ini.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 4.1 Penghematan tahun 2012

Base Line 6 Bulan Terakhir			Pengamatan Tahun Berjalan				Penghematan Listrik (%)	Penghematan Biaya Listrik Listrik (%)
Bulan	Pemakaian Listrik (kWh)	Biaya Listrik (Rp)	Periode Laporan	Bulan	Pemakaian Listrik (kWh)	Biaya Listrik (Rp)		
Jan-12	134.412	101.481.100	Ke-1 Dilaporkan Bulan Oktober 2012	Jul-12	149.503	112.874.524	12	12
Feb-12	130.949	98.866.608		Agust-12	166.589	125.774.822		
Mar-12	125.791	97.992.552		Sep-12	126.552	95.546.876		
Apr-12	143.226	108.135.431		Rata-Rata	147.548	111.398.741		
Mei-12	131.853	99.548.740	Ke-2 Dilaporkan Bulan Januari 2013	Okt-12	163.931	123.767.300	5	5
Jun-12	122.098	92.183.829		Nop-12	85.556	64.595.026		
Rata-Rata	132.055	99.701.377		Des-12	165.938	125.282.883		
				Rata-Rata	138.475	104.548.603		

Dilihat dari Tabel 4.1 dimana pda kolom penghematanya terjadi pemborosan karena tidak ada tanda minus di tabel. Maka dari itu penulis merekomendasikan perbaikan khususnya pada sistem pencahayaan dan pendingin ruangan, karena paling sering digunakan setiap harinya.

Perbaikan Sistem Pencahayaan

Karna pengukuran masih ada yang tidak sesuai standar target SNI, maka perlu dilakukan perbaikan .

Sebelum melakukan perbaikan terlebih dahulu menentukan jenis lampu yang dibutuhkan, dimana rekomendasinya yaitu mengganti lampu TL 36 watt dengan lampu LED Tube 20 watt, TL 18 watt dengan Tube 12 Watt, CFL 20 watt diganti dengan LED 10 watt, lampu TL Bulat 22 watt dengan LED Tube 10 watt, selanjutnya menentukan jumlah lampu yang dibutuhkan. Dimana untuk menentukan jumlah lampu dengan menggunakan persamaan (2.3). sebagai contoh pada ruangan Hemodialisa:

A) Lampu awal TL 36 watt diganti Jenis Lampu LED Tube 20 watt:

Data:
E= 100 Lux (yang dibutuhkan sesuai standar)
A=335 m²
$\emptyset lampu$ = 2600 lumen (data produk lampu)
η = 1 (dianggap 1 karena tabel efisiensi pada lampu tidak ada)
d = 0,8 (tingkat pengotoran)

$$n = \frac{100 \times 335}{2600 \times 1 \times 0{,}8} = 16{,}10 \approx 16\ unit$$

B) Lampu awal CFL 20 Watt diganti dengan jenis lampu LED 10 Watt:

Data:
E= 100 Lux (yang dibutuhkan sesuai standar)
A=15 m²
$\emptyset lampu$ = 1100 lumen (data produk lampu)
η = 1 (dianggap 1 karena tabel efisiensi pada lampu tidak ada)
d = 0,8 (tingkat pengotoran)

$$n = \frac{100 \times 15}{1100 \times 1 \times 0{,}8} = 1{,}7 \approx 2\ unit$$

Jadi Lampu yang di butuhkan di Ruangan Hemodialisa yaitu lampu LED Tube 20 watt sebanyak 16 unit, dan lampu LED (berbentuk bohlam) 10 watt sebanyak 2 Unit.

Setelah mengetahui jumlah lampu yang dibutuhkan, lalu menghitung pemakaian konsumsi energi listrik pada pencahayaan setelah pergantian lampu LED

Sebagai contoh pada ruangan Hemodialisa:

A) Menggunakan lampu LED Tube 20 Watt dengan jumlah 16 Unit lampu dan nyala lampu 12 jam dalam sehari, maka perhitungannya adalah:

$Konsumsi\ Energi\ Listrik\ (KEL) satu\ hari\ = 20 \times 16 \times 12 = 3{,}84\ kWH\ perhari$

$Konsumsi\ Energi\ Listrik\ (KEL) satu\ Tahun\ = 3{,}84 \times 365\ hari = 1.401{,}6\ kWH\ pertahun$

$Biaya\ satu\ tahun = 1.401{,}6 \times 755\ =$ Rp. 1.058.208 pertahun

Menggunakan lampu LED 10 Watt dengan jumlah 2 Unit lampu dan nyala lampu 8 jam dalam sehari, maka perhitungannya adalah:

$Konsumsi\ Energi\ Listrik\ (KEL) Satu\ Hari = 10 \times 2 \times 8 = 0{,}16\ kWH\ perhari$

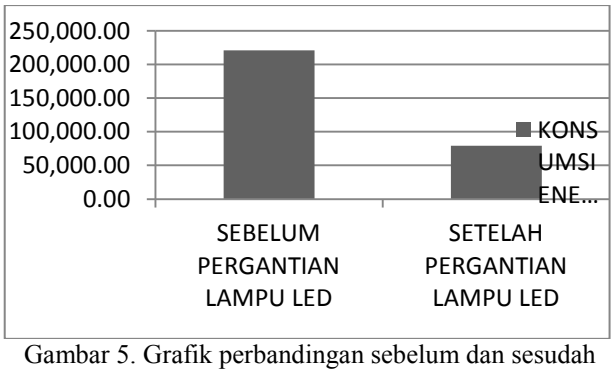
$Konsumsi\ Energi\ Listrik\ (KEL) satu\ Tahun\ = 0{,}16 \times 365\ hari = 58{,}4\ kWH\ pertahun$

$Biaya\ satu\ tahun = 58{,}4 \times 755$
$= Rp.\ 44.092$ pertahun

Setelah mengetahui jumlah konsumsi energi listrik dan biaya tagihan selama satu tahun maka bisa dibandingkan jumlah pemakaian konsumsi energi listrik sebelum perbaikan dengan sesudah perbaikan. Dimana perbandingan sebelum dan sesudah pergantian lampu LED dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. Perbandingan Total Konsumsi Energi Listrik dan Biaya yang Dikeluarkan pada Sistem Pencahayaan dalam setahun

Sebelum Pergantian Lampu		**Setelah Pergantian Lampu**	
Total Konsumsi Energi Listrik Pertahun (kWh)	**Biaya pertahun (Rupiah)**	**Total Konsumsi Energi Listrik Pertahun (kWh)**	**Biaya pertahun (Rupiah)**
221.142,04	166.962.243	79.459,026	59.991.558



Gambar 5. Grafik perbandingan sebelum dan sesudah pergantian Lampu LED.

Dari tabel 4.2 diatas terlihat bahwa setelah dilakukan pergantian dari lampu TL dan CFL menjadi lampu LED pertahun atau hemat sebesar 64,07%.

Selanjutnya menghitung biaya investasi pergantian lampu. Dilakukan untuk mengetahui seberapa besar investasi yang dikeluarkan untuk perbaikan atau

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pergantian lampu LED. Dimana harga lampu jenis led di pasaran dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini

Tabel 4.3 Harga lampu LED dan ongkos pemasangan

Dari Tabel diatas, maka bisa dihitung berapa total biaya investasi pergantian lampu LED yang dikeluarkan. Cara menghitung biaya investasi yaitu jumlah lampu yang dibutuhkan dikalikan dengan harga per-unit lampu. Sebagai contoh pada ruangan hemodialisa:

Ruangan Hemodialisa membutuhkan lampu LED tube 20 Watt sebanyak 16 unit, sedangkan lampu LED 10 watt sebanyak 2 unit, maka perhitungan biaya investasi:

$$Biaya\ Investasi\ LED\ Tube\ 20\ Watt = 16 \times (Rp.300.000 + Rp.20.000) = Rp.\ 5.120.000,-$$

$$Biaya\ Investasi\ LED\ 10\ Watt = 2 \times (Rp.144.000 + Rp.20.000) = Rp.\ 328.000,-$$

Jumlah biaya investasi yang dikeluarkan pada sistem pencahyaan dengan mengganti lampu LED yaitu sebesar Rp. 404.473.097,-.

Dari biaya investasi yang sudah dikeluarkan maka dapat diprediksikan *payback period* (PBP) atau lama waktu pengembalian investasi pada Sistem pencahayaan atau pergantian lampu, dimana persamaan untuk PBP yaitu:

$$PBP = \frac{Rp.404.473.097}{(Rp.192.456.115 - Rp.69.585.332)} = 3{,}3\ (3\ \text{Tahun}\ 3\ \text{Bulan})$$

jadi masa pengmbalian biaya investasi untuk sistem pencahayaan yaitu selama 3 tahun 3 bulan.

1.1 Perbaikan Sistem Pendingin Ruangan.

Dalam melakukan perbaikan sistem pendingin ruangan harus mengtahui dahulu apakah suhu yang ada dalam ruangan masih ada yang diatas standar atau bisa dikatakan melebihi standar SNI. Jika masih ada, maka dilakukan perbaikan dengan mengganti jenis *refrigerant* R22 menjadi *musicool* M22.

Menghitung konsumsi energi listrik dan menghitung biaya tagihan yang dikeluarkan untuk pergantian *refrigerator* pada AC.

Dimana daya yang dihasilkan setelah melakukan pergantian *musicool* M22 pada AC dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.4 Daya AC pergantian *musicool* M22

Jenis AC	Daya (kW)
AC Window 0,5 pk	0,21
AC splite 0,5 pk	0,25
AC Splite 0,75 pk	0,35
AC Splite 1 PK	0,55
AC Splite 1,5 PK	0,79
AC Splite 2 PK	1,09
AC Flor standing 3 PK	0,9
AC Flor standing 5 PK	1,16
AC Cassete 5 PK	1,04
AC Central 10 PK	5,97

Total konsumsi energi listrik pada sistem pendingin ruangan selama satu tahun dan biaya tagihan yang dikeluarkan setelah pergantian *refrigerant musicool* M22 yaitu. 441.251,6 kWh pertahun, Biaya konsumsi enrgi listrik pada sistem pendingin ruangan (AC) dalam setahun yaitu sebesar Rp. 333.144.923 pertahun.

Perbandingan sebelum dan sesudah pergantian *musicool* yaitu dapat dilihat pada tabel 4.5 dibawah ini:

Tabel 4.5 perbandingan sebelum dan sesudah pergantian *musicool* M22

Sebelum Pergantian *musicool* M22		**Setelah Pergantian *musicool* M22**	
Total Konsumsi Energi Listrik Pertahun (kWh)	**Biaya pertahun (Rupiah)**	**Total Konsumsi Energi Listrik Pertahun (kWh)**	**Biaya pertahun (Rupiah)**
747.143,07	564.093.032	438.843,8	331.327.133

Tabel diatas terlihat bahwa setelah dilakukan pergantian dari AC *Refrigerant* R22 diganti dengan *Musicool* M22 total konsumsi sebelum perubahan sebesar 747.143,07 kWh pertahun menjadi 438.843,8 kWh pertahun atau hemat sebesar 41,26 %.

Selanjutnya menghitung biaya investasi pergantian *refrigerant musicool* M22 dimana total investasinya sebesar Rp.89.850.000,- dan total tabung yang digunakan sebanyak 999 kg.

Dari biaya investasi yang sudah dikeluarkan maka dapat diprediksikan *payback period* (PBP) atau lama waktu pengembalian investasi pada Sistem pendingin ruangan, dimana persamaan untuk PBP yaitu

$$PBP = \frac{Rp.86.700.000}{(Rp.\ 564.093.032 - Rp.331.327.133)} = 0{,}37\ (4\ \text{Bulan})$$

Dari perhitungan diatas terlihat bahwa PBP pada sistem pendingin ruangan yang menggunakan pergantian *refrigeran musicool* M-22 yaitu selama 4 bulan. Perbaikan jika mengganti jenis AC menjadi Inverter.

Selain perbaikan dengan mengganti *refrigerant* standar menjadi *musicool*, cara lain untuk menghemat energi listrik dari sistem pendingin ruangan adalah dengan mengganti jenis AC yaitu mengganti AC standar dengan AC inverter.

Untuk pergantian jenis AC inverter ini sebeagai contoh perhitungan yaitu ruangan hemodialisa. AC splite Inverter 1pk dengan daya 730 watt dengan jumlah AC 4 unit dan waktu pemakaian pada ruangan hemodialisa adalah 12 jam perhari maka konsumsi energi listriknya:

$$\text{Konsumsi Energi Listrik perhari} = 730 \times 4 \times 12 = 35040\ \text{Wh} \approx 35{,}040\ \text{kWh perhari}$$

$$\text{Konsumsi Energi Listrik pertahun} = 35{,}040 \times 365 = 12.789{,}6\ \text{kWh pertahun}$$

$$\text{Biaya Energi Listrik pertahun} = 12.789{,}6 \times 755 = \text{Rp.}\ 9.656{,}148\ \text{pertahun}$$

Perbandingan sebelum dan sesudah pergantian *AC Inverter* yaitu dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Sebelum Pergantian *AC Inverter*		Setelah Pergantian *AC Inverter*	
Total Konsumsi Energi Listrik Pertahun (kWh)	**Biaya pertahun (Rupiah)**	**Total Konsumsi Energi Listrik Pertahun (kWh)**	**Biaya pertahun (Rupiah)**
747.143,07	564.093.032	600.258	453.194.818

Pada Tabel diatas terlihat perbandingan antara AC *spilte* standar R-22 dengan AC *splie* Inverter M-410A dan selisih Total Konsumsi Energi Listrik selama satu Tahun yaitu 148.361,065 kWh Pertahun atau Hemat sebesar 19,6 %.

Total Biaya investasi pada pergantian AC Inverter yaitu sebesar Rp.875.450.000 Dari biaya investasi yang sudah dikeluarkan maka dapat diprediksikan *payback period* (PBP) atau lama waktu pengembalian investasi pada Sistem pendingin dengan mengganti AC Inverter , dimana persamaan untuk PBP yaitu:

$$PBP = \frac{Rp.875.450.000}{(Rp.564.093.032 - Rp.453.194.818)}$$
$$= 7{,}9 \text{ (7 Tahun 9 Bulan)}$$

Dari perhitungan diatas terlihat bahwa PBP pada sistem pendingin ruangan yang menggunakan pergantian jenis AC inverter yaitu selama 7 tahun 9 bulan.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Perhitungan dan analisa yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan dari audit sistem pencahayaan dan pendingin ruangan pada gedung Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Cilegon, antara lain:

1. Besar Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pertahun 2012 pada gedung RSUD Cilegon yaitu 101,62 kWh/m^2 pertahun, masih dibawah standar penelitian yang dilakukan oleh ASEAN_USAID yaitu sebesar 380 kWh/m^2 pertahun, sedangkan IKE perbulan rata-rata sebesar 8,13 kWh/m^2 perbulan, dimana standar dari TIM Nasional penghematan energi dan air dapat dilihat pada tabel 2.2 sehingga Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik yang ada di Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Cilegon masih efisien.
2. Kondisi dari sistem pencahayaan di RSUD Cilegon masih banyak yang tidak sesuai standar SNI, ini bisa dilihat pada Tabel 2 pada lampiran, sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan mengganti menjadi lampu LED. Prediksi perhitungan konsumsi energi sebelum pergantian LED yaitu sebesar 221.142,04 kWh pertahun,sedangkan setelah pergantian lampu LED menjadi 79.459 kWh pertahun.
3. Kondisi sistem pendingin ruangan pada gedung RSUD masih ada beberapa yang tidak sesuai standar SNI dimana hasil pengukuranya dapat dilihat pada tabel 4 pada lampiran. Perlu dilakukan perbaikan dengan dua cara, yaitu dengan mengganti *freon refrigerant* R-22 menjadi *musicool* M-22, Dan melakukan perbaikan dengan mengganti jenis AC standar menjadi AC Inverter. Prediksi perhitungan konsumsi energi listrik yang dihasilkan setelah pergantian *musicool* M-22 yaitu sebesar 438.844 kWh pertahun, sedangkan dengan mengganti AC standar menjadi AC inverter prediksi perhitungan konsumsi energi listrik yang dihasilkan yaitu sebesar 600.258,035 kWh pertahun.
4. Penghematan pada sistem pencahayaan dan dan pada sistem pendingin ruangan yaitu:
   a) Prediksi perhitungan penghematan komsumsi energi listrik setelah pergantian lampu LED memiliki selisih sebesar 141.683,01 kWh pertahun dimana hemat sebesar 64,07%.
   b) Prediksi perhitungan penghematan konsumsi energi listrik yang dilakukan setelah pergantian *freon musicool* M-22 memiliki selisih sebesar 308.299,27 kWh pertahun hemat sebesar 41,26 %.
   c) Prediksi perhitungan penghematan konsumsi energi listrik setelah pergantian jenis AC inverter memiliki selisih yaitu 148.361,065 kWh Pertahun dimana Hemat sebesar 19,6 %.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian audit sistem pencahayaan dan sistem pendingin ruangan ini adalah sebagai berikut ini:

1) Perlu dilakukan perawatan dan pemeliharaan secara rutin dan berkala terhadap peralatan sistem pendingin ruangan dan sistem pencahayaan, agar performa dari peralatan tersebut terawat dengan baik dan selalu Optimal.
2) Saran untuk pihak Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Cilegon agar dapat dilakukan perbaikan instalasi listrik pada gedung RSUD Cilegon dan juga merekomendasikan pergantian lampu LED karena dilihat dari penghematanya yaitu sebesar 64,07% dan untuk sistem pendingin merekomendasikan agar memperbaiki AC dengan mengganti jenis freon menjadi *musicool* karena penghematannya mencapai 41,26%.

VI. DAFTAR PUSTAKA

[1] Instruksi Presiden (INPRES) Republik Indonesia No. 13 Tahun 2011, tentang Penghematan Energi dan Air.

[2] Resti Permata Dewi,dkk: Audit dan konservasi Energi Pada Rumah Sakit Angkatan Laut dr. Ramelan Surabaya. 2012. FTI-ITS.

[3] Suteja, I Wayan Arsa. Manajemen Energi Listrik Di Gedung Sentral Telepon Automat Kaliasem Denpasar. 2011. Denpasar.

[4] Zulfikar, Riki. TA: Evaluasi Kebutuhan Daya Listrik dan Kemungkinan untuk Penghematan Energi Listik di Hotel Santika Bogor. 2011. F.T.Elektro Universitas Pakuan Bogor.

[5] Mukhlis, Baso : Evaluasi Penggunaan Listrik Pada Bangunan Gedung di Lingkungan Universitas Tadulako. Foristek Vol.1 No.2 Tahun 2011. Palu.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

[6] P.van.Harten: terjemahan Setiawan.E: Instalasi Listrik Arus Kuat Jilid 2. 1986 Jakarta: Binacipta.
[7] Sungadiyanto. TA: Studi Eksperimental Performa Mesin Pengkondisian Udara (AC) MC QUAY Dengan Refrigeran R-22 Pada Laboratorium Teknik MMesin Universitas Negri Semarang. 2006. Semarang.
[8] Rianto,Agus. TA : audit energi dan analisis peluang penghematan konsumsi energi pada sistem pengkondisian udaradi hotel santika premiere semarang. 2007. Semarang.
[9] Pasisarha, Daeng Supriyadi. Evaluasi IKE Listrik Melalui Audit Awal Energi Listrik di Kampus Polines. ISSN:2252-4908 Vol.1 No. 1 2012:1-7. Semarang.
[10] Tampubolon, Wempi. Analisa Audit Energi Dengan Parameter Beban Penerangan dan Sistem Pengkondisian Udara Pada RSKM Cilegon. 2013. FT.Untirta Cilegon.
[11] Badan Standarisasi Nasional : SNI 6197:2011 tentang konservasi energi pada sistem pencahayaan.
[12] Badan Standarisasi Nasional: SNI 6390:2011 tentang konservasi energi sistem tata udara bangunan gedung.
[13] Dinata,Ikhsan Nursyeha. Audit Sistem Dan Pengembangan Energi Listrik Di Ft. Untirta. 2013. FT.Untirta Cilegon.
[14] Badan Standarisasi Nasional: Prosedur Audit Energi Pada Bangunan Gedung.
[15] Data Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Cilegon. 2012

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Reaktor, Vol. 15 No. 1, April 2014, Hal. 59-63

BIOBRIKET ENCENG GONDOK (*EICHHORNIA CRASSIPES*) SEBAGAI BAHAN BAKAR ENERGI TERBARUKAN

Muhammad Arief Karim, Eko Ariyanto[*)], dan Agung Firmansyah

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Palembang
Jln. A. Yani 13 Ulu Palembang, 30263, Indonesia, Telp. (0711)510820
[*)]Penulis Korespondensi: ekochemump2002@yahoo.com

Abstract

WATER HYACINTH (*EICHHORNIA CRASSIPES*) BIOBRIQUETES AS RENEWABLE ENERGY SOURCE. *Depletion of fossil energy reserves as a result of increased population growth and industrial sectors. Biomass can be considered as the best option for alternative renewable energy. The objective of this study was to investigate the possibility of water hyacinth (Eichhornia crassipes) to produce bio-briquette. The briquetting experiment was conducted with different both of tapioca strach and wood glue adhesive. The presentage of adhesive was 4%, 6%, 8%, 10%, and 12%. The briquettes were tested to evalueted water content, ash content and calorific value. The results showed that the value of water content and ash content increased by increasing presentage adhesive on bio-briquete. However, the calorific value reached the maximum point of 10 % and 8 % for addition tapioca strach and wood glue adhesive, respectively.*

Keywords: *biobriquetes; renewable energy; water hyacinth*

Abstrak

Menipisnya cadangan energi fosil sebagai akibat dari meningkatnya pertumbuhan penduduk dan sektor industri. Biomassa dapat dianggap sebagai pilihan terbaik untuk energy alternatif terbarukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengamati kemungkinan eceng gondok (Eichhornia crassipes) untuk diolah menjadi bio-briket. Penelitian briket dilakukan dengan menggunakan tepung tapioka dan lem kayu sebagai perekat. Dengan persentase perekat adalah 4%, 6%, 8%, 10%, dan 12%. Bio-briket yang dihasilkan diamati kadar air evalueted, kadar abu dan nilai kalor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kadar air dan kadar abu meningkat dengan meningkatnya presentasi perekat pada bio-briket. Namun, nilai kalor mencapai titik maksimum 10% dan 8% untuk masing-masing penambahan tapioka strach dan lem kayu perekat.

Kata kunci: *biobriket; energi terbarukan; eceng gondok*

How to Cite This Article: Karim, M.A., Ariyanto, E., dan Firmansyah, A., (2014), Biobriket Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan, Reaktor, 15(1), 59-63, http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.15.1.59-63

PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber energi fosil yang berlebihan dapat mengakibatkan semakin menipisnya ketersediaan sumber energi tersebut. Ketergantungan Indonesia pada energi fosil membuat produksi minyak bumi menurun drastis. Keadaan ini didorong oleh peningkatan dan pertumbuhan sektor industri dan penduduk. Menipisnya cadangan energi fosil harus segera diimbangi dengan penyediaan energi alternatif yang dapat diperbaharui, melimpah jumlahnya, dan murah harganya sehingga terjangkau oleh masyarakat luas (Elfiano dkk., 2014).

Berbagai solusi telah dilakukan oleh para ilmuan untuk mengatasi ketergantungan terhadap sumber energi tak terbarukan. Diantara berbagai solusi tersebut adalah dengan memanfaatkan energi terbarukan seperti biomassa. Energi biomassa dengan metode pembriketan adalah mengkonversi bahan baku padat menjadi suatu bentuk hasil kompaksi yang lebih mudah untuk digunakan (Husada, 2008). Penggunaan biobriket sebagai bahan bakar merupakan salah satu solusi alternatif untuk menghemat pemakaian bahan bakar fosil dan dalam penggunaan secara berkelanjutan dapat mengurangi dampak emisi karbon (Saputata dkk., 2013).

Sumber bahan baku biobriket dari bahan hayati adalah kulit kopi (Suarez dan Luengo 2003), ampas tebu dan kayu (Elfiano dkk., 2014), dan tongkol

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

jagung (Sinurat, 2011). Butiran halus bioarang dari hasil karbonisasi bahan hayati membutuhkan perekat sehingga biobriket tidak mudah hancur. Jenis perekat berpengaruh terhadap kadar air, kadar abu dan nilai kalor. Kadar air semakin rendah jika jumlah bioarang semakin banyak (Ndraha, 2009).

Terdapat dua golongan perekat dalam pembuatan biobriket, yaitu perekat yang berasap (tar, *pitch*, *clay*, dan molases) dan perekat yang kurang berasap (pati, dekstrin, dan tepung beras) (Saleh, 2013). Pemakaian tar, *pitch*, *clay*, dan molases sebagai bahan perekat menghasilkan biobriket yang berkekuatan tinggi tetapi mengeluarkan banyak asap jika dibakar yang disebabkan adanya komponen yang mudah menguap. Bahan perekat pati, dekstrin, dan tepung beras akan menghasilkan biobriket yang tidak berasap dan tahan lama tetapi nilai kalornya tidak tinggi. Bahan perekat dari tumbuh-tumbuhan seperti pati (tapioka) memiliki keuntungan dimana jumlah perekat yang dibutuhkan untuk jenis ini jauh lebih sedikit dibandingkan dengan bahan perekat hidrokarbon (Saleh, 2013). Bahan perekat tapioka memiliki kelemahan yaitu sifatnya dapat menyerap air dari udara sehingga tidak baik apabila berada dalam kelembaban udara yang tinggi. Karakteristik bahan baku perekat untuk pembuatan biobriket adalah memiliki gaya *kohesi* yang baik bila dicampurkan dengan bioarang, mudah terbakar, tidak berasap, mudah didapat dalam jumlah banyak dan murah harganya dan tidak mengeluarkan bau, tidak beracun dan tidak berbahaya (Fachry dkk., 2010).

Jenis perekat yang digunakan adalah salah satu faktor penting yang harus dipertimbangkan saat pembriketan dengan tujuan agar biobriket akan melepaskan panas maksimum. Dan tujuan pembuatan biobriket adalah untuk menghasilkan sumber bahan bakar yang baik dan efisien energi yang tinggi maka penggunaan persentase bahan perekat adalah salah satu campuran yang harus dipertimbangkan.

Beberapa hasil penelitian nilai kalor biobriket dari berbagai media antara lain eceng gondok (2785 kal/g) (Supatata dkk., 2013) dan serbuk kayu (4820 kal/g) (Akowuah dkk., 2012).

Pada penelitian ini, eceng gondok dipilih sebagai bahan biomassa yang kemudian dibuat menjadi biobriket bioarang. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) adalah salah satu jenis tumbuhan air mengapung. Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang merusak lingkungan perairan. Eceng gondok dengan mudah menyebar melalui saluran air ke badan air lainnya. Pertumbuhan eceng gondok yang cepat terutama disebabkan oleh air yang mengandung nutrien yang tinggi, terutama yang kaya akan nitrogen, fosfat dan potassium. Analisa nilai kalor, kandungan air dan sulfur dilakukan pada biobriket eceng gondok ini untuk mengetahui karakteristik pembakaran sehingga biobriket ini berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan penelitian ini berupa eceng yang didapatkan di Sungai Musi Palembang, Ssumatera Selatan. Bahan perekat terdiri dari tepung tapioka dan lem kayu. Tepung tapioka diperoleh dari pasaran dengan spesifikasi *moisture* (max. 14,3), protein (11,0-12,5%), abu (max. 0,64%) dan Gluten Wet (min 26,5%). Jenis lem kayu yang digunakan adalah jenis lem Epoxy.

Proses Pengolahan Bahan Menjadi Arang

Enceng gondok dibersihkan dari kotoran yang terbawa dengan dicuci menggunakan air bersih. Eceng gondok yang telah dipotong kecil-kecil (± 3 cm) dikeringkan di bawah sinar matahari selama 2 hari untuk mengurangi kadar air. Proses pengarangan enceng gondok menggunakan furnace dengan suhu 400^0C selama 1 jam. Setelah dikeluarkan dari dalam furnace, lalu arang bioarang enceng gondok dihaluskan lalu dan diayak ukuran 35 mesh.

Proses Pencampuran Arang dengan Perekat

Bioarang dari proses karbonasi digiling atau dihaluskan dan diayak kemudian ditambahkan perekat yang telah disiapkan dengan perbandingan 4, 6, 8, 10, dan 12% bagian perekat dari berat arang dan diaduk hingga semuanya tercampur secara merata. Beri label pada tiap campuran sesuai perlakuan.

Proses Pencetakan Biobriket

Dimasukkan bahan biobriket yang sudah dicampur ke dalam alat pencetak biobriket. Biobriket dikeringkan dengan oven pada suhu 80°C selama ± 10 jam. Biobiobriket dikeluarkan dari dalam oven dan dibiarkan sampai dingin. Dan biobiobriket yang dihasilkan kemudian diuji kualitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

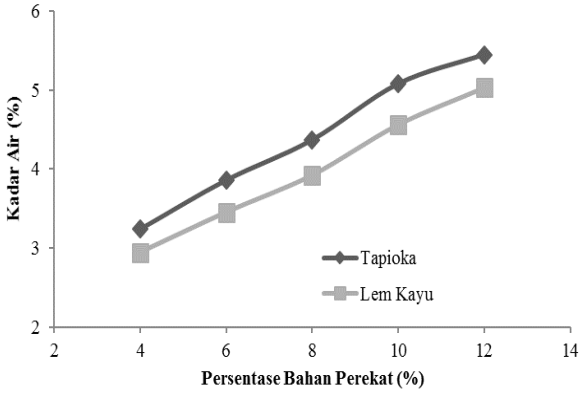
Analisa Kadar Air

Kadar air menentukan kualitas biobriket dan karakteristik pembakaran. Semakin tinggi kadar air, maka semakin sulit biobriket tersebut terbakar. Tingkat kadar air membantu dalam proses penyimpanan dimana untuk mencegah terjadinya proses kelembaban. Menurut Misha dan Grover (1996) presentase kadar air yang sesuai dengan standard adalah 10-15%. Dalam kisaran tersebut biobriket lebih stabil dan tahan lama.

Dari hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 1 kadar air yang terdapat pada biobriket enceng gondok berbanding lurus dengan penambahan perekat yang dilakukan, dimana semakin banyak perekat yang dicampurkan pada biobriket maka semakin tinggi kadar air yang dimiliki oleh biobriket tersebut. Dari data hasil pada Gambar 1 menunjukkan bahwa kandungan air dari biobriket dengan campuran perekat tapioka adalah antara 3,24-5,45% dan lem kayu antara 2,94-5,03%. Biobriket dengan persentase perekat terendah yaitu 4% memiliki kadar air paling

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sedikit yaitu 2,9% untuk perekat lem kayu dan 3,24% untuk perekat tapioka. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perekat memberi pengaruh yang berarti terhadap kadar air yang terkandung dalam biobriket.



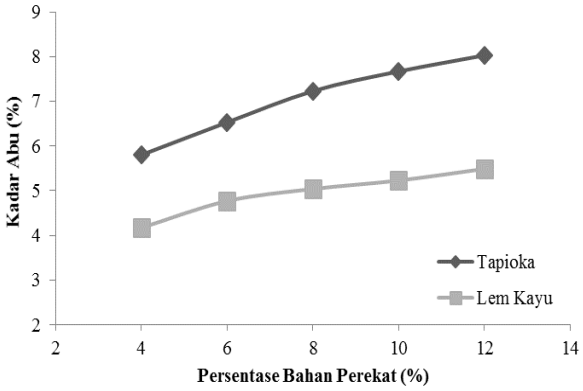
Gambar 1. Pengaruh jumlah perekat terhadap % kadar air

Pengaruh jenis perekat terhadap kadar air dapat dilihat pada Gambar 1. Dari Gambar 1 terlihat kadar air tertinggi terdapat pada perekat dari tapioka. Kadar air yang besar ini disebabkan karena adanya ikatan kimia air di dalam tapioka. Kadar air tertinggi pada 5,45% pada jenis perekat tepung tapioka dengan jumlah perekat 12% sedangkan kadar air terendah sebesar 2,94% terdapat pada jenis perekat dari lem kayu dengan jumlah perekat 4%. Faktor lain adalah pada pencampuran dengan menggunakan lem kayu menghasilkan biobriket yang kurang berpori sehingga tidak mudah air dilepaskan pada waktu pengeringan. Dengan kadar air yang tinggi dalam biobriket, memerlukan panas yang tinggi untuk menguapkan air dan kadang-kadang briket terbelah menjadi potongan-potongan kecil pada tingkat pembakaran rendah dan sehingga lebih sedikit panas yang dihasilkan oleh pembakaran biobriket dansebagai akibatnya asap yang dihasilkan akan banyak (Akowuah dkk., 2012).

Analisa Kadar Abu

Kadar abu adalah persentase dari zat-zat yang tersisa dari proses pembakaran dan sudah tidak memiliki unsur karbon. Semakin tinggi kadar abu dalam suatu biobriket maka kualitas biobriket akan semakin rendah, karena kandungan abu yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor dari biobriket. Dari Gambar 2 dapat dilihat pengaruh jumlah perekat terhadap nilai kadar abu dari biobriket hasil penelitian.

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan tapioka sebagai perekat menghasilkan kadar abu yang tinggi dibandingkan menggunakan perekat lem kayu. Kadar abu biobriket arang enceng gondok tertinggi adalah 8,03% pada jenis perekat 12% tapioka dan kadar abu terendah 4,17% pada jenis perekat 4% lem kayu. Tingginya kadar abu pada perekat tapioka disebabkan karena tapioka memiliki molekul karbohidrat, amilosa, dan amilopektin, yang terdiri dari unsur karbon, hidrogen, dan oksigen, sehingga strukturnya mudah berubah menjadi abu setelah proses pembakaran. Kadar abu adalah komponen biomassa yang tidak mudah terbakar dan mempengaruhi proses transfer panas ke permukaan biobriket dan juga difusi oksigen ke permukaan biobriket selama proses pembakaran (Katimbo dkk., 2014). Kadar abu yang tinggi menghasil emisi debu yang dapat menyebabkan polusi udara dan mempengaruhi volume pembakaran dan efisiensi. Semakin tinggi kadar abu biobriket, semakin rendah nilai kalori dan mempengaruhi laju pembakaran karena rendahnya transfer panas ke bagian dalam biobriket dan difusi oksigen ke permukaan briket arang selama pembakaran.



Gambar 2. Pengaruh jumlah perekat terhadap % kadar abu.

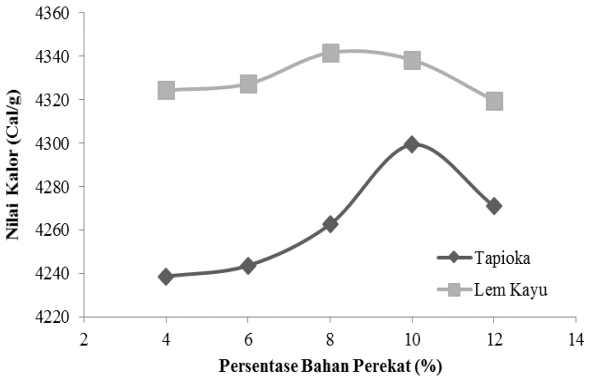
Menurut Standar Nasional Indonesia mensyaratkan kadar abu maksimal tidak melebihi 5,51% tetapi pada biobriket enceng gondok yang memenuhi hanya campuran perekat lem kayu 4% dengan nilai 4,17%, 6% dengan nilai 4,77% dan 8% dengan nilai 5,04%. Sedangkan campuran perekat tepung tapioka melebihi kadar maksimal abu yang ditetakan.

Analisa Nilai Kalor

Dari Gambar 3 didapat nilai kalor biobriket arang enceng gondok yang tertinggi dengan jenis perekat lem kayu dengan jumlah perekat 8% yaitu sebesar 4341,67cal/g. Nilai kalor terendah pada jenis perekat tapioka dengan jumlah perekat 4% yaitu 4238,67 cal/g.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa jenis perekat dan jumlah perekat sangat mempengaruhi nilai kalor biobriket. Penambahan perekat lem kayu 8% mencapai titik maksimum nilai kalor biobriket yang mencapai 4341,67 cal/g dan 10% menggunakan perekat tapioka yang mencapai titik maksimum nilai kalor 4299,33 cal/g. Pencapaian titik maksimum nilai kalor dikarenakan kepadatan biobriket mencapai titik maksimum sehingga menghasilkan penurunan density biobriket dan menurunkan nilai kalor (Islam dkk., 2014).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

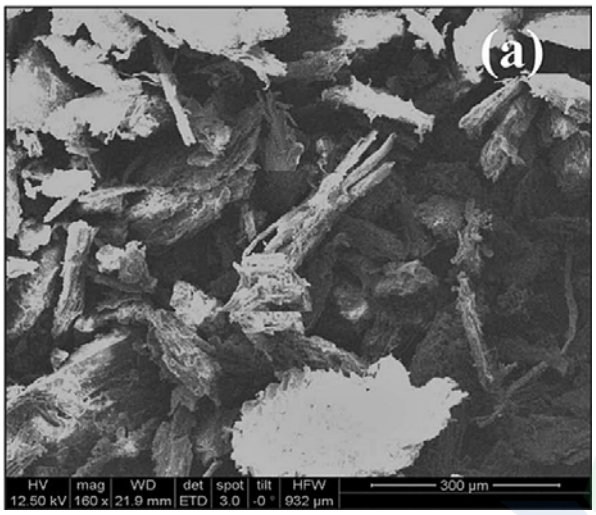


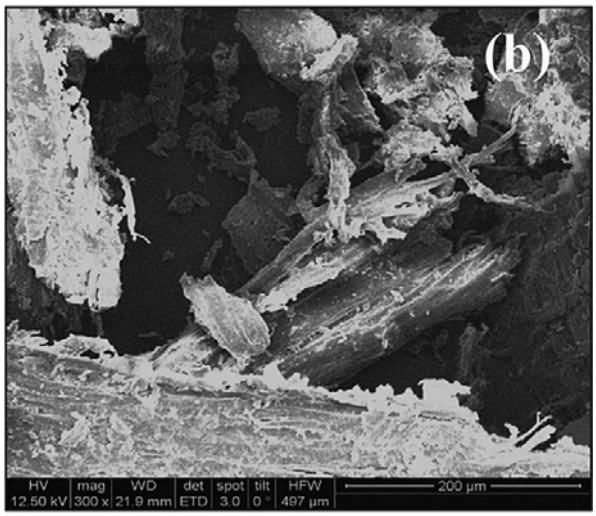
Gambar 3. Pengaruh jumlah perekat (%) terhadap nilai kalor (cal/gr) dalam berbagai jenis perekat

Jenis perekat lem kayu tidak terlalu banyak mengandung air sehingga nilai karbon dari biobriket tersebut besar. Nilai karbon yang besar menyebabkan besarnya nilai kalor dari suatu biobriket. Sedangkan pembuatan biobriket yang menggunakan jenis perekat dari tapioka mengandung banyak air sehingga kandungan air ini mempengaruhi kecilnya nilai kalor yang dihasilkan. Dengan rendahnya kadar air, maka kalor yang ditentukan untuk menguapkan air juga sedikit, sehingga energi kalor yang tersisa pada biobriket akan semakin besar.

Analisa Karakteristik

Karakteristik biobriket eceng gondok dapat dilihat pada Gambar 4. Struktur morfologi biobriket dari berbagai perekat yang digunakan yang dianalisa menggunakan Scanning Elektron Microscope pada 25 kv. Struktur morfologi biobriket dengan menggunakan perekat lem kayu pada 8% (Gambar 4a) menunjukkan struktur berserat dan kasar yang beragam, sedangkan biobriket menggunakan perekat tapioka (Gambar 4b) menunjukkan massa struktur serat yang longgar.





Gambar 4. Analisa Biobriket dengan SEM. (a) Perekat Lem Kayu; (b) Perekat Tapioka

KESIMPULAN

Hasil penelitian dan pengujian biobriket eceng gondok terhadap jenis perekat yang digunakan dapat disimpulkan bahwa pengaruh bahan perekat dan komposisinya memberi pengaruh yang sangat siginifikan terhadap kadar air, kadar abu dan nilai kalor yang dihasilkan.

Kadar air tertinggi pada jenis perekat tepung tapioka dengan jumlah perekat 12% sedangkan kadar air terendah terdapat pada jenis perekat dari lem kayu dengan jumlah perekat 4%. Tingginya kadar air pada perekat tapioka disebabkan adanya ikatan kimia air di dalam tapioka.

Kadar abu biobriket arang enceng gondok tertinggi adalah pada jenis perekat tepung tapioca. Tingginya kadar abu pada perekat tapioka disebabkan adanya molekul kimia yang dapat berubah menjadi abu pada saat pembakaran seperti molekul karbohidrat, amilosa, dan amilopektin, yang terdiri dari unsur karbon, hidrogen, dan oksigen, sehingga strukturnya mudah berubah menjadi abu setelah proses pembakaran.

Penambahan perekat lem kayu 8% mencapai nilai maksimum kalor biobriket yang dihasilkan dan 10% menggunakan perekat tapioka. Pencapaian titik maksimum nilai kalor dikarenakan kepadatan biobriket mencapai titik maksimum sehingga menghasilkan penurunan density biobriket dan menurunkan nilai kalor.

Pembuatan biobriket arang enceng gondok mampu meningkatkan nilai kalor arang enceng gondok yang hanya 3300 cal/gr menjadi 4341cal/gr, namun belum mampu mencapai nilai kalor seperti biobriket batubara dengan nilai kalor mencapai 6000 cal/gr.

DAFTAR PUSTAKA

Akowuah, J.O., Kemausuor, F., and Mitchual, S.J., (2012), Physico-Chemical Characteristics and Market

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Potential of Sawdust Charcoal Briquette, *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 3(20), pp. 1-6.

Elfiano, E., Natsir, M., and Indra, D., (2014), Analisa Proksimat Briket Bioarang Campuran Limbah Ampas Tebu Dan Arang Kayu, *Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Trisakti, 1-6, Vol.KE14, ISBN:978-602-70012-0-6*

Fachry, A.R., Sari, T.I., Dipura, A.Y., and Najamudin, J., (2010), Teknik Pembuatan Briket Campuran Eceng Gondok dan Batubara sebagai Bahan Bakar Alternatif bagi Masyarakat Pedesaan, *Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi ke 16*, Jakarta. 52-58, Vol.16, ISBN:978-979-95620-6-7

Husada, T.I. (2008), Arang Briket Tongkol Jagung Sebagai Energi Alternatif, *Laporan Hasil Penelitian Program Inovasi Mahasiswa Provinsi Jawa Tengah*, Universitas Negeri Surakarta, Semarang.

Islam, M.H., Hossain, M.M., and Momin, M.A., (2014), Development of Briquette from Coir Dust and Rice Husk Blend: An Alternative Energy Source, *International Journal of Renewable Energy Development*, 3(2), pp. 119-123.

Katimbo, A., Kiggundu, N., Kizito, S., Kivumbi, H.B., and Tumutegyereize, P., (2014), Potential of Densification of Mango Waste and Effect of Binders on Produced Briquettes, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(4), pp.146-155.

Mishra, S.K. and Grover, P.D., (1996), *Biomass Briquetting: Technology and Practices*, Bangkok, Food And Agriculture Organization Of The United Nations.

Ndraha, N., (2009), *Uji Komposisi Bahan Pembuat Briket Bioarang Tempurung Kelapa dan Serbuk Kayu Terhadap Mutu yang Dihasilkan*, Universitas Sumatera Utara.

Saleh, A., (2013), Efisiensi Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka Terhadap Nilai Kalor Pembakaran Pada Biobriket Batang Jagung (*Zea Mays L.*), *Jurnal Teknosains*, 7(1), pp. 78-89.

Sinurat, E., (2011), *Studi Pemanfaatan Briket Kulit Jambu Mete Dan Tongkol Jagung Sebagai Bahan Bakar Alternatif*, Universitas Hasanuddin.

Suarez, J.A. and Luengo, C.A., (2003), Coffee Husk Briquettes: A New Renewable Energy Source, *Energy Sources*, 25(10), pp. 961-967.

Supatata, N., Buates, J., and Hariyanont, P., (2013), Characterization of Fuel Briquettes Made from Sewage Sludge Mixed with Water Hyacinth and Sewage Sludge Mixed with Sedge, *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(2), pp. 179-181.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

BIOGAS KOMBINASI AMPAS TEBU-KOTORAN SAPI SEBAGAI UPAYA KONVERSI ENERGI TERBARUKAN

Aldi Budi Riyanta[1], Nurniswati[2], Joko santoso[3]
[1,2,3]Program studi DIII Farmasi, Politeknik Harapan Bersama Tegal
Jl. Mataram NO. 09 Kota Tegal

Abstrak

Ampas tebu merupakan hasil samping dari pabrik gula jatibarang yang perlu dimanfaatkan. Disisi lain, kotoran sapi sebagai hasil samping rumah penyembelihan perlu adanya pengolahan lebih lanjut. Kotoran sapi dikombinasikan dengan ampas tebu untuk memperoleh kombinasi yang ideal untuk memperoleh volume biogas yang paling tinggi. Metode yang digunakan yaitu water displacement method untuk pengukuran volume biogas, penghitungan total solid menggunakan gravimetri. Variasi percobaan yang akan dilakukan masing-masing variasi rasio ampas tebu 2.5; 5; 10; 12.5% (basis TS) dengan kotoran sapi sebanyak 10% dan air 30% dengan volume kerja 1 liter.

Percobaan dengan kombinasi dihasilkan volume gas tertinggi pada kombinasi total solid ampas tebu 10%, kotoran sapi 10% dan air 30% pada volume 2.71 L/Kg substrat pada hari ke-25. Kombinasi yang paling baik untuk mendapatkan jumlah volume biogas yang paling banyak yaitu pada kandungan TS ampas tebu sebesar 2.5%, kotoran sapi 10% dan air sebanyak 30% dengan total volume biogas yang dihasilkan sebanyak 26.57 L/Kg Substrat.

Kata Kunci: *Ampas Tebu, Kotoran Sapi, Biogas*

1. Pendahuluan

Energi memiliki peran penting dan tidak dapat dilepaskan dalam kehidupan manusia. Terlebih, saat ini hampir semua aktivitas manusia sangat tergantung pada energi. Pemanfaatan energi yang tidak dapat diperbaharui secara berlebihan dapat menimbulkan masalah krisis energi. Penggunaan sumber energi seperti bahan bakar yang berasal dari bahan baku fosil merupakan bahan bakar yang tidak mudah didaur ulang dan membutuhkan proses yang lama untuk menghasilkan bahan bakar tersebut. Oleh karena itu, perlu adanya sumber energi alternatif baru yang dapat diperbarui[1]. Salah satu teknologi energi yang sesuai dengan persyaratan tersebut adalah teknologi biogas [2].

Produksi biogas dari limbah dan berbagai jenis residu organik dengan metode digester anaerobik telah banyak dipelajari, baik eksperimental maupun teoritis selama enam dekade[3].Ampas tebu merupakan limbah lignoselulosa dari pabrik gula dan pengolahan pertanian[4]. Ampas tebu hanya digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan tenaga pabrik gula. Namun, jumlah besar dari ampas tebu yang tersisa tidak digunakan dan dibakar sehingga dapat menyebabkan masalah lingkungan[5]. Pemanfaatan ampas tebu belum dioptimalkan mengingat potensi tebu yang sangat besar, padahal ampas tebu dapat memberikan nilai lebih besar[6].

Disisi lain, limbah peternakan seperti feses, urin beserta sisa pakan ternak sapi merupakan salah satu sumber bahan yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas. Kotoran sapi mengandung unsure N 26.2 Kg/Ton, P 4.5 Kg/Ton, dan K 13.0 Kg/Ton[7]. Namun, disisi lain perkembangan atau pertumbuhan industri peternakan menimbulkan masalah bagi lingkungan seperti menumpuknya limbah peternakan termasuk didalamnya limbah peternakan sapi[8].

Kebutuhan bahan baku kotoran sapi ini tentu saja akan berlimpah untuk wilayah peternakan sapi seperti didaerah Sukoharjo dan Boyolali Jawa Tengah[9]. Wilayah yang memiliki sedikit peternakan sapi tentu saja akan kesulitan untuk memperoleh bahan baku. untuk itu kotoran sapi digunakan untuk membantu proses digesti dari limbah lignoselulosa untuk proses pembuatan biogas. Sehingga perlu adanya kombinasi kotoran sapi dan ampas tebu yang ideal untuk menghasilkan biogas dengan volume

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

yang paling banyak. Selain itu penulis ingin mengetahui kandungan gas methane yang dihasilkan dari biogas kombinasi kotoran sapi dan ampas tebu.

2. Metode Penelitian

a. Bahan baku

Bahan baku ampas tebu diperoleh dari pabrik gula jatibarang sedangkan kotoran sapi diperoleh dari rumah pemotongan hewan jatibarang.

b. Metode

Metode pengukuran volume dengan metode water displacement metodh dengan mengukur volume biogas selama 37 hari dan diukur volumenya setiap hari. Dengan variasi kombinasi ampas tebu ampas tebu 2.5; 5; 10; 12.5% (basis TS) dengan kotoran sapi sebanyak 10% dan air 30% dengan volume kerja 1 liter.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menitikberatkan pada peroleh volume biogas yang diperoleh dari kombinasi ampas tebu dan kotoran sapi supaya mendapatkan volume biogas yang paling tinggi.

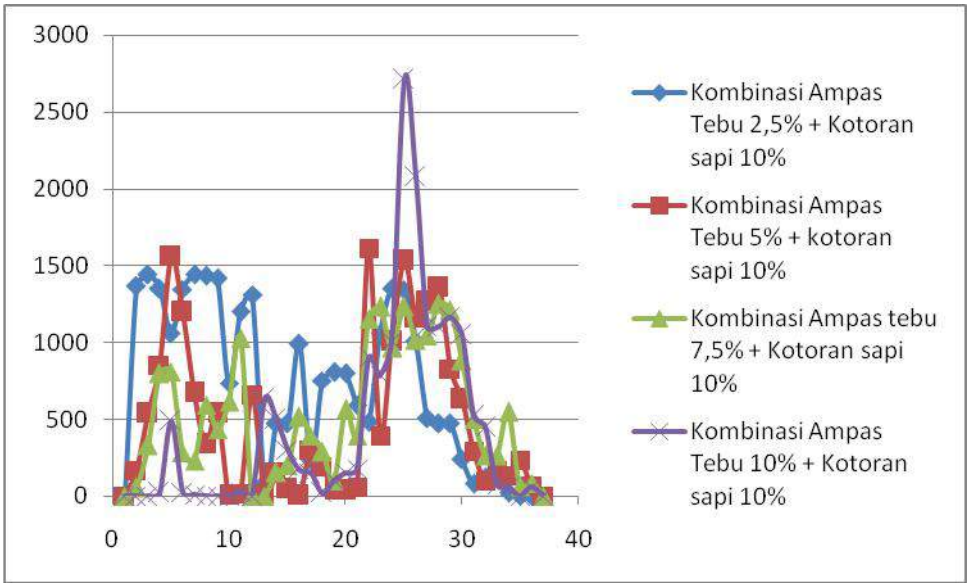
Kandungan awal bahan baku ampas tebu dan kotoran sapi dianalisis terlebih dahulu. Hasil uji menunjukkan bahwa ampas tebu yang telah dikeringkan mempunyai kandungan air sebesar 20.36% menurut data hasil perhitungan. Ampas tebu kering memiliki kandungan TS sebesar 79.64% dan VS sebesar 78.83%. Komponen utama dari ampas tebu adalah lignoselulosa dengan kandungan 25.66 % selulosa dan 13.82 % lignin. Kotoran sapi memiliki TS sebesar 16.67 % dan konten VS sebesar 13.37%.

Ampas tebu yang diperoleh dari Pabrik Gula Jatibarang kemudian dilakukan penjemuran selama seminggu untuk mendapatkan ampas tebu yang kering. Proses selanjutnya, ampas tebu dilakukan proses grinding untuk memperoleh ampas tebu yang lebih kecil ukurannya. Proses grinding bertujuan untuk mendapatkan luas permukaan yang lebih banyak karena semakin kecil ukuran partikel maka akan semakin luas permukaan cerna sehingga proses penguraian akan berlangsung lebih cepat[10].Pengecilan ukuran ampas tebu dengan cara diserbuk (digiling) percobaan mampu memecah jaringan tanaman sehingga mirobia lebih mudah menembus jaringan tanaman dan menggunakan total solid sebagai substratnya[11].

Partikel yang digiling menghasilkan yield biogas yang lebih tinggi karena merobek dinding sel sehingga tersedia surface area yang lebih luas untuk mikroba dan membuat mikroba lebih mudah mengakses substrat, dengan demikian anaerobic *biodegradability* meningkat [12]. Selain itu juga akan mengurangi viskositas digester sehingga mempermudah pada proses pencampuran[13]. Akan tetapi, berdasarkan analisis statistik peningkatan yield biogas pada ukuran partikel tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap produksi biogas ($p>0,05$). Hasil ini telah dilakukan oleh Li et al. [14] mengemukakan bahwa pengecilan ukuran tongkol jagung dar 15 mm ke 5 mm tidak meningkatkan produksi biogas secara signifikan.

Methane yield yang dihasilkan dan persentase dari solid (total solid atau volatil solid) yang dihancurkan selama proses degradasi anaerobik dalam jangka waktu tertentu[15]. Pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini adalah volume biogas, bukan volume metana. *Biogas yield* yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 1. sebagai berikut:

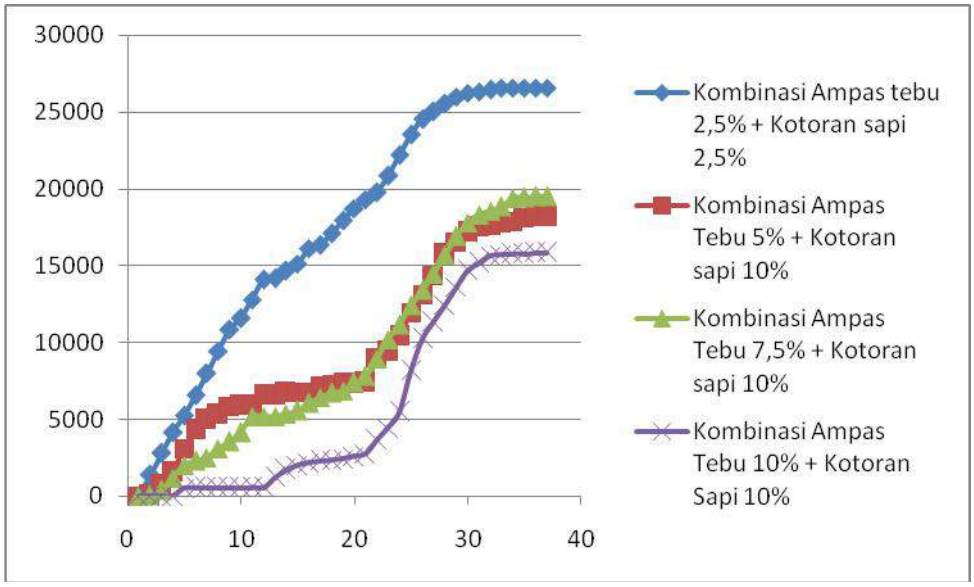
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 1. Volume biogas yang dihasilkan tiap hari.

Gambar 1. *menunjukkan* volume biogas harian pada kandungan TS 2.5% dan kotoran sapi sebanyak 10% dan penambahan air 30%, ampas tebu diumpankan ke dalam reaktor kemudian ditambah dengan kotoran sapi sebanyak 10% dari volume reaktor yaitu 1000 ml kemudian menambahkan air sebanyak 30%. Biogas mulai diukur pada hari pertama dan berturut-turut diukur volumenya tiap hari sekali. Pengukuran hari pertama belum menghasilkan biogas sehingga pengukuran dilakukan lagi pada hari ke dua dan seterusnya hingga hari ke-37. Voluem biogas dari hari kedua terus naik hingga hari ke-20, dan memperoleh puncak pertama dengan P1 pada hari ke-3 sebesar 1.440 L/Kg Substrat, sedangkan pada percobaan dengan total solid 5, 7,5 dan 10 berturut terjadi puncak pada hari ke-22, 23dan 25 sebesar 1.613; 1.234; dan 2.71 L/Kg Substrat. Percobaan ini merupakan kombinasi ampas tebu yang ditambah dengan kotoran sapi sebagai pembantu pada proses digesti terlihat bahwa volume tertinggi pada hari ke-7 hingga ke-25 ini seperti yang dijelaskan González *et al* [16] Substrat yang lebih mudah dicerna akan menghasilkan produk terlebih dahulu dibandingkan substrat yang lebih sulit didegradasi. Kotoran sapi merupakan substrat yang lebih mudah dicerna. Dan memiliki kandungan senyawa yang lebih sederhana[17]. Gambar 1. terlihat bahwa perolehan volume biogas ketika memasuki hari ke-30 terlihat menurun. terlihat adanya banyaknya substrat berpengaruh terhadap perolehan volume biogas dengan banyak TS ampas tebu yang meningkat maka konsentrasi bahan baku akan meningkat yang mengakibatkan komponen kotoran sapi yang membantu yang terdapat banyak bakteri untuk mendegradasi komponen selulosa ampas tebu semakin sedikit sehingga perolehen volume biogas semakin menurun. Periode ini akan mengalami proses stagnan dan kemudian mendekati *death phase* pada hari ke-30 dan hingga hari ke-37 sudah tidak menghasilkan biogas. Perolehan akumulasi biogas yang diperoleh masing-masing kombinasi ditunjukkan pada Gambar 2. sebagai berikut:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 2. Akumulasi perolehan volume biogas

Gambar 2. menunjukkan perolehan akumulasi volume biogas dari hari pertama hingga ke-37 menunjukkan bahwa dengan mengkombinasikan ampas tebu sebanyak 2.5% dan kotoran sapi 10% dan dengan menambahkan air sebanyak 30% akan menghasilkan akumulasi volume yang paling tinggi yaitu sebesar 26.57 L/Kg substrat sedangkan pada kombinasi substrat 5; 7.5; dan 10% masing-masing adalah 18.19 L/Kg Subtrat, 19.52 L/Kg substrat dan 15.83 L/Kg subtrat. Kondisi dengan total solid yang semakin tinggi tentu mengurangi jumlah kotoran sapi pada sistem kombinasi, sehingga komponen dengan substrat yang tinggi akan sulit terdegradasi[18].Ampas tebu merupakan bahan baku yang sulit terdegradasi sehingga diperlukan kotoran sapi yang lebih banyak untuk mensuplai komponen mikroba untuk mendegradasi. Dengan demikian penambahan komponen bahan baku akan menambah kerja mikroba untuk mendegradasi komponen bahan baku sehingga akan memperlambat proses produksi biogas yang pada akhirnya volume biogas menurun. Kandungan TS yang terlalu tinggi juga dapat terjadi proses inhibisi pada hidrolisis. Aktifitas mikroba dengan bahan baku yang sulit terjadi karena ruang yang terbatas mengakibatkan proses transfer massa terhambat. Produk dari tahap hidrolisis terkumpul di permukaan substrat dan pada akhirnya menghambat penyerapan enzim hidrolitik. Transfer massa yang terbatas membuat jumlah produk hidrolisis yang tersedia untuk mikroba acidogenik sedikit sehingga akan menurunkan produk pada proses acidogenesis yang nantinya dikonversi menjadi biogas[19]. Yavini *et al* [20] menjelaskan bahwa produksi biogas akan mulai mengalami penurunan secara drastis dengan adanya peningkatan kandungan total solid.

4. Kesimpulan

Dari hasil percobaan mengenai biogas dari kombinasi ampas tebu dan kotoran sapi dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

a. Percobaan dengan kombinasi dihasilkan volume gas tertinggi pada kombinasi total solid ampas tebu 10%, kotoran sapi 10% dan air 30% pada volume 2.71 L/Kg substrat pada hari ke-25.
b. Kombinasi yang paling baik untuk mendapatkan jumlah volume biogas yang paling banyak yaitu pada kandungan TS ampas tebu sebesar 2.5%, kotoran sapi 10% dan air sebanyak 30% dengan total volume

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

biogas yang dihasilkan sebanyak 26.57 L/Kg Substrat.

5. Daftar Pustaka

[1] Ukpai, P.A. & Nnabuchi, M.N., 2012. Comparative study of biogas production from cow dung , cow pea and cassava peeling using 45 litres biogas digester. *Advances in Applied Science Research*, 3(3), pp.1864–1869.

[2] Darsin, M. 2006. Design of Biogas Circulator, *Seminar Nasional Kreativitas Mesin Brawijaya 2006*, Universitas Barawijaya, Malang

[3] Marek, M. Bialobrzewski, I. Zielinski, M. Debowski, M. Krzemienewski, M., 2014. Optimizing low-temperature biogas production from biomass byanaerobic digestion. *Renewable Energy* 69 pp.219-225

[4] Maryana, R, Ma'rifatun, D. A. Wheni, Satriyo K.W., W. Rizal. A. 2014. Alkaline Pretreatment on Sugarcane Bagasse for Bioethanol Production. Energy Procedia 47 pp 250 – 254

[5] Hanim,S. A. M, Norsafurah. S, 2012. Physical properties of hemicellulose films from sugarcane bagasse. Procedia Engineering 42 (2012) 1390 – 1395

[6] Malau, K.M. 2009. Skripsi: Pemanfaatan ampas tebu sebagai bahan baku dalam pembuatan papan partikel: Universitas Sumatera Utara

[7] Sakinah. Tawali, A. B. Muin. M., 2014. *Effect Of Concentration Biostarter Dirt Cow And Chicken Poop On Biogas Production Using Waste Rice Straw. Makasar: Universitas Hassanudin.*

[8] Waskito, Didit., 2011. Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi di Kawasan Peternakan Usaha Peternakan Sapi. Tesis. Jakarta: Universitas Indonesia

[9] Putro, Sartono., 2007. *Penerapan Instalasi Sederhana Pengolahan Kotoran Sapi Menjadi Energi Biogas Di Desa Sugihan Kecamatan Bendosari Kabupaten Sukoharjo*. Vol .10, No. 2, September 2007: 178 – 188

[10] Polprasert, Chongrak. 1989. Organic Waste – Recycling. Great Britain: John Wiley & Sons Ltd.

[11] Herawati, D. A., dan Wibawa, A.A., 2010. Pengaruh *Pretreatment* Jerami Padi pada Produksi Biogasdari Jerami Padi dan Sampah Sayur Sawi Hijau Secara *Batch.* Jurnal Rekayasa Proses, Vol. 4, No. 1, 2010. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi.

[12] Zhang, R., Zhang, Z., 1999. Biogasification of rice straw with an anaerobic- phased system solids digester. Bioresource Technology, 68(3), 235-245.

[13] Montgomery, L.F.R., Bochmann, G., 2014. Pretreatment of feedstock for enhanced biogas production. Book. IEA Bioenergy. British Library. ISBN 978-1-910154-05-2 (electronic version).

[14] Li, Y., Zhu, J., Wan, C., Park, S.Y., 2011. Solid-State anaerobic digestion of corn stover for biogas production. American Society of Agricultur and Biological Engineers, 54(4), 1415-1421.

[15] Zhang, R., El-Mashad, H. M., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C., Gamble, P. 2007. Characterization of food waste as Bahan baku for anaerobic digestion. Bioresource Technology 98 : 929 – 935

[16] González, L.M., Castro, R., Pereira, M.A., Alves, M.M., Font, X.,Vicent, T., 2011. Thermophilic co-digestion of organic fraction of municipal solid wastes with FOG wastes from a sewage treatment plant: Reactor performanceand microbial community monitoring. Bioresource Technology 102 (2011) pp 4734–4741.

[17] Aurora, S.P. Microbial Digestion in Ruminants. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, 1983

[18] Wang, W., Xie, L., Chen, J., Luo, G., Zhou, Q., 2011. Biohydrogen andmethane production by co-digestion

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

of cassava stillage andexcess sludge under thermophilic condition. BioresourceTechnol102: pp 3833-9.

[19] Sheets, J.P., Ge, X., Li, Y., 2015. Effect of limited air exposure and comparative performance between thermiphilic and mesophilic solid-state anaerobic digestion of switchgrass. Bioresource Technology, 144, pp 296-303.

[20] Yavini, T.D. Usman, H. T . Mohammed, N And James, M. Namo. 2014. Comparative Study of Mesophilic Biogas Production Potentials of Selected Agro-Wastes. *The International Journal Of Engineering And Science*, 3(2), pp.1–6.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Biokonversi Limbah Tongkol Jagung Menjadi Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan

Hendri Iyabu[1]*, Ishak Isa[2]

[1,2]*Program Studi Kimia, Universitas Negeri Gorontalo, Jl. Jend. Sudirman No.6, Kota Gorontalo,96128*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkonversi lignoselulosa dari jagung tongkol limbah menjadi bioetanol sebagai bahan bakar alternatif terbarukan. Proses pembuatan etanol dari kotoran jagung sampah dapat melalui tiga tahapan yang penting, menghidrolisis lignocellulose menjadi gula, fermentasi gula ke dalam pemurnian etanol andethanol. Proses menghidrolisis kimia menggunakan asam sulfat encer. Fermentasi gula ke etanol menggunakan Saccharomyces Cerevisiae, sedangkan pemurnian alkohol yang dihasilkan melalui proses distilasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alkohol (etanol) konsentrasi yang diperoleh masih di bawah standar yang diinginkan sebagai alternatif energi untuk bahan bakar fosil.

Kata kunci: tongkol jagung; bioetanol; biokonversi; energi terbarukan

ABSTRACT

The aims of this research is to convert Lignocellulose from corn cobs waste into bioethanol as a renewable alternative fuel. The process of making ethanol from corn cobs waste can be through three important stages, hydrolyze lignocellulose to sugars, fermentation of sugars to ethanol andethanol purification. The hydrolyze process of chemically using dilute sulfuric acid. Fermentation of sugars to ethanol using Saccharomyces cerevisiae, while the purification of alcohol produced through the distillation process. The results showed that the alcohol (ethanol) obtained concentration is still below the desired standards as an energy alternative to fossil fuel.

Keywords: *corn cob; bioethanol; bioconversion; renewable energy*

Received: 31-07-2019, **Accepted**: 12-09-2019, **Online**: 30-09-2019

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumberdaya alam yang sangat berlimbah, baik sumberdaya alam yang dapat diperbaharui maupun tidak dapat diperbaharui. Minyak bumi dan batu bara merupakan contoh bahan bakar yang tidak dapat diperbaharuhi yang ketersediaanya di alam semakin menipis. Dengan menipisnya bahan bakar ini maka sudah dapat dipastikan akan berdampak pada krisis global energi.

Jagung merupakan salah satu komoditi unggulan provinsi Gorontalo, dimana produksi jagung gorontalo dari tahun ketahun mengalami peningkatan. Disamping untuk memenuhi kebutuhan hidup masyarakat gorontalo, jagung juga telah dieksport ke luar negeri seperti Malaysia dan Singapura untuk bahan baku berbagai produk seperti tepung jagung (maizena), pati jagung, minyak jagung, dan pakan ternak. Dari setiap

***Corresponding author:**
iyabuhendri@yahoo.com

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

panen jagung diperkirakan jagung (*rendemen*) yang dihasilkan sekitar 65%, sementara 35% dalam bentuk limbah berupa batang, daun, kulit, dan tongkol jagung.

Saat ini telah diketahui bahwa limbah tongkol jagung dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. Tongkol jagung merupakan limbah buangan pada industri jagung pipil yang ternyata mengandung selulosa sebesar 44.9% (Richana dkk, 2004), dan kurang lebih 30% bagian jagung merupakan tongkol jagung. Kenyataan tersebut membuat limbah tongkol jagung dari industri jagung pipil mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol karena kandungan selulosa yang cukup tinggi.

Dengan menggali kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, produksi bioetanol dari limbah tongkol jagung dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi fermentasi. Proses pembuatan bioetanol dari tongkol jagung dapat dilakukan dengan beberapa cara. Namun, secara umum ada lima tahap proses utama. Tahapan tersebut adalah delignifikasi tongkol jagung, isolasi selulosa, hidrolisis, fermentasi, dan distilasi etanol.

Delignifikasi bertujuan untuk memudahkan pelepasan hemiselulosa dan mengurangi kandungan lignin pada tongkol jagung yang dapat menghambat fermentasi selulosa menjadi gula-gula sederhana. Delignifikasi dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu pengecilan ukuran, perendaman dalam NaOCl 1 % (b/v), pembilasan, penyaringan, dan pengeringan untuk menurunkan kadar air tongkol jagung (Anggraini, 2003). Pembilasan dan penyaringan dengan air dilakukan sampai air bilasan menjadi netral.

Isolasi selulosa dilakukan untuk mengekstrak hemiselulosa dari fraksi selulosa pada tongkol jagung. Menurut Hespell (1998), ekstraksi hemiselulosa paling baik dilakukan dengan menggunakan pelarut NaOH. Isolasi selulosa dilakukan dengan perendaman tongkol jagung yang telah didelignifikasi dalam larutan NaOH 15 % selama 24 jam pada suhu 28°C. Setelah 24 jam, dilakukan penyaringan hingga didapatkan fraksi padatan berupa selulosa. Padatan tersebut dibilas berulang-ulang dengan air sampai pH menjadi netral. Kemudian dikeringkan dengan oven suhu 50°C selama 2 hari.

Dengan memperhatikan prospek bioetanol yang cukup cerah yang benilai ekonomi yang cukup tinggi, maka sangatlah perlu dilakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah tongkol jagung menjadi bioetanol sebagai energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Seperangkat alat destilasi, neraca analitik, tabung reaksi, rak tabung, gilingan jagung, ayakan, labu takar, gelas ukur, gelas kimia, alkohol meter, indikator universal, *oven*, *autoclave*, penangas air, kapas, tisue, labu erlenmeyer, *aluminium foil*, batang pengaduk, botol reagen, pipet tetes, pipet mikro, pembakar bunsen, jarum ose, *spektrofotometer*, *colony counter*, seperangkat alat titrasi, sendok, kertas saring, inkubator, cawan petri, *shaker inkubator*(inkubator goyang), Erlenmeyer, *Laminar Air Flow*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tongkol jagung, H_2SO_4 (0,1 M, 0,3 M, dan 0,5 M), Alkohol Standar, Ammonium Sulfat (ZA) 0,9 gr (sebagai nutrisi), Urea 0,48 gram (sebagai nutrisi), Aquadest, *Saccharomyces cerevisiae*, PDA (*Potato Dextrose Agar*), PDB (*Potato Dextrose Broth*), NaOH, reagen *luff schoorl*, H_2SO_4 25%, indikator amilum, KI 10%, $Na_2S_2O_3$ 0,1 N.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Prosedur Penelitian

Tahap Pra Penelitian

Perlakuan fisik terhadap tongkol jagung meliputi pencucian, pengeringan, penggilingan dan pengayaan. Pencucian dilakukan untuk menghilangkan bahan-bahan yang terikut dalam tongkol seperti tanah dan kotoran lainnya. Pengeringan dilakukan dibawah sinar matahari hingga tongkol jagung menjadi kering betul. Tujuan dari pengeringan yaitu untuk memudahkan dalam proses penggilingan serat tongkol jagung, karena pada keadaan lembab tongkol jagung sukar untuk dihancurkan. Tahap penghancuran bertujuan untuk memperkecil ukuran tongkol jagung. Semakin kecil ukuran tongkol jagung maka akan semakin mudah untuk digiling/dihancurkan. Alat yang digunakan adalah gilingan jagung, tongkol yang sudah dihancurkan kemudian diayak dengan ukuran ±40 mesh.

Tahap Penelitian

Pembiakan khamir dengan Media Cair

Pada tahap pembiakan mikroba, langkah-langkah yang dilakukan yaitu mengambil 100 mL dimasukkan ke dalam gelas kimia. Kemudian ditambahkan PDB (*Potato Dextrose Broth*) sebagai media pertumbuhan mikroba sebanyak 2,4 g. Dipanaskan sambil diaduk setelah mendidih diangkat. Dimasukkan kedalam labu erlenmeyer, ditutup dengan kapas dan *alumminium foil* agar tidak ada bakteri lain yang masuk kedalam PDB. Setelah itu disterilisasi didalam *autoclave* hingga suhu 121 °C. Kemudian diangkat dan disimpan didalam lemari *Laminar Air Flow* hingga PDB (*Potato Dextrose Broth*) dingin. Setelah itu khamir murni dimasukkan kedalam erlenmeyer yang berisi PDB (*Potato Dextrose Broth*). Didiamkan di *shaker inkubator* selama 2 hari agar pertumbuhan bakteri merata (tidak mengendap).

Pembiakkan Khamir dengan Media Agar

Langkah-langkah yang dilakukan yaitu memasukkan 30 mL aquades kedalam gelas kimia. Ditambahkan PDA (*Potato Dextrose Agar*) sebanyak 1,08 g. Dipanaskan sambil diaduk setelah mendidih diangkat. Kemudian disiapkan 5 buah tabung reaksi. Kemudian memasukkan PDA (*Potato Dextrose Agar*) yang telah mendidih ke dalam masing-masing tabung reaksi sebanyak 6 mL untuk setiap tabung. Setelah itu ditutup dengan kapas dan *alumminium foil*. Tabung dimiringkan. Setelah PDA (*Potato Dextrose Agar*) padat, gores dengan menggunakan jarum ose yang telah di celupkan kedalam PDB (*Potato Dextrose Broth*) yang telah dibiakan *Saccharomyces cerevisiae* selama 2 hari. *Saccharomyces cerevisiae* diinkubasi selama 7 hari.

Tahap Hidrolisis

Langkah awal yang dilakukan menimbang tepung tongkol jagung sebanyak 100 g. Kemudian dimasukan kedalam erlenmeyer 1.000 mL. Ditambahkan 1.000 mL larutan H_2SO_4 dengan variasi kosentrasi 0,1 ; 0,3 M ; 0,5 M. Setelah itu dihidrolisis pada suhu 100ºC selama 2 jam. Kemudian disaring untuk memisahkan filtrat dan residu.

Uji Kadar Glukosa

Langkah-langkah yang dilakukan yaitu mengambil 3 mL filtrat tepung tongkol jagung yang telah dihidrolisis. Kemudian diencerkan dengan 50 mL Aquades. Diambil 10 mL larutan. Ditambahkan 25 mL reagen *luff schoorl*, dimasukan batu didih. Setelah itu dipanaskan selama 2 menit, kemudian diangkat dan didinginkan. Kemudian ditambhakan 15 mL KI 30% dan 25 mL H_2SO_4 25%. Setelah itu dititrasi dengan larutan $Na_2S_2O_3$ 0,1 N hingga terjadi perubahan warna menjadi cokelat muda. Ditambahkan 1

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mL indikator amilum. Kemudian dititrasi kembali hingga larutan menjadi jernih. Dilakukan perlakuan yang sama pada blanko.

Tahap Fermentasi

Pada tahap ini, langkah-langkah yang dilakukan yaitu menambahkan 0,9 g Ammonium sulfat dan 0,48 g Urea sebagai nutrisi pada filtrat hasil hidrolisis yang memiliki kadar glukosa terbanyak dan mengatur pHnya 4-4,5. Kemudian menyiapkan 4 buah erlenmeyer. Pada masing-masing erlenmeyer masukkan 100 mL sampel. Setelah itu dimasukkan kedalam *autoclave* untuk disterilisi hingga suhu mencapai 121 °C. Kemudian diangkat dan didinginkan didalam lemari *Laminar Air Flow* selama 24 jam. Kemudian ditambahkan 2 ose *Saccharomyces cerevisiae* pada masing-masing tabung. Setelah itu sampel dimasukan kedalam inkubator selama variasi waktu yang telah ditentukan (3,5,7,dan 9 hari).

Tahap pengenceran sampel untuk perhitungan jumlah mikroba/koloni

Pada tahap pengenceran sampel langkah yang dilakukan yaitu menyiapkan PDA, 8 buah tabung reaksi dan 8 buah cawan petri diberi label 10^{-1} – 10^{-8} pada masing-masing tabung dan cawan. Kemudian dimasukkan 9 mL aquades kedalam tabung reaksi. Kemudian aquades tabung dan 120 mL PDA disterilisasi didalam *autoclave*. Setelah itu diangkat dan didinginkan hingga suhu maksimal 40 °C. Diambil 1 mL sampel hasil fermentasi. Kemudian dimasukkan kedalam tabung reaksi pertama (10^{-1}) yang berisi aquades dan divortex hingga larutan homogen. Setelah itu diambil 1 mL larutan pada tabung pertama dan dimasukkan pada tabung kedua (10^{-2}) menggunakan pipet mikro kemudian divortex. Dilakukan perlakuan yang sama untuk tabung 3-8. Kemudian pada masing-masing tabung di ambil 0,5 mL larutan dan dimasukkan kedalam masing-masing cawan yang telah diberi label. Ditambahkan 15 mL larutan PDA kemudian didiamkan hingga PDA memadat. Setelah itu dimasukkan kedalam inkubator selama ±48 jam. Kemudian dihitung jumlah koloni/khamir yang tumbuh pada masing-masing cawan dengan menggunakan *colony counter*.

Tahap Destilasi

Pada tahap ini filtrat hasil fermentasi dengan variasi waktu tertentu dimasukkan kedalam labu leher tiga. Kemudian didestilasi pada suhu 78ºC-80°C (suhu alkohol).

Pengukuran Kadar Bioetanol menggunakan Alkoholmeter

Untuk mengukur kadar bioetanol langkah awal yang dilakukan adalah mengukur kadar etanol standar. Kemudian mengukur bioetanol hasil destilasi dengan cara memasukkan destilat tersebut kedalam gelas ukur minimal 40 mL. Kemudian dimasukkan alkoholmeter kedalam gelas kimia. Didiamkan selama 5-10 menit. Dilihat skala yang terbaca pada alkoholmeter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap Pra Penelitian (Preparasi Sampel)

Tongkol jagung yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 98 buah. Tepung tongkol jagung yang dihasilkan setelah pengolahan sebanyak 889,19 gr. Hasil pengolahan tongkol jagung menjadi tepung tongkol jagung dapat dilihat pada gambar 1.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 1. Tahap Pengolahan Tongkol jagung menjadi Tepung Tongkol jagung

Pengaruh Variasi Kosentrasi H_2SO_4 Pada Proses Hidrolisis terhadap Kadar Glukosa

Pada proses hidrolisis digunakan asam sulfat encer pada konsentrasi 0,1 M, 0,3 M, dan 0,5 M. Penggunaan asam sulfat dengan kosentrasi yang berbeda bertujuan untuk mencari konsentrasi yang tepat untuk menghasilkan gula yang tinggi dari substrat tongkol jagung. Waktu yang digunakan pada hidrolisis selama 120 menit dan dipertahankan pada suhu 100 °C. Menurut Idral dkk (2012) waktu hidrolisis yang baik adalah 120 menit, karena jika waktu hidrolisis terlalu lama maka glukosa akan terdegradasi dan bereaksi lebih lanjut membentuk asam format, sehingga menyebabkan kadar glukosa menurun. Menurut *Feneiet*,. *at al* dalam *Anieto* (2010), bahwa waktu hidrolisis selama 120 menit merupakan waktu yang optimum dalam menghasilkan glukosa terbanyak. Pada dasarnya prinsip hidrolisis adalah memutuskan rantai polimer bahan menjadi unit-unit monomer yang lebih sederhana dengan bantuan katalis.

Pengukuran kadar glukosa dilakukan dengan menggunakan metode *Luff Schoorl*. Tujuan pengukuran kadar glukosa yaitu untuk mengetahui persentase glukosa pada masing-masing sampel. Pengukuran kadar glukosa dengan metode *Luff Schoorl* ini dapat dihitung dengan rumus pada halaman 11. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran II (halaman 38) menunjukkan bahwa kadar glukosa paling banyak terdapat pada hidrolisis dengan menggunakan larutan 0,3 M sehingga hasil hidrolisis dengan menggunakan larutan H_2SO_4 0,3 M inilah yang paling bagus digunakan untuk proses fermentasi. Semakin banyak kadar glukosa yang terkandung dalam sampel maka semakin banyak pula bioetanol yang akan dihasilkan pada saat fermentasi.

Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Bioetanol dan Jumlah *Saccharomyces cerevisiae*

Bioetanol yang dihasilkan melalui proses fermentasi masih bercampur secara homogen dengan air. Oleh sebab itu, dilakukan proses destilasi. Proses destilasi yang didasarkan perbedaan titik didih air (100°C) dan titik didih bioetanol (78°C), sehingga yang akan menguap terlebih dahulu adalah bioetanol. Dengan menjaga suhu 78°C pada saat destilasi maka hanya komponen bioetanol saja yang akan menguap. Sehingga destilat yang dihasilkan adalah bioetanol. Setelah didestilasi, destilat diukur dengan menggunakan alkoholmeter. Sebelum dilakukan pengukuran pada sampel sebaiknya alkoholmeter dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan alkohol absolut/alkohol standar. Tujuan kalibrasi ini yaitu untuk memastikan alat tersebut layak atau tidaknya untuk digunakan. Selain itu, persen kadar alkohol standar yang terbaca oleh alkholmeter nantinya digunakan dalam perhitungan faktor koreksi. Masing-masing kadar bioetanol pada sampel yang terukur dengan alkoholmeter yaitu pada fermentasi hari ke 3 (2%), hari ke 5 dan ke 7 (5%), dan pada hari ke 9 (3%). Kadar bioetanol yang terukur dengan menggunakan alcoholmeter, hasil perhitungan kadar bioetanol dapat dilihat pada tabel 1.

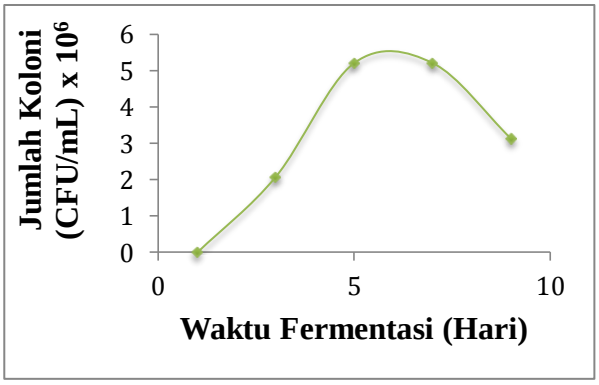
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1. Kadar Bioetanol (alkohol)

Waktu fermentasi (Hari)	Kadar bioetanol (%)
3	2,08
5	5,21
7	5,21
9	3,13

Waktu fermentasi juga dapat mempengaruh jumlah mikroba yang tumbuh. Banyaknya mikroba yang tumbuh dapat dihitung dengan menggunakan alat *colony counter***.** Setelah itu banyaknya mikroba yeng terbaca oleh *colony cunter* dihitung lagi dengan menggunakan ketentuan untuk perhitungan mikroba.

Pada saat fermentasi hari ke 3 mikroba yang tumbuh hanya sedikit (1,9 x 10^6 CFU/mL) dikarenakan *Saccharomyces cerevisiae* masih dalam fase lag. Fase lag merupakan fase dimana mikroba masih beradaptasi untuk tumbuh dan menyesuaikan diri. Pada fermentasi 5 hari(2,8 x 10^6 CFU/mL) dan 7 hari (3,0 x 10^6 CFU/mL) jumlah mikroba sudah semakin banyak. Menurut Idral (2012) glukosa di dalam media masih banyak sehingga proses pembelahan dan aktivitas fermentasi sel *Saccharomyces cerevisiae* berjalan dengan baik dan bioetanol yang dihasilkan juga banyak. Pada saat fermentasi 9 hari (1,2 x 10^6 CFU/mL) mikroba sudah mulai berkurang karena banyak yang mati, hal ini disebabkan karena ketersediaan nutrisi pada medium sudah mulai berkurang sehingga mikroba mengubah bioetanol menjadi asam asetat yang mengakibatkan penurunan kadar bioetanol. Glukosa dan ketersediaan nutrisi didalam media sudah hampir habis sehingga proses pembelahan dan aktivitas fermentasi sel *Saccharomyces cerevisiae* terhambat yang akibatnya bioetanol yang dihasilkan sedikit (Idral dkk, 2012). Banyaknya mikroba pada saat fermentasi disajikan pada gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh waktu fermentasi terhadap jumlah koloni

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan uraian pembahasan di atas maka dapat disimpulkan bahwa, kadar glukosa terbanyak terdapat pada sampel yang dihidrolisis menggunakan H_2SO_4 0,3 M yaitu 0,161%. Kadar bioetanol terbanyak dihasilkan pada fermentasi hari ke 5 dan fermentasi hari ke 7. Kadar bioetanol yang hasilkan pada fermentasi hari ke 3 (2,08%), fermentasi hari ke 5 (5,21%), fermentasi hari ke 7 (5,21%), dan fermentasi hari ke 9 (3,13%).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DAFTAR RUJUKAN

Anieto, Ugochukwu. 2010. Biofuels. (online) http://focusnigeria.com/biofuel-nigeria.htm diakses 19 februari 2013

Arianie, Idiawati. 2011. *Penentuan Lignin dan Kadar Glukosa dalm Hidrolisis Organosolv dan dan Hidrolisis Asam*. Sains Terapan Kimia Vol.5 (No.2). Hal: 6

Aryaningrum. 2011. Kandungan kimia jagung dan manfaatnya bagi kesehatan. (online) http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/tmp/artikel–ppm-jagung2.doc diakses 27 juni 2013 pukul 11:46

Balat M, Balat H, Oz C. 2008. *Progress in bioethanol processing*. Progress Energy Combustion Science 34

BPIJ. 2010. Teknik Pengembangan Budidaya Jagung Gorontalo (Binthe). (online) http:// cybex.deptan.go.id /lokalita / binthe-biluhuta-jagung - gorontalo diakses 18 februari 2013

Dewati, Retno. 2008. Limbah Kulit Pisang Kepok sebagai Bahan Baku Pembuatan Ethanol. Skripsi. UPN "Veteran" Jatim: Surabaya

Febriyanto, Endi. 2011. Spektroskopi IR dalam penentuan struktur molekul organik (online) http://endiferrysblog.blogspot.com/2011/11/spektroskopi-ir-dalam-penentuan.html diakses 28 juni 2013 pukul 8:14

Fessenden dan Fessenden. (1997). *Kimia Organik edisi ketiga.* PT Erlangga : Jakarta.

Ginting, Inggrit. 2012. Spektroskopi IR. (online) http:// ingreat.blogspot.com /2012/06/spektoskopi-ir.html diakses 17 juli 2013 pukul 4:43

Hespell, B., 1998, Extraction and Characterization of Hemicellulose from Corn Fiber Produced by Corn Wet-Milling Processes, *J. Agric. and Food Chem*, 46 : 2615-2619

Idral, Salim, Mardiyah. (2012). *Pembuatan bioetanol dari Ampas Sagu dengan Proses Hidrolisis Asam dan Menggunakan Saccharomyces cerevisiae*. Jurnal Kimia Unand, Volume 1 (No. 1).

Ikmawati. 2011. Variasi Penambahan Ragi Pada Pembuatan Bioetanol dari Kulit Umbi Kayu (Monihot esculenta) secara fermentasi. Skripsi. Fakultas MIPA Universitas Negeri Gorontalo: Gorontalo

Isroi. 2008. Mengukur Kadar Bioetanol. (online) http:// isroi.com/2008/12/19/ mengukur-kadar-bioetanol/ diakses 15 juli 2013

Kwartiningsih, Mulyati. 2005. Fermentasi sari buah nanas menjadi vinegar. EKUILIBRIUM Vol.4 (No.1) Hal: 2

Nugraheni, Purnaningsih, Novianitasari, wulandari. 2012. Materi Bakteorologi Perhitungan Jumlah Mikroba. (online) http ://desidicik.blogspot.com/2013/04/ makalah-bakteriologi-perhitungan-jumlah.html diakses 22 juni 2013 Pukul 16:28

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Raudah, Ernawati. 2012. Pemanfaatan kulit kopi arabika dari proses pulping untuk pembuatan bioetanol. Jurnal reaksi (Jurnal of science and Technology) Vol 1 (No.21)

Richana, Suwarni. (2007). *Teknologi Pengolahan Jagung*. (Online) *http://pustaka.litbang.deptan.go.id/bppi/lengkap/bpp10249.pdf* diakses 22 februari 2013 pukul 17:00

Sari, Ketut. (2009). *Produksi Bioetanol dari Rumput Gajah Secara Kimia*. Jurnal Teknik Kimia Vol.4 (No.1).

Soebagio. (2003). *Kimia Analitik II*. JICA : Malang.

Soeprijanto. (2010). Biokonversi lignoselulosa dari residu limbah pertanian menjadi biofuel melalui hidrolisis enzim dan fermentasi. Pidato Pengukuhan untuk Jabatan Guru Besar. Kementrian Pendidikan Nasioanal Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya

Soeprijanto. (2008). *Biokonversi Selulose dari Limbah Tongkol Jagung Menjadi Glukosa Menggunakan Jamur Aspergilus Niger.* Jurnal Purifikasi Vol. 9 (No . 2).

Supratman, Unang. 2008. Elusidasi Struktur Senyawa Organik. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Padjadjaran. Jatinangor

Sudarmaji, Haryono, Suhardi. 1989. *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Penerbit Liberty Yogyakarta Bekerja Sama dengan Pusat Antar universitas Pangan dan Gizi Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta

Thayib, Amar. 1989. *Petunjuk Praktikum Mikrobiologi Pengolahan*. Laboratorium Mikrobiologi Pengolahan Fakultas Teknologi Pertanian Institut Teknologi Indonesi: Serpong

Thenawijaya, Maggy**.** (1982). *Lehninger Dasar-dasar Biokimia Jilid 1*. Erlangga: Jakarta.

Thenawijaya, Maggy**.** (1982). *Lehninger Dasar-dasar Biokimia Jilid 2*. Erlangga: Jakarta.

Underwood. 1996. *Analisa Kimia Kuantatif*. Jakarta: Erlangga

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

BIOPELLET BAMBU BETUNG (*Dendrocalamus asper*) SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN

Fakhruzy
Dosen Jurusan Kehutanan Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat
Email: fakhruzy8@gmail.com

Abstrak

Biopellet merupakan salah satu sumber energi terbarukan. Nilai kerapatan diperoleh dari penelitian ini yaitu BTK 60-80 mesh sebesar 0,997 gr/cm^3 dan, BTK 80-100 mesh sebesar 1,080 gr/cm^3 sedangkan BK 60-80 mesh sebesar 0,554 gr/cm^{3}dan BK 80-100 mesh sebesar 0,528 gr/cm^3. Berdasarkan SNI 8021-2014 nilai kerapatan BK 60-80 mesh dan BK 80-100 mesh belum memenuhi standar sedangkan untuk nilai kerapatan BTK 60-80 mesh dan 80-100 mesh sudah memenuhi standar. Nilai uji keteguhan tekan perlakuan BTK 60-80 mesh sebesar 4,06 kgf/cm^2 dan BTK 80-100 mesh sebesar 4,23 kgf/cm^2 sedangkan BK 60-80 mesh sebesar 1,54 kgf/cm^2 dan BK 80-100 mesh sebesar 1,60 kgf/cm^2. Nilai kadar air BTK 60-80 mesh sebesar 3,980%, BTK 80-100 mesh 2,354%, BK 60-80 mesh 5,374%, dan BK 80-100 mesh 5,319%. Nilai kadar air sudah menenuhi standar SNI 8021-2014. Pengujian kadar zat terbang menunjukkan BTK 60-80 mesh 72,45% dan BTK 80-100 mesh 71,81% sedangkan untuk BK 60-80% 73,97 dan BK 80-100 mesh 73,68%. Nilai uji kadar zat terbang sudah menenuhi standar SNI 8021-2014. Nilai kadar abu sangat tinggi yaitu BTK 5,75% dan BK 6,05%. Nilai kadar zat abu belum memenuhi standar SNI 8021-2014 yaitu ≤ 1,5%. Nilai pengujian kadar karbon terikat adalah BTK 80-100 mesh sebesar 20,09% dan BK 80-100 mesh sebesar 14,96%. Nilai kadar karbon terikat sudah memenuhi standar SNI 8021-2014 yaitu ≥ 14%. Nilai kalor BTK sebesar 4216 Kkal/kg dan nilai kalor BK 4177 Kkal/kg. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kalor belum memenuhi standar SNI 8021-2014 yaitu sebesar 4400 Kkal/kg.

Kata kunci: Bambu betung, biopellet, SNI 8021-2014

PENDAHULUAN

Perkembangan penelitian untuk menemukan sumber energi yang baru dan terbarukan menjadi fokus dari para peneliti di dunia saat ini, hal ini disebabkan oleh terus meningkatnya konsumsi energi setiap tahunnya, sehingga akan menyebabkan ketersediaan sumber energi yang ada semakin menipis. Seperti halnya negara Jepang yang sangat membutuhkan energi batu bara untuk menghangatkan ruangan pada musim dingin dan juga untuk kebutuhan industri. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, ekspor batu bara Indonesia ke Jepang saja terus mengalami peningkatan dari tahun 2002 - 2010 yaitu sekitar 16.705,9 - 35.266,7 ton/tahun.

Oleh karena itu, perlu solusi untuk menyikapi kebutuhan energi tersebut, yaitu salah satunya dengan cara memanfaatkan biomassa tumbuhan yang selanjutnya diolah untuk meningkatkan nilai gunanya menjadi biopellet. Faktor yang menentukan layaknya suatu biomassa untuk menjadi energi alternatif adalah nilai kalor bahan baku, semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan maka semakin bagus biopellet yang dihasilkan (Kusumaningrum dan Munawar, 2014). Menurut penelitian Rohmatullah (2014) nilai kalor biopellet dari kelapa sawit memenuhi standar nilai kalor sebesar 17.89 - 19.14 MJ/kg.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Sumber bahan baku biomassa tumbuhan diantaranya ampas tebu (Hartadi, 2015), serbuk gergaji, batang sawit (Rohmatullah, 2014), jerami dan sebagainya. Penelitian ini sendiri menggunakan bahan baku dari bambu betung (*Dendrocalamus asper*). Pemilihan bambu ini didasari atas belum adanya penelitian memanfaatkan bambu untuk diolah menjadi biopellet, selain itu, pemanfaatan bambu yang belum optimal dan ketersediaan berlimpah yang didukung oleh pertumbuhan bambu yang sangat cepat dibanding sumber biomassa lainnya.

KAJIAN PUSTAKA

a. Deskripsi Umum Bambu

Bambu umumnya tersebar luas di Asia Tenggara yang dimanfaatkan masyarakat untuk bahan bangunan atau konstruksi (Bachtiar, 2008) dan kerajinan rumah tangga (Zamaludin, 2014). Bambu termasuk ke dalam famili *Gramineae*, suku *Bambuseae*, dan sub famili *Bambusoidae*. Ciri - ciri umum fisik bambu terdiri dari batang, akar *rhizoma* dan sistem percabangan yang kompleks serta tangkai daun yang menyelubungi batang.

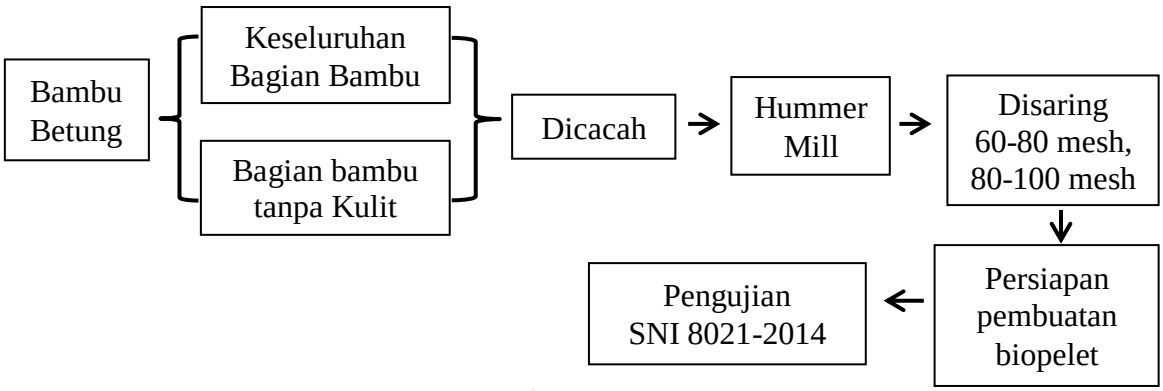
Potensi jenis bambu di Indonesia ada sekitar 143 jenis (Widjaja, 2001). Menurut Krisdianto *et al* (2000) umumnya jenis bambu yang sering digunakan adalah bambu tali (*Gigantochloa apus*), bambu betung (*Dendrocalamus asper*), bambu andong (*Gigantochloa psedoarundinaceae*), dan bambu hitam (*Gigantochloa atriviolaceae*).

b. Perkembangan Penelitian Tentang Biopellet

Umumnya sekarang ini pemanfaatan bahan baku biomassa tumbuhan untuk biopellet menggunakan kayu (*wood pellet*) atau disebut juga dengan biopellet. Kelebihan *wood pellet* pada dasarnya solid dan memiliki kerapatan yang konsisten dan memiliki output panas yang tinggi sampai mencapai 5000 kilo kalori yang setara dengan batu bara dan kadar air yang rendah dengan kelembaban antara 7-10%. Selain itu, mudah dalam penyimpanan dan pengangkutan karena memiliki ukuran dimensi dengan diameter 4.8 - 19 mm dan panjang 12.7 - 25.4 mm (Kaliyan dan Morey 2009a) , rendah polusi, dan kadar abu rendah (Wang *et al*, 2013). Teknologi *wood pellet* merupakan sebuah terobosan untuk memecahkan solusi akan ketergantungan terhadap sumber energi yang bersifat tidak terbarukan.

METODOLOGI PENELITIAN

Rancangan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Rancangan Penelitian

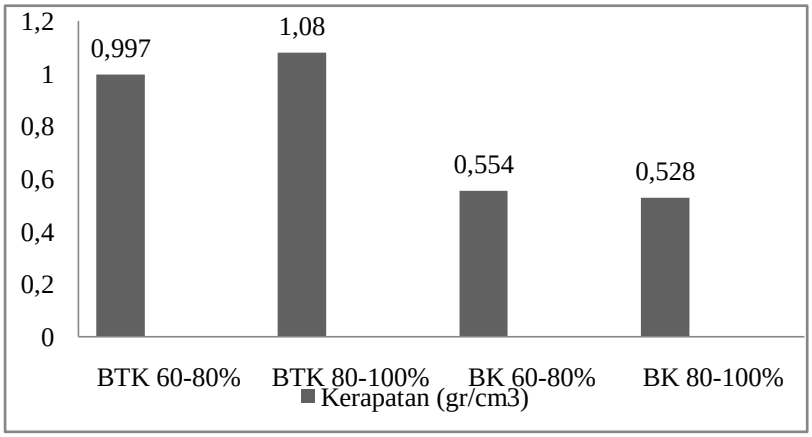
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pengujian yang dilakukan mengacu pada SNI 8021-2014 yaitu kerapatan, keteguhan tekan, kadar air, kadar zat terbang, kadar zat abu, kadar karbon terikat, dan kadar kalor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Kerapatan

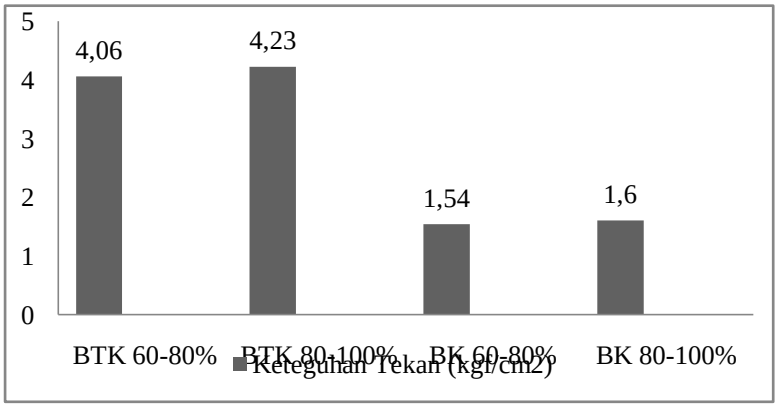
Nilai kerapatan diperoleh dari penelitian ini adalah BTK 60-80 mesh sebesar 0,997 gr/cm^3, BTK 80-100 mesh 1,080 gr/cm^3, BK 60-80 mesh 0,554 gr/cm^3, dan BK 80-100 mesh 0,528 gr/cm^3. Berdasarkan SNI 8021-2014 nilai kerapatan BK 60-80 mesh dan BK 80-100 mesh belum memenuhi standar sedangkan untuk nilai kerapatan BTK 60-80 mesh dan 80-100 mesh sudah memenuhi standar.



Gambar 2. Nilai Uji Kerapatan

b. Keteguhan Tekan

Untuk standar SNI tidak mensyaratkan nilai untuk uji keteguhan tekan. Nilai uji keteguhan tekan penelitian ini yaitu perlakuan BTK 60-80 mesh sebesar 4,06 kgf/cm^2 dan BTK 80-100 mesh sebesar 4,23 kgf/cm^2 sedangkan pada BK 60-80 mesh sebesar 1,54 kgf/cm^2 dan BK 80-100 mesh sebesar 1,60 kgf/cm^2.

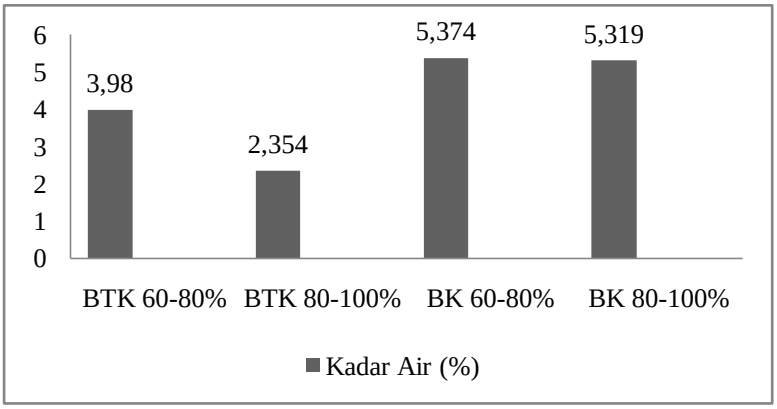


Gambar 3. Nilai Uji Keteguhan Tekan

c. Kadar Air

Nilai kadar air yang diperoleh dalam penelitian ini BTK 60-80 mesh sebesar 3,980%, BTK 80-100 mesh 2,354%, BK 60-80 mesh 5,374%, dan BK 80-100 mesh 5,319%. Hasil pengujian memenuhi standar SNI 8021-2014 yang menetapkan nilai uji kadar air untuk wood pellet sebesar ≤12%.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



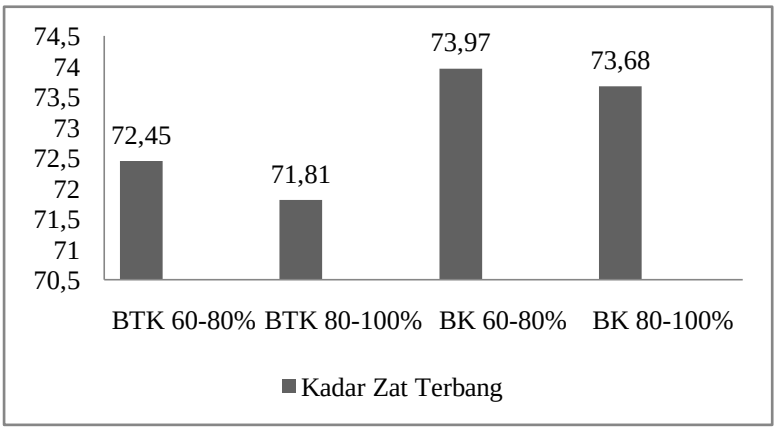
Gambar 4. Nilai Uji Kadar Air

d. Kadar Zat Terbang

Hasil penelitian menunjukkan BTK 60-80 mesh 72,45% dan BTK 80-100 mesh 71,81% sedangkan untuk BK 60-80% 73,97 dan BK 80-100 mesh 73,68%. Nilai pengujian kadar zat terbang memenuhi standar SNI 8021-2014 yang mensyaratkan ≤ 80%.

e. **Kadar Zat Abu**

Nilai kadar zat abu mempengaruhi kualitas biopellet dalam hal panas yang dihasilkan, kadar abu yang tinggi menyebabkan adanya penumpukan sehingga menyebabkan berkurangnya panas dihasilkan. Abu merupakan sisa hasil pembakaran. Kadar abu dihasilkan dalam penelitian ini sangat tinggi yaitu BTK 5,75% dan BK 6,05%. Kadar abu yang tinggi menyebabkan pembentukan slag sehingga menurunkan efisiensi pembakaran (Compete, 2009). Nilai uji kadar zat abu belum memenuhi standar yang disyaratkan SNI 8021-2014 yaitu ≤ 1,5%.



Gambar 5. Nilai Uji Kadar Zat Terbang

f. Kadar Karbon Terikat

Kadar karbon terikat menurut Speight (2005) merupakan karbon yang terikt selain air, zat terbang, dan abu dan menjadi indikator untuk mengetahui jumlah material padat yang terbakar setelah komponen zat terbang dihilangkan. Nilai pengujian karbon terikat adalah BTK 80-100 mesh sebesar 20,09% dan BK 80-100 mesh sebesar 14,96%. Nilai uji kadar karbon terikat memenuhi sudah standar SNI 8021-2014 yaitu ≥ 14%.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

g. Kadar Kalor

Nilai kalor merupakan indikator yang penting untuk biopellet. Nilai kalor menunjukkan nilai panas yang dihasilkan oleh biopellet. Penelitian ini menghasilkan nilai kalor BTK sebesar 4216 Kkal/kg dan nilai kalor BK 4177 Kkal/kg. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kalor belummemenuhi standar SNI 8021-2014 yaitu 4400 Kkal/kg.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Perlakuan Bambu Tanpa Kulit (BTK) memiliki nilai uji lebih tinggi dibanding perlakuan Bambu dengan Kulit dan ukuran 80-100 mesh memiliki nilai uji lebih tinggi dibanding ukuran 60-80 mesh
2. Perlakuan BTK sudah memenuhi standar uji SNI 8021-2014 untuk pengujian kerapatan, kadar air, zat terbang, karbon terikat. Sedangkan untuk uji kadar zat abu dan kalor belum memenuhi standar.
3. Perlakuan BTK sudah memenuhi standar uji SNI 8021-2014 untuk pengujian kadar air, kadar zat terbang, dan karbon terikat. Sedangkan untuk uji kerapatan, zat abu, dan kalor belum memenuhi standar.

Saran

1. Disarankan untuk membuat biopellet dengan bambu betung dengan meningkatkan ukuran mesh bahan baku
2. Mencoba membuat biopellet dengan mengkombinasikan bahan baku bambu betung dengan bahan berlignoselulosa lainnya, agar meningkatkan kualitas biopellet yang dihasilkan

DAFTAR PUSTAKA

Akbar, R.N. 2017. Karakteristik Pellet Kaliandra Merah (*Caliandra calothyrus*) Sebagai Bahan Bakar Ramah Lingkungan. Institut Pertanian Bogor: Bogor.

Bachtiar, G. 2008. Pemanfaatan Buluh Bambu Tali Sebagai Komponen pada Konstruksi Rangka Batang Ruang. Institut Pertanian Bogor: Bogor.

Bhattacharya SC, Leon MA, Rahman MM. 1996. *A Study on Improved Biomass Briquetting*, Energy Progam. Thailand (TH): SERD-AIT.

Hartadi, N. 2015. Pemanfaatan Limbah Tebu Menjadi Briket dan Biopelet. Institut Pertanian Bogor: Bogor.

Kaliyan N dan Morey RV. 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Journal of biomass and energy*. 33: 337-359

Kusumaningrum, W.B dan Munawar, S.S. 2014. Prospect of Bio-pellet as an Alternative Energy to Substitute Solid Fuel Based.

Rahman. 2011. Uji Keragaan Pellet dari Biomassa Limbah Sekam Padi (*Oryza sativa* sp) sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan. Fakultas Teknologi Pertanian IPB. Bogor

Rohmatullah, M. A. 2014. Biopellet: Energi Terbarukan Dari Batang Kelapa Sawit. Institut Pertanian Bogor: Bogor.

Speight JG. 2005. *Handbook of Coal Analysis*. New Jersey: John Wiley & Son, Inc.

[SNI] Standar Nasional Indonesia. 2014. Pelet Kayu. No: 8021-2014. Indonesia.

Zamaludin. 20014. Pengaruh Sistem Pertukaran Sosial Pada Tingkat Keberlanjutan Usaha Kerajinan Bambu. Institut Pertanian Bogor: Bogor.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Wang C, Zhang L, Liu J. 2013. Cost of non-renewable energy in production of wood pellets in China. Education press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi 10.1007/s11707-013-0358-y.

Widjaja, EA. 2001. Identifikasi Jenis-Jenis Bambu di Jawa. Bogor. Balai Penelitian Botani

Yuniar. 2016. Ketahanan Bambu Betung (*Dendrocalamus asper* Backer) Terhadap Rayap Pasca Pegawetan Dengan Senyawa Boron. Institut Pertanian Bogor: Bogor.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

SHARE: SOCIAL WORK JURNAL	VOLUME: 6	NOMOR: 1	HALAMAN: 1 --153	ISSN:2339 -0042 (cetak) ISSN: 2528-1577 (*elektronik*)

CROWDFUNDING SEBAGAI PEMAKNAAN ENERGI GOTONG ROYONG TERBARUKAN

Oleh :
Maulana Irfan[1]
[1.] Mahasiswa Program Doktor Kesejahteraan Sosial FISIP Universitas Padjadjaran

Email:
mirfan@gmail.com

Abstrak

Nilai-nilai gotong royong sebagai budaya Indonesia yang merupakan bentuk solidaritas sosial masyarakat diduga kian samar atau bahkan menghilang di kehidupan saat ini. Ini terjadi seiring kencangnya laju globalisasi. Perubahan yang terjadi diikuti pula oleh perkembangan teknologi, diantaranya teknologi telekomunikasi berupa handphone. Berawal hanya berfungsi sebagai alat telokomunikasi sederhana hingga sampai pada teknologi *smartphone* yang memungkinkan pengguna menjelajah jejaring internet yang dikenal dengan istilah media sosial. Keterjangkauan yang luas memberi peluang komunitas netizen berinteraksi antar sesama individu melalui media sosial. Seiring dengan perubahan itu membawa pada perkembangan aspek lainnya, sebagian orang menggunakan sebagai ajang pergaulan semata, sebagian menggunakannya sebagai wadah usaha *(e-commerce)*, bahkan sebagian masyarakat lainnya menggunakan menjadi gerakan sosial. Media sosial dapat menjadi potensi positif dalam membangun perubahan perilaku masyarakat. Gerakan sosial pun dapat memperkuat peran sosial media untuk menyuarakan kesamaan rasa atas ekspresi ketidaknyaman dalam sebuah tatanan pemerintahan yang saat ini terjadi hingga sampai pada membangun kesepakatan membuat kegiatan nyata untuk merealisasikan gerakannya. Beberapa organisasi nirlaba memanfaatkannya melalui jejaring internet dalam melakukan penggalangan dananya, dengan memunculkan proyek dan portofolio. Aktifitas *Fundraising* melalui jejaring sosial disebut dengan *Crowdfunding. Crowdfunding* merupakan suatu model pendanaan dengan beberapa aktor yang berperan didalamnya. Semangat kolaborasi tersebut merupakan semangat yang sudah menjadi budaya nusantara, yaitu semangat gotong royong. Konsekuensi perubahan sosial dalam konsep gotong royong ternyata bermetamorforsis dalam media yang berbeda. Esensi gotong royong sebagai tindakan bekerja sama tanpa pamrih tetap tidak hilang. Namun berubah dengan menggunakan cara yang berbeda. Potensi ini dapat menjadi sebuah strategi baru bagi organisasi nirlaba atau organisasi pelayanan sosial dalam membangun jejaring khalayak yang lebih luas. Termasuk didalamnya adalah peran pekerja sosial.

Kata Kunci: Gotong royong,Media Sosial, Pekerja Sosial, Fundraising, Crowdfunding

PENDAHULUAN

Budaya gotong royong sudah melekat dalam karakteristik bangsa Indonesia. Praktik gotong royong telah ada sejak lama di berbagai daerah di Indonesia. Misalnya di pedesaan Jawa yang masih melakukan praktik tradisi gotong royong dalam pembangunan rumah, perkawinan dan kematian. Di Toraja, Sulawesi Selatan, mempraktikkan *arisan tenaga*, yaitu kegiatan semacam kerja bakti bergilir untuk menggarap sawah atau ladang milik warga lain. Suku Dayak melakukan hal yang sama yang disebut *sa'aleant.*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gotong-royong juga diartikan sebagai bentuk solidaritas sosial. Terbentuk karena adanya bantuan dari pihak lain, untuk kepentingan pribadi ataupun kepentingan kelompok, sehingga di dalamnya terdapat sikap loyal dari setiap warga sebagai satu kesatuan. Dalam hal ini, Parson (1951 : 97 – 98) mengemukakan,

> *Loyalty is, as it were, the uninstitutonalized precusor of solidarity, it is the "spilling over" of motivation to conform with the interests or expectations of alter beyond the boundaries of any institutionalized or agreed obligation. Collectivity-orientation on the other hand converts this "propensity" into an institutionalized obligation of the role-expectation. Then whether the actor "feel like it" or not, he is obligated to act in certain ways and risks the application of negative sanctions if he does not.*

Dalam artikel hasil penelitian Achsannanda Maulyta Sari[1], menunjukkan bahwa nilai gotong royong dalam tradisi kerja bakti menjadi karakter bangsa yang diturunkan secara turun-temurun oleh para pendahulu kita yang didalamnya kaya akan nilai edukatif. Akan tetapi dalam kencangnya laju globalisasi saat ini, tradisi kerja bakti yang manfaatnya penting untuk mewariskan nilai luhur bangsa kini menjadi kian samar. Nilai gotong royong seakan pasang surut timbul dalam kehidupan masyarakat sekarang. Maka diharapkan, tradisi kerja bakti dapat bertahan sebagai salah satu bentuk gotong royong yang dilestarikan. Menegakkan tradisi ini tentu tidak lepas dari peran masyarakatnya dalam membangun rasa kebersamaan, persatuan, dan kepedulian sosial. Sehingga masyarakat terdidik bukan menjadi individualistik, melainkan mementingkan kepentingan umum demi bangsa dan negaranya.

Pasang surut bentuk kegotongroyongan ini adalah sebuah konsekuesi atas arus pembangunan yang membawa pada perubahan sosial. Rogers et.al. mengemukakan bahwa perubahan sosial adalah suatu proses yang melahirkan perubahan-perubahan didalam struktur dan fungsi dari suatu sistem kemasyarakatan. Sedangkan Selo Soemarjan dan Soelaeman Soemardi mengemukakan bahwa perubahan sosial diartikan sebagai suatu variasi dari cara-cara hidup yang telah diterima, baik karena perubahan-peubahan kondisi geografis, kebudayaan material, komposisi penduduk, idiologi, maupun karena adanya difusi atau penemuan-penemuan baru dalam masyarakat tersebut. Soerjono Soekanto merumuskan bahwa perubahan sosial *adalah segala perubahan-perubahan pada lembaga-lembaga kemasyarakatan di dalam suatu masyarakat, yang mempengaruhi.*

[1] Achsannanda Maulyta Sari ,2015. Artikel. Menegakkan Tradisi Kerja Bakti Sebagai Bentuk Revitalisasi Nilai Gotong Royong, *Departemen Pendidikan Sastra Jepang ,Universitas Airlangga*

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Seperti diketahui bahwa gotong-royong sebagai bentuk integrasi, banyak dipengaruhi oleh rasa kebersamaan antar warga komunitas yang dilakukan secara sukarela tanpa adanya jaminan berupa upah atau pembayaran dalam bentuk lainnya. Gotong-royong tidak selamanya perlu dibentuk kelembagaan secara resmi melainkan cukup adanya pemberitahuan pada warga komunitas mengenai kegiatan dan waktu pelaksanaannya, kemudian pekerjaan dilaksanakan setelah selesai bubar dengan sendirinya. Adapun keuntungan adanya gotong-royong ini yaitu pekerjaan menjadi mudah dan ringan dibandingkan apabila dilakukan secara perorangan; memperkuat dan mempererat hubungan antar warga komunitas di mana mereka berada bahkan dengan kerabatnya yang telah bertempat tinggal di tempat lain, dan menyatukan seluruh warga komunitas yang terlibat di dalamnya.

Pertanyaan pada pemaknaan gotong royong seiring dengan perkembangan jaman, akankah menjadi memudar atau bahkan hilang? Berikutnya, akankah aktifitas ini masih layak dilakukan di tengah masyarakat yang sudah berubah? Hanya sekedar melakukan kegiatan kerja bakti di tengah komplek perumahan elit perkotaan, mungkinkah ini bisa dilakukan? Terlebih jika ada musibah yang terjadi di lingkungan sekitarnya.

Pembangunan yang membawa perubahan sosial pada aspek teknologi diantaranya seolah membangun dunia sendiri bagi lingkungan elitis tertentu membawa pada ruang *privacy* yang seolah semakin sulit membangun interaksi sosial yang semakin intim. Perkembangan teknologi khususnya di bidang telekomunikasi, menjadi jawaban bagi mereka yang tetap ingin berkomunikasi tanpa harus kehilangan waktu banyak.

Kehadiran media sosial menjadi sebuah sosok dan simbolisasi dunia modern. Media pergaulan beralih pada media yang berbeda. Berawal perkembangan komunikasi *Handphone* yang memungkinkan berkomunikasi tanpa mengganggu mobilitas tinggi mereka, hingga menuju penggunaan *Smartphone* yang semakin memungkinkan menggunakan berbagai fungsi media sosial dan berkomunikasi dalam satu genggaman tangan saja.

Terlebih jika melihat data statistic terkait dengan penggunaan internet di Indonesia yang dilansir dalam situs http://www.instink.co.id yang digambarkan sebagai berikut :

Gambar 2.

Data Pengguna Internet di Indonesia

Dalam situs tersebut dijelaskan pula pernyataan dari Dirjen Sumber Daya Perangkat Pos dan Informatika (SDPP) .

> "Dunia teknologi dan internet berkembang sangat pesat di dunia, tak terkecuali Indonesia. Imbasnya, jumlah

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

pengguna internet saat ini semakin besar dan bertambah terus setiap harinya. "Dari 245 juta penduduk Indonesia, pengguna internet di Indonesia mencapai 55 juta orang," ungkap Budi. Hal ini dikemukan oleh Dirjen Sumber Daya Perangkat Pos dan Informatika (SDPP) Kemenkominfo Budi Setiawan. Angka 55 juta pengguna ini berdasarkan data Desember 2011, berarti saat ini tentu jumlah sudah jauh di atas angka tersebut.Jumlah pengguna internet di Indonesia menguasai Asia sebesar 22,4 persen, setelah Jepang. Budi menyebutkan, Indonesia merupakan negara peringkat ketiga di Asia untuk jumlah pengguna internet. Sementara itu, ujar dia, berdasarkan penelitian Nielsen, Indonesia juga masuk sebagai pengguna perangkat *mobile* tertinggi sebanyak 48 persen, diikuti oleh Thailand dan Singapura.(www.instink.co.id. diunduh pada tanggal 9 Mei 2015 pukul 18:45)



Data tersebut menunjukkan bahwa potensi pengguna internet tersebut dapat menjadi media untuk berkomunikasi baik untuk kepentingan pribadi, bisnis maupun sosial. Menurut Miftachul (2012) lembaga penelitian swasta, Ipsos Indonesia, yang dimuat dalam salah satu artikel di situs Daily Sosial, dikatakan bahwa "Indonesia berada di peringkat teratas dalam penggunaan internet untuk sosial media, termasuk forum dan blog. 83% pengguna internet Indonesia mengunjungi sosial media saat online. Jumlah ini di atas Argentina (76%), Rusia(75%), Afrika Selatan (73%), Swedia (72%), Spanyol (71%), dan Hungaria (70%). Jika dilihat secara global, 62% pengguna internet di dunia menggunakan internet untuk sosial media."

Ini membuktikan bahwa perkembangan teknologi sudah tidak bisa dihindari, proses sosial sudah berubah sesuai dengan kondisi kekiniannya. Seiring dengan perubahan itulah tenyata membawa pada perkembangan aspek lainnya. Sementara sebagian orang menggunakan teknologi telekomunikasi dan media sosial sebagai ajang pergaulan semata, sebagian lagi menggunakannya sebagai wadah usaha *(e-commerce)*, bahkan sebagian masyarakat lannya menggunakan menjadi gerakan sosial.

GERAKAN SOSIAL DALAM TEKNOLOGI MEDIA SOSIAL

Banyak ahli yang melihat gerakan sosial adalah sebuah respon atas sebuah perosalan sosial yang terjadi di kehidupan sosialnya. Gerakan sosial dapat diartikan sebagai tuntutan dari sekumpulan individu ketika menghendaki sebuah perubahan. Charles Tilly, mengungkapkan bahwa gerakan sosial adalah sebagai sebuah tindakan atau

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

performance yang berkelanjutan secara bertahap, pertunjukan dan kampanye yang dilakukan oleh orang-orang bisaa dan mereka membuat tuntutan secara kolektif terhadap yang lain. Pada intinya dapat dikatakan bahwa gerakan sosial adalah sebuah kendaraan besar untuk orang-orang bisaa untuk berpartisipasi dalam publik politik. Menurut Tilly bahwa ada 3 elemen penting yang melekat pada gerakan sosial,sebagai berikut:

- Kampanye adalah sebuah pertahanan, organisir kekuatan publik dan membuat tuntutan kolektif pada target otoritas
- Seleksi gerakan sosial adalah kombinasi dari pekerja dari dan diantara pengikuti aksi partai politikb, menciptakan perkumpulan/asosiasi yanng bertujuan khusus dan koalisi,pertemuan umum, pertemuan formal, rapat umum, demostrasi, penyampaian petisi, pernyataan ke dan dalam media umum, dan selebaran.

Sedangkan menurut Sidney Tarrow, menyatakan bahwa gerakan sosial sebagai tantangan kolektif/bersama(kepada elit,otoritas,kelompok lain atau peraturan budaya) oleh orang-orang yang mempunyai tujuan yang umum dan solidaritas dalam interaksi yang berkesinambungan dengan elit,oposisi dan otoritas. Tarrow membedakan secara khusus gerakan sosial dari partai politik dan kelompok kepentingan.

Melihat hal tersebut, dapat dikatakan bahwa gerakan sosial bisa muncul sebagai akibat adanya ketidaknyamanan dari satu komunitas atau masyarakat terhadap situasi yang terjadi dalam kehidupannya. Mereka bereaksi secara spontan untuk menciptakan perubahan. Reaksi tersebut menjadi wajar terjadi manakala, pemerintah sebagai pihak yang memiliki otoritas tertinggi tiak mampu menjawab atas sebuah masalah yang terjadi.

Kondisi *status quo* ini seringkali memicu sebagian masyarakat untuk bertindak. Tindakan tersebut diantaranya dituangkan dalam bentuk gerakan sosial melalui media sosial. Seperti peristiwa yang saat ini sedang menghangat di media sosial atau di kalangan *netizen* tentang kasus rekaman pembicaraan antara Setya Novanto dkk dengan Pejabat Freeport. Manakala peristiwa itu dipandang masyarakat melukai hati nurani masyarakat dan pemerintah lamban bertindak, sebagian masyarakat menuangkan reaksinya melalui media sosial twitter *#papamintasaham*.

Ini salah satu ilustrasi saja dalam menangkap fenomena gerakan sosial yang dilakukan melalui media sosial. Ilustrasi ini menunjukkan pula bahwa media sosial dapat menjadi potensi positif dalam membangun perubahan perilaku masyarakat. Potensi ini menjadi sebuah keunikan bagi sebagain orang untuk memanfaatkannya. Beberapa masyarakat menggunakannya dengan terorganisasi secara baik untuk membangun

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

gerakan sosial dalam bentuk kepedulian sosial atas masalah yang terjadi di masyarakat.

Mengacu dari potensi positif yang dimiliki sosial media dalam implementasinya, maka gerakan sosial pun dapat memperkuat peran sosial media untuk menyuarakan berbagai hal. Mulai dari menyuarakan kesamaan rasa atas ekspresi ketidaknyaman dalam sebuah tatanan pemerintahan yang saat ini terjadi hingga sampai pada membangun kesepakatan membuat kegiatan nyata untuk merealisasikan gerakannya.

Bahkan sebagian lagi memanfaatkan media sosial untuk menggagas ide atau inovasi sosial yang bermanfaat bagi masyarakat banyak. Beberapa organisasi nirlaba memanfaatkannya melalui jejaring internet dalam melakukan penggalangan dananya. Dengan memunculkan proyek dan portofolio lembaganya, memungkinkan *audience* melihat kiprah lembaga dan bagi lembaga memungkinkan mendapatkan khalayak yang lebih luas. Artinya peluang donatur yang tidak terbatas.

Ini sangat mungkin terjadi mengingat tehnologi jejaring internet tidak mengenal batas wilayah. Selama jejaring tersebut terkoneksi ke seluruh lapisan dunia, seluas itu pula khalayak *netizen* dapat terjangkau. Voshel (2015) mengungkap:

> *The Internet today is ubiquitous. It has worked its way into every corner of our lives—including our professional practice—and it is here to stay. Technological advances have threatened our economic and personal security and these advances have changed the face of communication forever.*[2]

Bahwa keberadaan internet adalah sebuah kemajuan teknologi yang tidak bisa kita hindari, maka apapun bisa dilakukan demi mencapai sebuah tujuan. Termasuk digunakan untuk menghubungkan sistem sumber dalam penggalangan dana untuk gerakan sosialnya.

CROWDFUNDING SEBAGAI PERUBAHAN ENERGI GOTONG ROYONG TERBARUKAN

Pada tahun 2010 sampai dengan 2011 banyak lembaga bantuan layanan sosial yang terhambat dalam hal pendanaan, seperti contohnya fenomena Lembaga Bantuan Hukum (LBH) APIK dan Yayasan Pulih. Kedua lembaga pelayanan sosial ini merupakan lembaga pelayanan sosial yang bergerak dalam bidang Kekerasan Dalam Rumah Tangga (KDRT). LBH APIK dan Yayasan Pulih dalam tahun 2010-2011 hampir gulung tikar karena terhambat masalah dana. Menurut keterangan dari pengurus LBH APIK, hal ini bisa terjadi karena salah satu dari dua pendonor utama akan menyatakan mundur.

[2] Elizabeth Harbeck Voshel, ACSW, LMSW. *Sosial Media & Sosial Work Ethics: Determining Best Practices in an Ambiguous RealityJournal of Sosial Work Values & Ethics, Spring 2015, Vol. 12, No. 1 - page 67*

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Hal yang hampir serupa juga dialami oleh Yayasan Pulih. Yayasan Pulih bergerak dalam bidang KDRT dalam hal pemberian konseling. Ketika Yayasan Pulih memberikan layanannya, yayasan ini menentukan tarif sebesar Rp10.000,00 untuk konseling dan Rp 100.000,00 per kedatangan. Awalnya tarif ini dipasang untuk membantu biaya operasional dalam Yayasan Pulih, tapi pada akhirnya tarif yang dipasang ini pun tidak dapat membantu dalam pembiayaan operasional keseharian Yayasan Pulih dan Yayasan Pulih terancam gulung tikar.

Fenomena di atas memberikan fakta bahwa masih banyak lembaga pelayanan sosial dan organisasi nirlaba yang kurang maksimal dalam memberikan layanannya dikarenakan kesulitan dalam pembiayaan. Hambatan yang terjadi ini mencerminkan bahwa lembaga pelayanan tersebut kurang baik dalam manajemen lembaganya terutama dalam bidang penggalangan dana atau *Fundraising*. Kesinambungan organisasi, terutama kesinambungan keuangan kelembagaan, haruslah menjadi salah satu fokus perhatian utama. Dengan memperkuat keuangan kelembagaan, lembaga pelayanan sosial akan mampu bertahan dan berkembang sehingga program-program yang ada tetap terlaksana dan berkembang sesuai tuntutan dan kebutuhan masyarakat.

Lembaga pelayanan sosial non-pemerintah saat ini tidak bisa hanya berpangku tangan dalam melakukan penggalangan dana untuk lembaganya sendiri. Jika suatu lembaga terus hanya menunggu untuk mendapatkan donatur maka lembaga tersebut akan sama halnya dengan contoh dua lembaga pelayanan sosial di atas. Lembaga pelayanan sosial juga tidak bisa memakai ’label’ pelayanan sosial untuk hanya mencari keuntungan saja dan tidak menjalankan fungsi dari lembaga pelayanan sosial itu sendiri. Padahal, *Fundraising* sangat dibutuhkan dalam suatu lembaga nirlaba atau lembaga sosial. Dari fakta yang diberikan di atas, permasalahan mengenai pendanaan tersebut disebabkan oleh kurang baiknya manajemen lembaga pelayanan sosial pada bidang *Fundraising*.

Salah satu alasan utama mengapa strategi pendanaan dilakukan adalah agar lembaga pelayanan sosial ini tidak mengalami ketergantungan kepada para donor utama. Menurut Said, Abidin dan Faizah (2003 : 34) secara umum ada tiga pola penggalangan dana yang dapat dilakukan oleh organisasi sosial, yaitu :

a) Penggalangan dana masyarakat dari sumber yang telah tersedia, baik dari perorangan, perusahaan maupun pemerintah. Strategi yang digunakan antara lain direct mail, membership, special event, endowment, dsb.
b) Penggalangan dana sosial masyarakat melalui sumber dana baru. Strategi yang digunakan adalah pembangunan unit-unit usaha yang menghasilkan pendapatan bagi lembaga (earned

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

income), corporate fund, religious fund, traditional fund, charity boxes, arisan, media campaign, dsb.

c) Penggalangan dana sosial masyarakat melalui penciptaan sumber non financial. Strategi yang digunakan adalah sumbangan dalam bentuk in kind, kesukarelawanan, designated donation, dan sebagainya.

Beranjak dari realita organisasi pelayanan sosial, *Fundraising* menjadi penting bagi kelangsungan hidup. Situasi inilah yang mendorong beberapa lembaga pengelola dana-dana sosial untuk melakukan langkah strategis dengan menciptakan inovasi untuk menyerap dana-dana filantropi dari masyarakat. Karena itu beberapa lembaga sosial yang ingin melakukan langkah *Fundraising* dengan dukungan dari masyarakat tidak lagi semata melakukan aksi meminta sumbangan dengan mengetuk pintu dari rumah ke rumah. Sehingga tanpa sadar penggalangan dana tersebut hanyalah berfokus pada *'money oriented".* Meskipun sesungguhnya kegiatan penggalangan dana *(Fundraising)* adalah berguna juga bagi kegiatan operasional lembaganya, namun tetap menjadi *image* yang tidak baik jika terfokus hanyalah untuk mengejar uang semata.

Dalam konteks definisi, *Fundraising* menurut Kementrian Sosial (2003) lebih melihat penggalangan dana ke arah sosial, penggalangan dana (*Fundraising*) adalah :

> Upaya untuk menghimpun dana berupa uang atau barang dari masyarakat. Dana tersebut dimanfaatkan untuk menunjang pelaksanaan pembangunan bidang kesejahteraan sosial, mental, agama, kerohanian, kejasmanian, pendidikan, dan kebudayaan di kalangan masyarakat setempat. (dalam Winarno, 2010)

Sementara Kim mengartikan *Fundraising* lebih dari sekedar mencari uang :

> Menggalang dana adalah sebuah ilmu. Tetapi aturannya lebih seperti pelangi daripada sebuah rumus. Anda harus melukis dengan paduan warna dan perasaan yang halus. Dan, anda pasti sukses bila anda melukis dengan rasa kasih dan persahabatan. (dalam Norton, 2002:11)

Pernyataan ini merujuk pada sebuah strategi dan prinsip penggalangan dana. Dalam pernyataan Kim ini, ia menawarkan pula sebuah cara untuk melakukan kegiatan penggalangan dana. Karena buat Kim, kegiatan penggalangan dana perlu memiliki ilmu yang tidak hanya sekedar mencari dana.

Seperti diketahui, saat ini media sosial sudah menjadi bagian hidup masyarakat Indonesia. Sehingga membawa fenomena merebaknya penggalangan dana melalui jejaring. Aktifitas *Fundraising* melalui jejaring sosial inilah yang bisaa disebut dengan *Crowdfunding. Crowdfunding* merupakan suatu model pendanaan yang dengan beberapa aktor yang berperan didalamnya, yaitu pemilik

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

proyek, lembaga *Crowdfunding* itu sendiri (situs *online*/media sosial), dan donatur. *Crowdfunding* itu sendiri sedang marak dilakukan oleh banyak lembaga sosial di Indonesia maupun internasional. Para pemilik proyek menggunakan internet khususnya media sosial untuk menjual proyek mereka kepada para donatur. Menurut Sullivan (2006), *Crowdfunding* adalah :

> *Crowdfunding inspired by crowdsourcing describes the collective cooperation, attention and trust by people who network and pool their money together, usually via the Internet, in order to support efforts initiated by other people or organizations. Crowdfunding occurs for any variety of purposes, from disaster relief to citizen journalism to artists seeking support from fans, to political campaigns.*

Perhatian, kepercayaan, kerjasama kolektif, dan pengumpulan uang bersama merupakan 4 aspek penting dalam melakukan *Crowdfunding*. Keempat aspek ini saling berkaitan dan tidak bisa dipisahkan satu dengan yang lainnya. Dalam perhatian, pemilik proyek melakukan 'kampanye' supaya pemilik situs dan masyarakat memberikan perhatian kepada proyeknya. Setelah pemilik situs dan masyarakat memberikan perhatian, timbul kepercayaan yang ditanamkan oleh pemilik situs dan masyarakat kepada si pemilik proyek, untuk melakukan *Crowdfunding* bersama. Perhatian dan kepercayaan yang diberikan oleh pemilik situs menimbulkan sebuah kerjasama untuk melakukan pengumpulan uang bersama yang akan dilakukan oleh masyarakat.

Definisi *Crowdfunding* pertama kali dijelaskan oleh Sullivan (2006), namun sebenarnya istilah dan konsep *Crowdfunding* menurut Hemer (2011) diambil dari istilah serupa yang sudah lebih dulu dikenal luas, yaitu crowdsourcing, seperti pernyataannya berikut ini:

> "*The term Crowdfunding is derived from the better known term crowdsourcing, which describes the process of outsourcing tasks to a large, often anonymous number of individuals, a crowd of people (here: the Internet community) and drawing on their assets, resources, knowledge or expertise. In the case of Crowdfunding, the objective is to obtain money."*

Ada satu perbedaan mendasar antara crowdsourcing dan c*rowdfunding* ketika keduanya sama-sama menafaatkan media sosial dan internet sebagai perantara ke masyarakat luas. Perbedaan tersebut mengenai peran donatur yang mendonasikan uangnya ke suatu proyek. Crowdsourcing mengharapkan para donatur terlibat lebih dalam proyek yang dibantunya, dengan cara memberikan umpan balik berbentuk ide dan saran untuk keberlangsungan proyek. Berbeda dengan crowdsourcing, *Crowdfunding* hanya memanfaatkan para donatur untuk mengumpulkan dana demi terlaksananya suatu proyek.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Crowdfunding sangat memanfaatkan situasi ini, dimana *Crowdfunding* bisaanya menggunakan internet untuk menggalang dana dari para pengguna internet dan media sosial. Para pemberi donatur bisaanya mempunyai tujuan dan visi yang sama dengan para individu atau organisasi yang memerlukan dukungan, contohnya adalah menolong korban bencana, dukungan fans kepada artisnya, dan untuk membantu melakukan pelayanan sosial kepada sesama.

Konsekuensi perubahan sosial yang terjadi sebagai akibat perkembangan jaman, ternyata berdampak pula pada pola kehidupan dan proses sosial dalam kehidupan bermasyarakat. Seiring dengan perkembangan teknologi media sosial, ternyata membawa pula pada struktur sosial baru dalam tatanan pergaulannya.

Senyampang dengan keinginan membangun relasi sosial, mereka memasuki era baru gaya berkomunikasi. Mobilitas tinggi menjadi alasan kuat untuk mencari cara berkomunikasi yang instan. Seharusnya pula beberapa organisasi sosial dapat 'membaca' situasi tersebut untuk menarik simpatinya. Karena bukan tidak mungkin semangat kegotongroyongan di lingkup komunitas *netizen* masih ada dan membara. Hal yang tidak bisa kita pungkiri adalah pengaruh teknologi membawa manusia maupun masyarakat menuju pada era sosial media. Untuk sebagian masyarakat sosial media digunakan untuk membangun jejaring bisnis, sebagian lagi digunakan hanya untuk sekedar berinteraksi dengan individu lainnya. Namun ada juga sebagian masyarakat yang benar-benar memanfaatkannya untuk tujuan mulia. Seperti contoh dua fenomena pada tahun 2009-2010 yang sudah menggunakan cara 'patungan' dalam mendapatkan uang melalui sosial media. Kasus pertama adalah kasus yang menimpa Prita, dimana ia dilaporkan oleh sebuah rumah sakit swasta karena dituduh mencemarkan nama baik rumah sakit tersebut. Kasus kedua adalah kasus kesehatan yang menimpa Bilqis Anindya Passa, balita berumur 17 bulan ini mengalami penyakit kegagalan fungsi saluran empedu. Kedua kasus ini mengharuskan Prita dan kedua orangtua Bilqis mengeluarkan uang dalam jumlah yang banyak. Ketidakadlian yang dialami oleh Prita dan rasa kemanusiaan untuk Bilqis membuat masyarakat tergerak untuk membantu mereka. Awalnya pihak dari Prita dan orangtua Bilqis menggunakan situs media sosial *facebook* untuk memulai aksi mereka dalam mengumpulkan uang.

Selain itu, salah satu platform *Crowdfunding* pertama di Indonesia diantaranya adalah *Kitabisa.com*. Situs ini berada di bawah bimbingan Rumah Perubahan milik Rhenald Kasali. *Kitabisa.com* merupakan *Crowdfunding* sosial pertama di Indonesia. Kitabisa mengedepankan konsep kolaborasi sosial, yaitu keyakinan bahwa untuk membuat sebuah perubahan besar, setiap orang harus bergabung dan berkontribusi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dengan bantuan apapun yang bisa mereka berikan. Setiap orang dapat memulai kontribusi mereka dengan membuat akun di *Kitabisa.com*. Orang-orang yang memiliki ide dan proyek kreatif di bidang sosial dapat mendaftarkan ide mereka di website *Kitabisa.com*. Pada saat mendaftarkan ide, mereka harus menceritakan latar belakang, tujuan, tempat dan waktu pelaksanaan, serta jumlah dana yang dibutuhkan untuk membuat ide mereka menjadi nyata.

Proyek yang telah lolos kurasi akan diposting di website *kitabisa.com*. Masyarakat dapat memberi dukungan terhadap ide-ide sosial tersebut dengan memberi donasi berupa uang dengan jumlah yang tidak ditentukan. Dalam *Crowdfunding*, hal yang paling penting bukanlah jumlah donasi per orang, melainkan jumlah orang yang berpartisipasi, karena itulah kekuatan konsep ini ada pada *crowd*. Sebagai ilustrasi, jika setiap orang berdonasi Rp 100.000 saja, namun jumlah yang berdonasi ada 1000 orang, maka dana yang terkumpul menjadi Rp 100.000.000. Semangat kebersamaan mengubah hal kecil menjadi sebuah kekuatan yang besar. Fakta tersebut yang mendasari optimisme *kitabisa.com* bahwa Indonesia bisa bangkit dengan kolaborasi dan kerjasama banyak orang.

Semangat kolaborasi tersebut pada dasarnya merupakan semangat yang sudah menjadi budaya nusantara, yaitu semangat gotong royong. Semangat dimana setiap orang mau turun tangan membantu dengan apapun yang mereka punya. Selain donasi berupa uang, kontribusi lain yang dapat diberikan pada sebuah proyek sosial di *kitabisa.com* adalah dengan terjun langsung menjadi relawan, atau menyebarkan dukungan terhadap proyek tersebut melalui jejaring sosial. Semakin luas proyek tersebut tersebar melalui jejaring sosial, maka semakin banyak dukungan yang didapat, dan semakin banyak pula orang yang dapat berkolaborasi. Sebagai salah satu inovasi baru dalam pergerakan sosial di Indonesia, gerakan Kitabisa didukung oleh berbagai figur publik seperti Dian Sastro, Andy F. Noya, Pandji, dan Oki Setiana Dewi dari kalangan artis, serta Faisal Basri, Babe Idin, dan Masril Koto dari kalangan tokoh masyarakat yang bergerak di bidang sosial. Mereka mengkampanyekan ide kolaborasi sosial melalui video di Youtube. Sejak pertama kali diperkenalkan pada pertengahan tahun 2013, *Kitabisa.com* telah meluncurkan 8 proyek sosial yang mendorong pengembangan sosial di berbagai bidang seperti pendidikan anak jalanan, industri kreatif, hingga usaha rakyat. Dua diantaranya - Parcel Nalacity dan Wakaf Al-Qur'an, bahkan telah mendapatkan pendanaan melebihi target dan berhasil dijalankan berkat dukungan masyarakat.

Hal tersebut menjadi bukti, bahwa inovasi *kitabisa.com* dalam menghubungkan inisiatif sosial dan masyarakat melalui teknologi informasi dapat membawa semangat gotong royong Indonesia pada level yang lebih tinggi. Semangat yang dibawa *Kitabisa.com*

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

diharapkan mampu terus mendorong Indonesia ke arah yang lebih baik, dengan menciptakan perubahan dan menghubungkan kebaikan.

(http://news.indonesiakreatif.net/menghubungkan-kebaikan-lewat-kitabisa-co-id/.diunduh pada tanggal 8 mei 2015, puku 20.30 WIB)

Melihat hal tersebut, disadari atau tidak perubahan pola interaksi ini membawa pada perubahan sistem sosial yang terjadi meski hanya sekedar cara berkomunikasi. Jika melihat kembali pada akar konsep kegotongroyongan adalah usaha sukarela dan bergerak tanpa pamrih, dengan pola komunikasi yang berubah membuktikan semangat kegotongroyongan masih ada.

Bahkan potensi ini sejatinya dapat menjadi sebuah strategi baru bagi organisasi nirlaba atau organisasi pelayanan sosial dalam membangun jejaring khalayak yang lebih luas. Demikian juga halnya dengan peran pekerja sosial , dapat dikembangkan dengan memanfaat media sosial yang ada. Seperti yang dinyatakan Voshel (2015):

> *The sosial work profession needs to revise its standards of practice accordingly to meet the challenges presented by our changing world. This means expanding the way we think about sosial work ethics to include online sosial media. Sosial media requires that sosial workers reframe how they think about privacy, confidentiality, professional boundaries, and has challenged us to innovate with new, ethically sound ways to serve our clients and constituents.*[3]

[3] *Ibid hal 8*

PENUTUP

Sebagai wujud kekinian, konsekuensi perubahan sosial dalam konsep gotong royong ternyata bermetamorforsis dalam media yang berbeda. Esensi gotong royong sebagai tindakan bekerja sama tanpa pamrih tetap tidak hilang. Namun berubah dengan menggunakan cara yang berbeda. Artinya kepedulian seseorang atas sebuah musibah yang menimpa individu lain tetap ada, bahkan bisa menjadi energi yang besar manakala media sosial bergerak lebih luas lagi.

Wujud kolaborasi yang dilakukan oleh *Kitabisa.com* adalah sebuah pembuktian dari adanya inisiatif masyarakat dalam memecahkan masalah sosial. Melalui gerakan sosialnya, *kitabisa.com* mengelaborasikan kepedulian masyarakat dengan membuat kegiatan Croowdfunding. Sehingga hal ini dapat diartikan bahwa teknologi media sosial ternyata dapat dimanfaatkan secara potensial atas kesulitan dalam mengatasi masalah dana bagi lembaga sosial.

Daftar Pustaka

Abidin, H., & Kurniawati. 2004. Galang dana ala media: Strategi Efektif Mengumpulkan Sumbangan Masyarakat. Jakarta: Piramedia.

Parsons, Talcott. 1951. The Sosial System. New York : Amerind Publishing Co. Pvt. Ltd

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Kottler & Andreasen.1995. Strategi Pemasaran Untuk Organisasi Nirlaba.Gajah Mada University Press.Yogyakarta

Lawang, Robert, M. Z. 2005. Kapital sosial: Dalam Perspektif Sosiologi Suatu Pengantar. Depok: FISIP UI Press

Norton, Michael. 2002. Menggalang Dana : Penunutun Bagi Lembaga Swadaya Masyarakat dan Organisasi Sukarela di Negara-negara Selatan (Masri Maris, Penerjemah). Jakarta : Yayasan Obor Indonesia.

Norton, M. & Culshaw, M. 20000. *Getting Started In Fundraising.* New Delhi : Sage Publication India

Quebral, M. Terol, & Roman, F. 2002. *Asia Pasific Philantrophy Consortium : Investing In Our Selves: Giving Fundraising In Asia. Fundraising in Asia.* Philippine : Asian Development Bank.

Saidi, Z., & Hamid, A., & Faizah, N. 2003. Pola dan Strategi Penggalangan Dana Sosial di Indonesia: Pengalaman Delapan Belas Lembaga Sosial. Jakarta: Piramedia

Soekanto, Soerjono. 1994.Sosiologi Suatu Pengantar. Jakarta: Raja Grafindo Persada,

Wibawa, Budi, Meilany, & Santoso. 2010. Dasar-dasar Pekerjaan Sosial. Bandung : Widya Padjadjaran.

Widjajanti, Darwina. 2006. Rencana Strategis Fundraising. Depok : Piramedia

Wolf, Thomas. 1990. *Managing c Nonprofit Organization.* New York : Prentie Hall Press

Young J., & Wyman, K., & Swaigen, J. 2007. Menggalang Dana Untuk Organisasi Nirlaba (Lensi Mursida, Penerjemah). Jakarta : PT. Ina Publikatama

Sumber Lain

Achsannanda Maulyta Sari ,2015. Artikel. Menegakkan Tradisi Kerja Bakti Sebagai Bentuk Revitalisasi Nilai Gotong Royong, *Departemen Pendidikan Sastra Jepang ,Universitas Airlangga*

Elizabeth Harbeck Voshel, ACSW, LMSW. *Sosial Media & Sosial Work Ethics: Determining Best Practices in an Ambiguous Reality*. Journal of Sosial Work Values & Ethics, Spring 2015, Vol. 12,

Hemer, Joachim. 2011. A snapshot on crowdfunding. Karlsruhe: Franhoufer ISI. 10 Juli 2014.

www.instink.co.id. diunduh pada tanggal 9 Mei 2015 pukul 18.45

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164

Desain *Power Sistem PV* pada *DC Microgrid* berdasarkan Kombinasi *Supercapacitor* dan *Battery*

Machmud Effendy[1] , Rizky Dwiki Zulyazis[2], Nuralif Mardiyah[3]
[1,2,3]Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas 246 Malang 65144
e-mail: machmud@umm.ac.id

***Abstrak*— Baterai dan superkapasitor memiliki karakteristik yang berbeda sehingga sebuah sistem penyimpanan sangat sulit di injeksikan ke sebuah jaringan transmisi *(grid)* yang akan langsung dihubungkan dengan daya permintaan *(Load Demand)*. *Dc Microgrid* adalah solusi utama yang mana sumber energi berasal dari *Photovoltaic* dan *storage system* berasal dari kombinasi *Battery* dan *Supercapacitors*. Penggunaan kombinasi *Supercapacitors dan Battery* berfungsi untuk mengurangi kinerja baterai yang berlebih. *Power Management Strategy* digunakan untuk menentukan seberapa besar daya yang dibutuhkan pada grafik daya permintaan, Kontrol Logika Fuzzy digunakan sebagai kontrol utama pada sistem ini untuk menentukan refrensi masukan pada *Supercapacitors.* Hasil simulasi menunjukan *Supercapacitors* mampu mensuplai kekurangan energi pada baterai dengan waktu lebih singkat.**

Kata kunci: ***Dc Microgrid, Photovoltaic, Power Management Strategy, Supercapacitors, Fuzzy***

Abstract*— Batteries and super capacitors have different characteristics so that a storage system is very difficult to inject into a transmission network (grid) which will be directly connected to the demand power. Dc Micro grid is the main solution where energy sources from Photovoltaic and storage systems come from a combination of Battery and Super capacitors. The use of a combination of Super capacitors and Battery serves to reduce the performance of excessive batteries. Power Management Strategy is used to determine how much power is needed in the demand power graph, Fuzzy Logic Control is used as the main control in this system to determine the reference input to Supercapacitors. The simulation results show that super capacitors are able to supply a lack of energy in batteries with a shorter time.

Keywords: Dc Microgrid, Photovoltaic, Power Management Strategy, Supercapacitors, Fuzzy

I. PENDAHULUAN

Karakteristik pada baterai dan superkapasitor (SC) yang berbeda membuat sebuah sistem penyimpanan akan sangat sulit sekali di injeksikan ke sebuah jaringan transmisi *(grid)* yang akan langsung berhadapan dengan daya permintaan (*Load Demand*). Perbedaan keluaran tegangan yang membuat sebuah sistem akan mengalami kesulitan pada saat terjadi lonjakan daya permintaan, maka dari itu diperlukan *Power Management Strategy* sebagai pengontrol keluaran tegangan yang ada pada sistem penyimpanan agar kombinasi baterai dan superkapasitor dapat memenuhi daya permintaan.

Jaringan transmisi Mikro Arus Searah *(DC Microgrid)* dapat menjadi solusi karena sumber energi berasal dari energi terbaharukan berupa *Photovoltaic* (PV) yang mana karakteristik PV diperlukan agar sebuah sistem Microgrid bekerja secara maksimal dan sesuai kebutuhan. Dalam era terbaru ini sebuah jaringan listrik mudah dikendalikan dan juga lebih efisien dan ekonomis dari segi instalasi pemasangan dan pemanfaatan energi. Dimana semakin berkurangnya sumber daya fosil sebagai bahan bakar utama pembangkitan listrik di dunia, maka penggunaan sumber daya fosil semakin berkurang dan beralih menggunakan sumber daya terbaharukan (*Renewable Energy*). Sebuah jaringan transmisi Mikro Arus Searah (*DC Microgrid*) dapat menjadi solusi karena system ini terdiri dari sumber energi terbarukan dimana sumber energi dan penyimpanan energi saling terhubung untuk memenuhi permintaan daya beban setiap saat [1].

Jaringan transmisi DC mempunyai efisiensi tinggi karena memiliki faktor daya = 1, sehingga rugi – rugi daya pada sistem dioperasikan dapat berkurang, dan juga dapat mengurangi besarnya nilai tegangan jatuh yang ditimbulkan pada saat transmisi energi listrik. Sistim ini juga tidak memiliki masalah terhadap stabilitas sistem sehingga memungkinkan untuk penyaluran jarak jauh serta memiliki isolasi yang lebih sederhana ekonomis dan efisien.

Jaringan DC *Microgri*d bertujuan untuk mengihindari fluktuasi tegangan jaringan, atau bahkan pemadaman listrik setiap saat. Jaringan listrik harus menyeimbangkan kekuatan antara produksi dan konsumsi dengan margin

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164

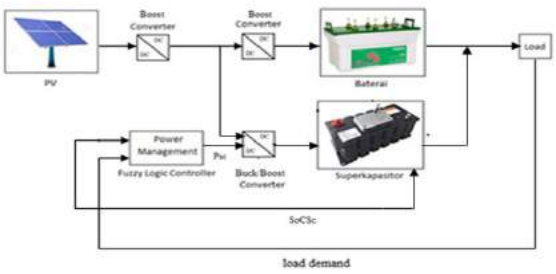
kesalahan kecil [2]. DC *Microgrid* sangat berguna karena merupakan bagian dari sebuah sistem utama yang memiliki keunggulan pengaturan terhadap jaringan dirinya sendiri, sehingga jika terjadi gangguan terhadap sistem jaringannya dapat diatasi dan masih dapat menjalankan fungsi pembangkitan dan penyaluran sendiri untuk memenuhi beban yang dibutuhkan untuk menggantikan jaringan listrik utama. Sumber daya yang digunakan pada jaringan DC *Microgrid* yaitu *photovoltaic*. *Photovoltaic* atau solar cell adalah teknologi yang ramah terhadap lingkungan dan tidak menghasilkan kebisingan dan effisiensi yang tinggi [3]. Untuk Memaksimalkan produksi energi pada PV, metode MPPT dibutuhkan untuk mempertahankan puncak energi pada PV [3]. *Supercapacitor* (SC) biasa digunakan sebagai penyangga kebutuhan tenaga dalam jangka pendek atau sebagai energi cadangan pada energi terbarukan. Kombinasi baterai dan superkapasitor akan meningkatkan kinerja baterai dari sistem dan daya tahan baterai [4].

Jaringan DC *Microgrid* yang berbasis pada sumber energi *photovoltaic*, dengan kombinasi Superkapasitor dan baterai sebagai storage system adalah sebuah sistem jaringan transmisi mandiri. Algoritma berbasis logika *fuzzy* digunakan untuk memecahkan masalah manajemen energi dan distribusi energi antara baterai dan SC. Namun, penggunaan logika *fuzzy* tidak memerlukan model matematika yang kompleks seperti yang digunakan dalam system kontrol klasik [5]. Fungsi *Fuzzy Logic Controller* adalah sebagai *back up system* ketika terjadi kekurangan daya *energy* berdasarkan SoC pada baterai. Setiap elemen yang terpasang / terhubung ke jaringan DC bus memiliki konverternya masing – masing.

Setiap elemen yang terhubung pada jaringan DC *Microgrid* memiliki masing – masing karakteristik yang berbeda sehingga *Power Management System* dirancang berdasarkan karakteristik yang berbeda - beda dari superkapasitor dan baterai" [6]. Pengaturan daya masukan dan keluaran pada setiap elemen diatur pada bagian blok yang berbeda yang mana pada bagian sistem ini untuk mengetahui energi suatu sistem yang dihasilkan pada setiap elemen menggunakan Manajemen Energi (*Power Management System*). [7-9]

II. METODOLOGI

Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem jaringan DC *Microgrid*, yang terdiri dari PV, *boost converter*, *buck-boost converter*, baterai, superkapasitor, sistem power management, dan beban



Gambar 1. Konfigurasi Jaringan DC Microgrid

A. *Boost Converter*

Boost converter adalah *converter* yang bekerja sebagai penaik tegangan DC. konverter ini merupakan bentuk dari sebuah *power-supply* yang dibutuhkan ketika sebuah nilai tegangan pada rangkaian elektronika lebih rendah dari tegangan supply maka fungsi konverter tersebut sebagai penaikan tegangan..

Untuk menentukan nilai *duty cycle* digunakan rumus pada persamaan 1 [10,11] .

$$D_{boost} = 1 - \frac{V_s}{V_o} \quad (1)$$

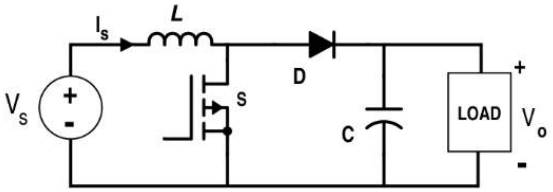
Setelah menentukan nilai *duty cycle* maka selanjutnya dapat menentukan nilai induktor.

$$Lmin = \frac{(1-D)^2 * D * R}{2 * f} \quad (2)$$

Selanjutnya adalah menentukan nilai kapasitor dengan menggunakan Persamaan 3.

$$Cmin = \frac{D * Vout}{Vr * R * f} \quad (3)$$

Rangkaian *boost converter* ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Boost Converter

B. *Buck-boost Converter*

Buck–Boost converter adalah rangkaian yang berfungsi untuk menaikan dan menurunkan tegangan, pada bagian *buck* berfungsi untuk menurunkan tegangan ketika tegangan yang diperoleh melebihi batas yang ditentukan dan pada bagian *boost* berfungsi untuk menaikan tegangan ketika tegangan yang dibutuhkan kurang.

Menghitung besaran *duty cycle* pada mode ini menggunakan persamaan 4.

$$D = \frac{V_o}{V_o - V_i} \quad (4)$$

Besarnya komponen L minimal dan C minimal dihitung berdasarkan persamaan 5 dan 6.

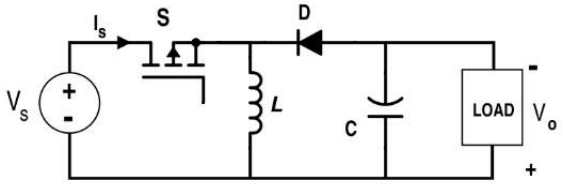
$$Lmin = \frac{(1-D)^2}{2 * f} * R \quad (5)$$

$$C = \frac{\cdot Vo * D}{R * \Delta Vo * f} \quad (6)$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164

Rangkaian *buck boost converter* ditunjukkan pada gambar 3.

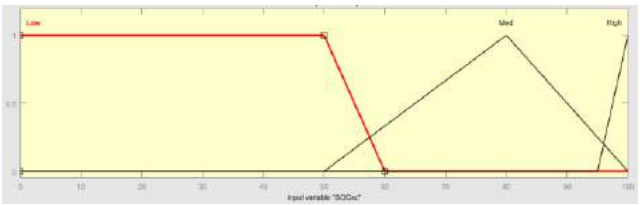


Gambar 3. Rangkaian *Buck Boost Converter*

C. *Kontrol Fuzzy*

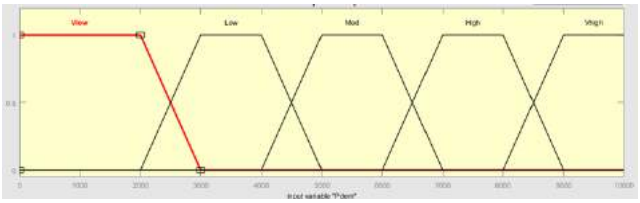
Kontroller logika *fuzzy* bertujuan untuk memantau seberapa besar kapasitas dari superkapasitor yang tersisa dan untuk menentukan keluaran dari superkapasitor. Kontrol *fuzzy* menggunakan 2 buah masukan yaitu SoC SC dan *load demand* (Pdem) dan 1 buah keluaran yaitu SC load (Psc).

Fungsi Keanggotaan SoC SC pada masukan kontrol *fuzzy* terdapat 3 membership *function* yang mana pada membership *function* memiliki batasan nilai yang berbeda sepertipada gambar 2, untuk fungsi *low* sendiri mempunyai batasan nilai dari 0 – 60, dan *medium* mempunyai batasan dati 50 – 100 sedangkan fungsi *high* mempunyai batasan 95 – 100. Batasan tersebut merupakan nilai dari kapasitas superkapasitor.



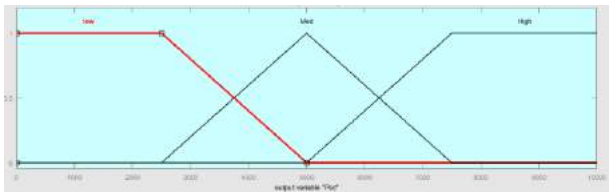
Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Masukan SoC SC

Fungsi Pdem (*Load Demand*) sebagai nilai acuan berfungsi untuk menentukan seberapa besar nilai keluaran. Terdapat 5 fungsi keanggotaan pada Pdem, fungsi Vlow mempunyai batasan dari 0-3000, fungsi low 2000-5000,fungsi med 4000-7000, fungsi *high* 6000-9000,fungsi *Vhigh* 8000-1000. Batasan tersebut merupakan nilai seberapa besar daya permintaan yang di inginkan.



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Masukan Pdem

Keluaran (*output*) *fuzzy* adalah berupa permintaan daya pada superkapasitor (Psc) yang mana parameter keanggotaan pada keluaran kontrol *fuzzy* . Pada keluaran *Fuzzy* (Psc) terdapat 3 *membership function* yang berfungsi sebagai batasan nilai keluaran logika *fuzzy* yang akan masuk ke konverter superkapasitor, 3 fungsi tersebut adalah, *low* mempunyai batasan dari 0-5000, *medium* 2500-7500 dan *high* 5000-10000.



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Keluaran Psc

Aturan *Fuzzy Logic Controller* yang diterapkan pada sistem ditunjukkan pada tabel 1.

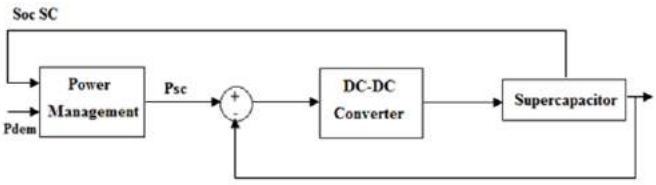
Tabel 1. Aturan *Fuzzy*

Psc		Pdem				
		Vlow	Low	Med	High	Vhigh
SoCsc	Low	Low	Low	Low	Med	High
	Med	Low	Low	Med	High	High
	High	Low	Low	Med	High	High

D. *Power Management Strategy*

Power Management Strategy digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi sesuai yang diinginkan. Power management yang dirancang berdasarkan pada baterai dan *supercapasitor* yang mana memiliki karakteristik yang berbeda.

Baterai dan superkapasitor berada pada posisi parallel yang mana gangguan (*power distrubance*) dapat dirasakan bersamaan pada baterai dan superkapasitor, keuntungan dari hubung parallel adalah baterai dapat dilindungi dari hubung pendek atau fluktuasi daya, pada saat fluktuasi daya superkapasitor merespon kelebihan dan kekurang daya sebagai masukan pada superkapasitor.



Gambar 7. Diagram Blok Power Management Strategy

Gambar 7 menunjukkan bahwa masukan dari blok Power Management ialah SoC SC dari superkapasitor dan daya permintaan Pdem. Keluaran dari blok *Power Management* adalah berupa sinyal daya refrensi Psc sebagai masukan konverter dengan mengurangi nilai arus refrensi dengan arus masukan yang dihasilkan oleh sensor yang ada pada superkapasitor, sinyal *feedback* yang dihasilkan dapat dirubah menjadi sinyal PWM yang dapat digunakan sebagai pensaklaran pada converter untuk menentukan *converter* akan berkerja pada buck atau buck *boost*.

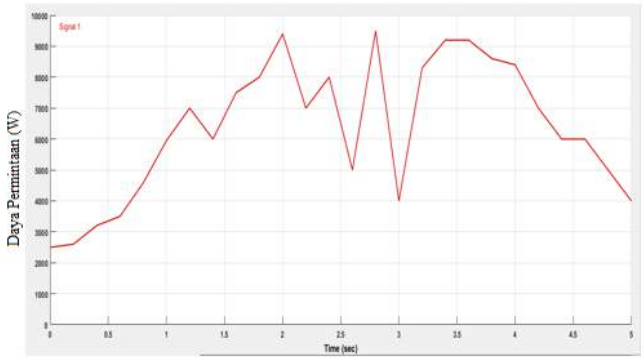
E. *Model Daya Permintaan*

Daya permintaan yang digunakan merupakan indikasikan sebagai banyaknya energi yang dibutuhkan seperi ditunjukkan pada Gambar 6. Daya yang digunakan bervariasi sesuai gambar 8. Daya yang tersusun akan aktif pada waktu (detik) tertentu. Beban akan aktif pada detik 0 hingga 1.2 yaitu sebesar 2500 hingga 7000W, detik 1.2

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164

sebesar 6000W, detik 1.6 hingga 2 sebesar 7500 hingga 9400 W, detik 2.2 sebesar 7000W, detik 2.4 sebesar 8000W, detik 2.6 sebesar 5000W, detik 2.8 sebesar 9500W, detik 3 sebesar 4000W, detik 3.2 sebesar 8300W, detik 3.4 – 3.5 sebesar 9200W, detik 3.8 hingga 5 sebesar 8600 hingga 4000W.

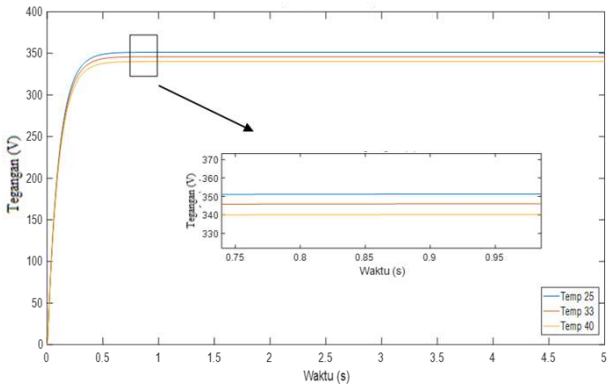


Gambar 8. Grafik Daya Permintaan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Pengujian PV*

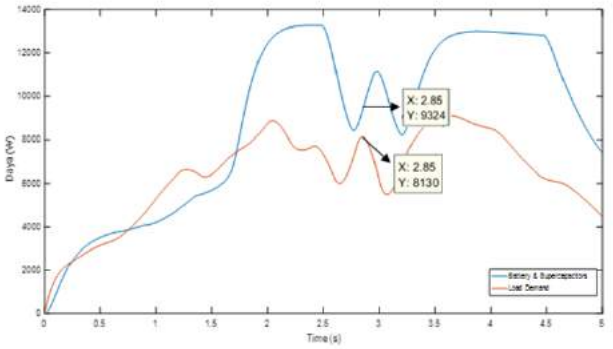
Pengujian *Photovoltaic* dilakukan untuk mengetahui karakteristiknya, yaitu seberapa besar tegangan dan arus pada saat nilai inputan *irradiance* (Ir) dan *temperature* (T) yang berbeda – beda, yang mana dalam pengujian nanti akan dilakukan nilai inputan T yang berbeda – beda dan nilai inputan Ir yang sama. Hasil keluaran pada pengujian nilai *Temperature* yang berbeda dan nilai Radiasi yang sama terlihat pada gambar 9 terlihat semakin kecil nilai temperature, nilai tegangan semakin tinggi dengan radiasi 1000W/m^2.



Gambar 9. Tegangan PV saat T (beda) Ir (sama)

B. *Pengujian Power Management pada sistem baterai dan supercapasitor.*

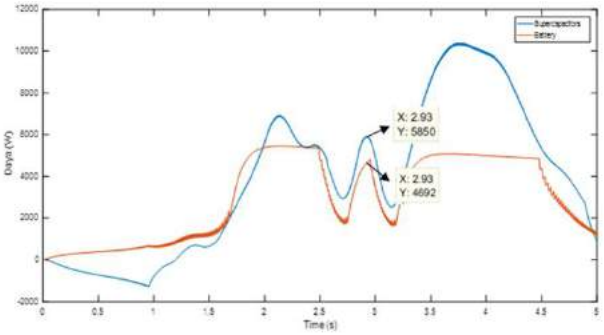
Hasil simulasi pengujian daya permintaan beban terhadap baterai dan superkapasitor ditunjukkan pada gambar 10. Pada gambar tersebut terlihat baterai dan superkapasitor mampu memenuhi daya permintaan beban yang mana keluaran daya pada baterai dan superkapasitor mampu memenuhi setiap daya yang dibutuhkan. Pada detik <1.5s terlihat respon yang lambat membuat daya permintaan tidak terpenuhi, tetapi pada detik selanjutnya baterai dan superkapasitor mampu memenuhi daya permintaan yang diberikan. Perbedaan hasil keluaran terlihat pada gambar, dimana selisih daya yang dihasilkan oleh baterai dan superkapasitor pada detik 2.85 adalah 9324W sedangkan daya permintaan 8130W, yang mana baterai dan superkapasitor mampu memenuhi daya permintaan dengan selisih daya sebesar 1194W.



Gambar 10. Keluaran daya Baterai dan Superkapasitor Terhadap Daya Permintaan

C. *Simulasi Respon Supercapacitors dan Battery*

Pada gambar 11 menunjukan respon superkapasitor pada baterai pada saat terjadi lonjakan daya permintaan pada detik ke 2.93s. Pada detik tersebut superkapasitor mampu mensuplai energi ketika lonjakan daya terjadi. Selisih daya yang dihasilkan pada detik tersebut adalah 1158 W.



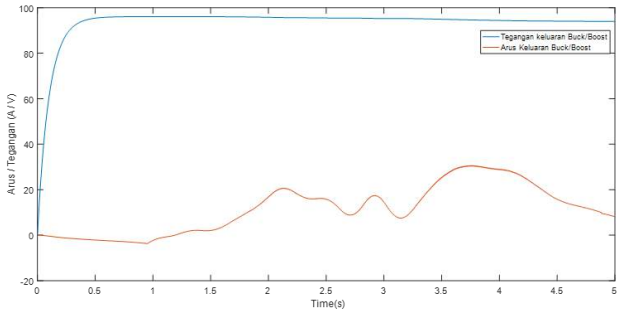
Gambar 11. Hasil Simulasi Supercapacitors dan Battery

D. *Simulasi Respon Buck – Boost Converter*

Hasil respon keluaran konverter berupa besaran arus dan tegangan yang terdapat pada rangkaian superkapasitor . masukan daya pada konverter adalah hasil dari keluaran fuzzy maka didapat nilai arus dan tegangan pada gambar 12. Nilai tegangan yang dihasilkan menunjukan cenderung stabil dan untuk nilai arus yang dihasilkan mengalami perubahan yang berubah – ubah mengikuti pola daya permintaan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

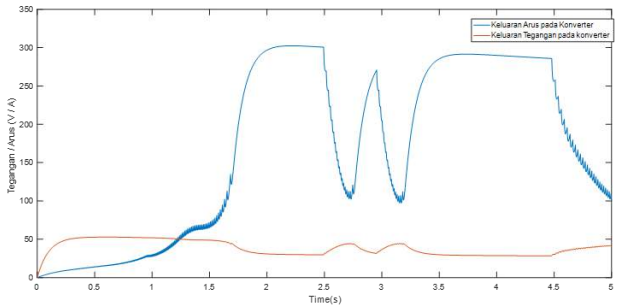
P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164



Gambar 12. Respon Arus/Tegangan Konverter *Buck-Boost*

E. Simulasi Respon Boost Converter

Gambar 13 memperlihatkan hasil respon keluaran boost konverter. Terlihat bahwa tegangan berubah – ubah mengikuti pola daya permintaan membuktikan bahwa baterai mampu mengikuti pola daya yang di inginkan pada grafik daya permintaan, sedangkan pada keluaran arus baterai terlihat nilai arus juga mengalami fluktuasi.



Gambar 13. Respon Arus/Tegangan Konverter *Buck-Boost*

IV. KESIMPULAN

Hasil pengujian *photovoltaic* saat nilai radiasi tetap pada nilai 1000 dan nilai suhu berubah – ubah dari 25,33 dan 40 maka tengangan akan menurun mengikuti perubahan suhu. Hal ini terjadi dikarenakan semakin tinggi nilai dari *Temperature*, maka nilai effisiensi PV akan menurun. Pada saat nilai suhu tetap dan nilai radiasi berubah – ubah dari 1000, 800,500 maka akan mempengaruhi keluaran tegangan pada PV, jadi semakin tinggi nilai *irradiance* maka semakin tinggi juga nilai keluaran tegangan pada PV. Sehingga semakin tinggi nilai *irradiance* maka semakin besar juga nilai keluaran tegangan dibandingkan semakin tinggi nilai *temperature* yang akan membuat effisiensi PV akan menurun. *Battery* dan S*upercapacitors* pada saat terjadi lonjakan daya permintaan pada detik ke 2.93s, pada detik tersebut superkapasitor mampu mensuplai energi ketika lonjakan daya terjadi. Selisih daya yang dihasilkan pada detik tersebut adalah 1158 W. *Power Management system* mampu mengontrol keluaran baterai dan superkapasitor untuk memenuhi daya permintaan yang dibutuhkan, terlihat pada detik <1,7s terlihat respon yang lambat membuat daya permintaan tidak terpenuhi disebabkan karena proses perhitungan algoritma logika *fuzzy*.

REFERENSI

[1] Hongwei Wu, Fabrice Locment, Manuela Sechilariu Changjie Yin, "Energy management of DC microgrid based on photovoltaic combined," Energy Conversion and Management, pp. 14-27, 2017.

[2] Tao Zhou and Bruno François, "Energy Management and Power Control of a Hybrid Active Wind Generator for Distributed Power Generation and Grid Integration ," IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, vol. 58, pp. 95-104, january 2011.

[3] Machmud dkk, "Implementasi Maximum Power Point Tracking pada Photovoltaic Berbasis P&O-Fuzzy", JNTETI Vol.6 No.1 2017

[4] Jianwei Li, "A SC/battery Hybrid Energy Storage System in the Microgrid ," Energy Procedia, vol. 142, no. Microgrid, pp. 3697-3702, 2017.

[5] Zineb Cabrane, "Battery and supercapacitor for photovoltaic energy storage: a fuzzy logic management," IET Renewable Power Generation, vol. 11, no. 8, pp. 1157-1165, june 2017.

[6] Tanmay Rout and Ankit Chowdhury, "Analysis of Energy Management System for," IEEE International Conference on Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP-2018), March 2018.

[7] Manuela Sechilariu, "Supervision control for optimal energy cost management," Electrical Power and Energy Systems, vol. 58, pp. 140-149, january 2014.

[8] Farid Miharja, "Perencanaan Dan Manajemen Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Angin/Surya/Fuel Cell) Pulau sumba menggunakan Software Homer," Teknik Elektro ITS, 2014.

[9] Firmansyah Putra Pratama, "Sistem Pembangkit Listrik Hibrida PV-Diesel Microgrid Untuk Daerah Terisolasi Tanpa Menggunakan Media Penyimpan Energi," Jurnal Teknk POMITS, vol. 1, pp. 1-5, 2012.

[10] Zainal Salam, "Power Electronics and Drives ," vol. 3, pp. 1-20, 2003.

[11] Muhammad Rashid, "POWER ELECTRONICS HANDBOOK," DC-DC Converters, pp. 213-215, 2001.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

SALAM
Jurnal Sosial dan Budaya Syar-i
P-ISSN: 2356-1459. E-ISSN: 2654-9050
Vol. 8 No. 3 (2021), pp. 711-734
DOI: **10.15408/sjsbs.v8i3.20347**
http://journal.uinjkt.ac.id/index.php/salam/index

Energi Terbarukan dan Ekonomi Syariah: Sinergitas Mewujudkan *Sustainable Development* *

Azwar Iskandar,[1] Khaerul Aqbar,[2] Sulkifili Herman[3]
Sekolah Tinggi Ilmu Islam dan Bahasa Arab (STIBA), Makassar

10.15408/sjsbs.v8i3.20347

Abstract

The urgency of the availability of renewable energy, green economy and implementation of Sharia Economy actually has a spirit that is in line with the efforts of the global community in supporting sustainable development. The synergy between Sharia Economy practices in Indonesia and renewable energy programs in order to realize it becomes an inevitability. This research aims to describe the concept of synergy of Sharia Economy practices and renewable energy programs in Indonesia in order to realize sustainable development. This research is qualitative descriptive research through library study methods and content analysis. The results showed that the synergy scheme between renewable energy programs and Islamic economic/financial practices can be done in the form of: (i) sharia financial sector can be an instrument of EBT investment financing; (ii) the utilization of EBT may be a supporter and spearhead of halal industry, such as halal food and beverages, Muslim fashion, halal tourism, pharmaceuticals and halal cosmetics and halal media and recreation; and (iii) in the context of socially religious EBT financing, EBT can be done with the concept of ta'āwun and sedekaj jariah through crowd funding and waqf. In order to optimize the synergy between renewable energy programs and sharia economy, some steps and Quick Wins programs that can be done are: (1) campaigns against the excellence of renewable energy to achieve national energy self-sufficiency; (2) create easy access and attractive financing schemes to support renewable energy; (3) conduct research and publication on renewable energy and potential collaboration with other industries in the halal value chain that can be perceived in Indonesia, especially halal tourism.

Keywords: *renewable, energy, Islamic, economic, sustainable*

Abstrak

Urgensi ketersediaan energi terbarukan, *green economy* dan implementasi Ekonomi Syariah sesungguhnya memiliki ruh yang sejalan dengan upaya masyarakat global dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Sinergitas antara praktik Ekonomi Syariah di Indonesia dan program energi terbarukan dalam rangka mewujudkannya menjadi sebuah keniscayaan. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan konsep sinergitas praktik Ekonomi Syariah dan program energi terbarukan di Indonesia dalam rangka mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*). Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif melalui metode studi pustaka dan *content analysis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skema sinergitas di antara program energi terbarukan

* Received: May 23, 2021, Revision: May 26, 2021, Published: June 5, 2021.

[1] **Azwar Iskandar** adalah dosen Sekolah Tinggi Ilmu Islam dan Bahasa Arab (STIBA), Makassar. Email: azwar.iskandar@gmail.com

[2] **Khaerul Aqbar** adalah dosen Sekolah Tinggi Ilmu Islam dan Bahasa Arab (STIBA), Makassar. Email: khaerul@stiba.ac.id

[3] **Sulkifili Herman** adalah dosen Sekolah Tinggi Ilmu Islam dan Bahasa Arab (STIBA), Makassar. Email: sulkifliherman@stiba.ac.id

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dan praktik ekonomi/keuangan Syariah dapat dilakukan dalam bentuk: (i) sektor keuangan Syariah dapat menjadi instrumen pembiayaan investasi EBT; (ii) pemanfaatan EBT dapat menjadi pendukung dan ujung tombak industri halal, seperti makanan dan minuman halal, fesyen muslim, pariwisata halal, farmasi dan kosmetik halal dan media dan rekreasi halal; dan (iii) dalam konteks pembiayaan EBT yang bersifat sosial keagamaan, EBT dapat dilakukan dengan konsep *ta'āwun* dan sedekah jariah melalui urun dana (*crowd funding*) dan wakaf. Dalam rangka mengoptimalkan sinergitas antara program energi terbarukan dan ekonomi Syariah, beberapa langkah dan program *Quick Wins* yang dapat dilakukan adalah: (1) kampanye terhadap keunggulan energi terbarukan untuk mencapai swasembada energi nasional; (2) menciptakan kemudahan akses dan skema pembiayaan yang menarik untuk mendukung energi terbarukan; (3) mengadakan riset dan publikasi mengenai energi terbarukan dan potensi kolaborasi dengan industri lain dalam rantai nilai halal yang dapat diaplikasikan di Indonesia, terutama pariwisata halal.

Kata kunci: terbarukan, energi, Islam, ekonomi, *sustainable*

A. PENDAHULUAN

Secara global, kebutuhan akan energi dalam kehidupan manusia diprediksi akan terus meningkat.[4] Hingga akhir tahun 2019, 84 persen kehidupan manusia tergantung pada energi yang berasal dari bahan bakar fosil seperti minyak, gas dan batu bara. Berdasarkan laporan dari *Statistical Review of World Energi* 2020, diketahui bahwa konsumsi tertinggi energi saat ini masih didominasi oleh minyak (*oil*) sebesar 193.03 *exajoules*, natural gas sebesar 141.45 *exajoules*, batubara (*coal*) sebesar 157.86 *exajoules*. Sedangkan, sumber energi lain seperti hidroelektrik, nuklir dan energi terbarukan masih mengambil porsi yang lebih sedikit, masing-masing sebesar 37.66, 24.92, dan 28.98 *exajoules*.[5]

Tabel 1. Tingkat Konsumsi Energi Dunia Berdasarkan Sumbernya

Energy source	Consumption (exajoules)	Annual change (exajoules)	Share of primary energy	Percentage point change in share from 2018
Oil	193.0	1.6	33.1%	-0.2%
Gas	141.5	2.8	24.2%	0.2%
Coal	157.9	-0.9	27.0%	-0.5%
Renewables*	29.0	3.2	5.0%	0.5%
Hydro	37.6	0.3	6.4%	-0.0%
Nuclear	24.9	0.8	4.3%	0.1%
Total	**583.9**	**7.7**		

*Renewable power (excluding hydro) plus biofuels

Sumber: *Statistical Review of World Energi* 2020

[4] Juwito, Arif Febriansyah, Sasongko Pramonohadi, and T. Haryono. "Optimalisasi energi terbarukan pada pembangkit tenaga listrik dalam menghadapi desa mandiri energi di Margajaya." *Semesta Teknika* 15, No. 1 (2015).

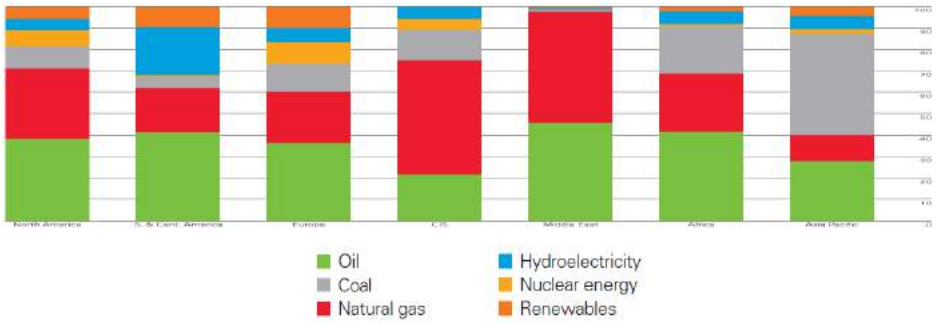
[5] BP.PLC., *Statistical Review of World Energy 2019*, https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html. Diakses pada tanggal 31 Maret 2021.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Data pada Tabel 1 menunjukan bahwa energi terbarukan merupakan sumber energi yang belum dimanfaatkan potensinya secara maksimal untuk menyokong kebutuhan global maupun regional. Sementara konsumsi energi hingga tahun 2040 diprediksi akan terus meningkat. Permintaan energi di seluruh dunia hingga tahun 2040 berkisar pada angka 13.000 Mtoe. Negara yang mendominasi konsumsi energi adalah yang tergabung dalam Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (Grafik 1). Negara-negara ini mengonsumsi 50 persen rata-rata energi dunia. Secara umum dapat dikatakan bahwa konsumsi tertinggi terdapat di wilayah Asia. Hal ini menjadi sinyal bagi berbagai pihak untuk mengembangkan industri yang medukung energi terbarukan, khususnya di wilayah Asia.[6]

Dalam laporan kajian*"Renewable energy Outlook for ASEAN: a Remap Analysis"* pada tahun 2016, disebutkan bahwa target energi terbarukan yang diharapkan adalah sebesar 23 persen dari total pasokan energi pada tahun 2025. Untuk dapat mencapai target skenario tersebut, masing-masing negara anggota ASEAN diharapkan dapat mencapai target nasional yang telah ditetapkan. Tantangan yang dihadapi oleh negara-negara di regional ASEAN, termasuk Indonesia adalah bagaimana mengimplementasikan pencapaian target 23 persen tersebut pada tahun 2025.[7]

Indonesia sebagai negara kepulauan, memiliki keunikan karena kaya akan sosio-ekonomi, demografi, politik dan geografis. Hal ini tentu akan sangat berdampak pada agenda pembangunan negara ini. Potensinya terdiri dari 17.000 pulau, adanya sistem demokrasi dan memiliki jumlah penduduk tertinggi ke-4 di dunia. Selain itu, Indonesia adalah negara dengan populasi muslim terbesar di dunia. Ditambah dengan budaya yang kaya, Indonesia negara yang memiliki jati diri dan ciri yang khas dibanding negara-negara lainnya. Perkembangan ekonominya banyak berkontribusi pada penurunan kemiskinan dan menempatkannya masuk ke dalam 10 negara berpenghasilan tertinggi di dunia.



Grafik 1. Pola Konsumsi Energi Berdasarkan *Region*

Sumber: *Statistical Review of World Energi* 2020

[6] Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas), "*Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia*", Cetakan Pertama (2018).

[7] The International Renewable Energy Agency (IRENA), "*Renewable Energy Outlook For ASEAN*", https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_REmap_ASEAN_2016_report.pdf. Diakses pada tanggal 31 Maret 2021.

Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, energi menjadi kebutuhan dasar dengan per tahun rata-rata pertumbuhannya mencapai 7 persen. Lebih lanjut, 94 persen kebutuhan masih tergantung pada energi fosil. Dengan kondisi saat ini, Indonesia berkontribusi menyumbangkan emisi karbon terbesar dari sektor *Land Use, Land Use Change and Forsetry* (LULUCF) sebanyak 50 persen. Sektor energi menyumbangkan emisi karbon sebesar 30 persen, dan dari sektor transportasi mencapai 12 persen. Hingga tahun 2050, penggunaan energi di Indonesia diperkirakan akan didominasi oleh kebutuhan pemenuhan listrik pada sektor industri, disusul oleh sektor transportasi dan rumah tangga. Oleh karena itu, pemenuhan kebutuhan energi yang tinggi di masa mendatang mesti diupayakan, di antaranya dengan pemanfaatan dan implementasi energi baru dan terbarukan (EBT) yang ramah lingkungan dalam rangka mewujudkan ketahanan energi nasional.[8]

United Nations Environment Programme (UNEP) mencetuskan gagasan mengenai *green economy* dalam rangka mendukung upaya pemenuhan kebutuhan energi terbarukan di antaranya melalui penurunan emisi gas rumah kaca. Gagasan tersebut bertujuan memberikan peluang yang besar bagaimana upaya memanfaatkan konsepsi *green economy* dalam rangka menunjang pelaksanaan pembangunan yang berorientasi pada aspek lingkungan dan ekosistem. UNEP menyatakan bahwa pengertian *green economy* lebih luas cakupannya dibandingkan *Low-Carbon Economy* (LCE) atau *Low-Fossil-Fuel Economy* (LFFE), yaitu aktivitas ekonomi yang memberikan *output* minimal terhadap emisi *Green Houses Gas* (GHG) yang dilepaskan.[9] Model ekonomi baru tersebut didasarkan pada ilmu *ecological economics* yang membahas ketergantungan manusia dan dampak yang ditimbulkan dari aktivitas ekonomi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Indikator penerapan *green economy* dalam suatu perekonomian dapat dilihat melalui beberapa aktivitas, seperti peningkatan investasi publik dan *private* dalam sektor *hijau*: (i) peningkatan dalam kuantitas dan kualitas lapangan pekerjaan di sektor *hijau*, (ii) peningkatan GDP dari sektor *hijau*, (iii) penurunan penggunaan energi/sumber daya per unit produksi, (iv) penurunan level CO_2 dan polusi serta (v) penurunan konsumsi yang banyak menghasilkan limbah.[10]

Terkait dengan gagasan konsepsi *green economy* tersebut, terdapat dua hal yang ingin dicapai. Pertama, ekonomi hijau mencoba untuk membuat konsep ekonomi yang bukan hanya sekedar mempertimbangkan masalah makro ekonomi, khususnya investasi di sektor-sektor yang memproduksi produk ramah lingkungan maupun produksi barang dan jasa yang lebih ramah lingkungan (*green investment*), namun juga difokuskan pada bagaimana kontribusi investasi hijau tersebut terhadap pertumbuhan lapangan pekerjaan di bidang yang terkait dengan ramah lingkungan (*green job*). Kedua, *green economy* mencoba untuk menyiapkan panduan *pro-poor green investment*, atau investasi hijau yang mampu mendorong pengentasan masalah kemiskinan.

[8] Azhar, Muhamad, dan Dendy Adam Satriawan. "Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional." *Administrative Law and Governance Journal* 1, no. 4 (2018): 398-412.

[9] UNEP, "*Environmental Management Accounting Procedures & Principles"*, Newyork (2011).

[10]Ika Yunia Fauzia, "Urgensi Implementasi *Green Economy* Perspektif Pendekatan Dharuriyah Dalam Maqashid Al-Shariah"*Jurnal Ekonomi dan Bisnis Islam* 2, no. 1 (2016).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tujuan utamanya adalah untuk mendorong agar para pembuat kebijakan mampu membuat semua jajaran pemerintahan dan sektor swasta ikut serta untuk mendukung peningkatan investasi hijau.[11] Model ekonomi ini diciptakan akibat adanya kecenderungan manusia yang lebih pada *profit oriented* dibandingkan *sustainable oriented*. Model ekonomi yang ada saat ini, mendorong manusia untuk menggunakan segala cara tanpa memperhatikan pelestarian lingkungan untuk mendapatkan keuntungan yang maksimum.

Pemanfaatan dan eksploitasi sumber daya alam yang tidak diimbangi oleh upaya konservasi yang mengatasnamakan kesejahteraan hidup manusia tampaknya mulai menampilkan dampak negatif terhadap keberlangsungan lingkungan hidup. Hal ini tidak hanya mengancam keberlangsungan lingkungan alam, tetapi juga keberlangsungan hidup manusia itu sendiri. Isu keterbatasan energi, pemanasan global dan perubahan iklim hanyalah sebagian dari sekian banyak isu lingkungan yang demikian pelik untuk diperhatikan yang tidak hanya bersifat lokal tetapi juga global. Meningkatnya kesadaran terhadap isu lingkungan ini mendorong negara-negara di dunia, termasuk Indonesia, untuk memikirkan upaya pengimbangan laju ekonomi dengan upaya konservasi lingkungan alam dan melahirkan paradigma ekonomi yang memasukkan aspek lingkungan dan keadilan sosial ke dalamnya.[12] Di Indonesia, konsep pembangunan berkelanjutan sudah dimulai sejak tahun 1970-an, namun hingga sekarang masih cenderung fokus pada pembangunan ekonomi, bahkan pada pertumbuhan yang cenderung pendek. Model pembangunan yang dikembangkan hanya menggerakkan pembangunan ekonomi yang cenderung ekstraktif. Tanpa menafikan adanya perbaikan kualitas seumber daya dan lingkungan, namun secara umum dapat dikatakan bahwa upaya mempertahankan fungsi lingkungan dan pemnafaatan saumber daya alamsecara lestari masih jauh dari yang diharapkan.[13]

Konsep implementasi *green economy* diyakini mampu menjadi solusi bagi permasalahan tersebut di atas dan membawa kehidupan dan peradaban global menjadi lebih baik, berkeadilan, sejahtera, dan berkesinambungan. Hal ini sesungguhnya sesuai dengan *value* dalam prinsip atau konsep Ekonomi Syariah khususnya pada sudut pandang *maqāṣid al-syarī'ah*. Secara terminologi, *Maqāshid al-syarī'ah* adalah maksud Allah selaku pembuat syariat untuk memberikan kemaslahatan (*maslahah*) kepada manusia, yaitu dengan terpenuhinya kebutuhan-kebutuhan *darūriyyah* (primer), *hājiyyah* (sekunder), dan *tahsiniyyah* (tersier) agar manusia bisa hidup dalam kebaikan dan dapat menjadi hamba Allah yang baik.[14] Khusus untuk kategori *darūriyyah*, para ulama kemudian membaginya lebih rinci menjadi *al-kulliyāt al-khamsah* yaitu *hifzu al-dīn* (penjagaan agama), *hifzu al-nafs*

[11] Azwar Iskandar dan Khaerul Aqbar. "Green Economy Indonesia Dalam Perspektif Maqashid Syari'ah." *Al-Mashrafiyah: Jurnal Ekonomi, Keuangan, dan Perbankan Syariah* 3, no. 2 (2019): 83-94.

[12] *Idem*.

[13] Makmun, Makmun. "Green Economy: Konsep, Impelentasi dan Peran Kementerian Keuangan." *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan* 19, no. 2 (2011): 1-15.

[14] Ika Yunia Fauzia. "Urgensi Implementasi Green Economy Perspektif Pendekatan Dharuriyah Dalam Maqashid Al-Shariah." *Jurnal Ekonomi dan Bisnis Islam (JEBIS)* 2, no. 1 (2016): 87-104.

(penjagaan jiwa), *hifzu al-aql* (penjagaan akal), *hifzu al-nasl* (penjagaan keturunan), dan *hifzu al-māl* (penjagaan harta benda). *Darūriyyah* adalah suatu kondisi di mana ketika manusia tidak bisa mendapatkan kebutuhannya, maka manusia akan rusak dan tidak sejahtera. Hal ini berbeda dengan *hājiyyah* dan *tahsiniyyah*, di mana *hājiyyah* adalah kondisi di mana seseorang ketika tidak mendapatkan kebutuhannya, maka tidak akan mengancam kehidupannya. *Tahsiniyyah* adalah pemenuhan kebutuhan yang konteknya hanya untuk mempermudah dan menambah nilai hidup manusia. Para ulama terdahulu menyepakati bahwa syariat diturunkan untuk membangun kemaslahatan manusia di dunia dan akhirat. Syariat diturunkan untuk dilaksanakan sesuai dengan *maqāṣid*-nya agar kehidupan yang adil dapat ditegakkan dan kesejahteraan sosial dapat diwujudkan.

Berdasarkan deskripsi terkait urgensi ketersediaan energi terbarukan, *green economy* dan implementasi ekonomi Syariah yang sesungguhnya memiliki ruh yang sejalan dengan upaya masyarakat global dalam mendukung program energi tersebut, penulis tertarik untuk melihat lebih jauh bagaimana sinergitas antara praktik ekonomi Syariah di Indonesia dan program energi terbarukan dalam rangka mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan konsep sinergitas praktik ekonomi Syariah dan program energi terbarukan di Indonesia dalam rangka mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*).

KERANGKA TEORI

1. Kebijakan Nasional Terkait Energi Terbarukan

Isu dan permasalahan energi nasional saat ini telah dituangkan dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN).[15] Peraturan ini menjadi dasar pemerintah dalam melakukan pemodelan kebutuhan pasokan energi sampai dengan tahun 2050. Pokok permasalahannya adalah sebagai berikut: (1) sumber daya energi masih diperlakukan sebagai komoditas yang menjadi sumber devisa negara, belum sebagai modal pembangunan; (2) penurunan produksi dan gejolak harga minyak bumi; (3) akses dan infrastruktur energi yang terbatas; (4) ketergantungan terhadap Impor BBM dan LPG; (5) harga EBT belum kompetitif dan subsudi energi belum tepat sasaran; (6) pemanfaatan energi belum efisien; (7) penelitian, pengembangan dan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi masih terbatas; (8) kondisi geopolitik dunia dan isu lingkungan global; dan (9) cdangan penyangga energi belum tersedia.

Secara khusus, di bidang kemandirian energi pada pemerintah Indonesia, sasaran kemandirian energi tahun 2020 dilakukan antara lain untuk memenuhi rasio elektrifikasi mendekati 100 persen dan peningkatan produksi sumber daya energi dari sumber baru dan terbarukan. Di sisi distribusi energi terutama gas bumi, penekanan

[15]Ngada.Org. *Database Peraturan*. https://ngada.org/ps22-2017.htm#:~:text=1.Rencana%20Umum%20Energi%20Nasional,mencapai%20sasaran%20Kebijakan%20Energi%20Nasional , diakses pada tanggal 21 April 2021.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

dilakukan untuk pembangunan ruas pipa transmisi dan jaringan pipa distribusi gas sepanjang 12.597 km, SPBG sebanyak 2 unit (APBN), serta jaringan gas kota di 12 lokasi. Asas pengembangan energi nasional mengacu pada prinsip Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang berkeadilan, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan. Tujuannya untuk menciptakan kemandirian dan ketahanan energi nasional. Dorongan pemerintah dalam mencapai kemandirian energi di Indonesia dilakukan dengan peningkatan EBT yang saat ini telah dituangkan dalam:

a. Perpres Nomor 2 tahun 2017 tentang RUEN (Rencana Umum Energi Nasional)
b. Peraturan Kemenkeu tentang skema pembiayaan Kemitraan Pemerintah-Swasta yang menyediakan fasilitas termasuk Dana Pengembangan Proyek (PDF), Viability Gap Fund (VGF), Pembayaran Ketersediaan (AP) dan jaminan Pemerintah untuk proyek-proyek infrastruktur. PMK No. 223 / PMK.011 / 2012; PMK No.190 / PMK.08 / 2015 dan PMK No. 95 / PMK.08 / 2017.
c. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral - Peraturan Menteri ESDM No. 50/2017 tentang Pemanfaatan energi terbarukan dalam pembangkit listrik.
d. Peraturan Menteri ESDM No.38 / 2016 tentang Percepatan pelistrikan pedesaan di pelosok, perbatasan dan pulau-pulau kecil berpenghuni melalui bisnis pasokan listrik skala kecil.
e. Peraturan Pemerintah PP No.23 / 2014 sebelumnya PP No.14 / 2012 tentang Bisnis Kelistrikan yang memungkinkan perusahaan swasta untuk berpartisipasi.
f. Peraturan Menteri ESDM Nomor 35/2014 tentang Pembentukan "Pelayanan Satu Pintu" tentang penerbitan izin untuk sektor listrik.
g. Peraturan Pemerintah PP No. 79 /2014 tentang Kebijakan Energi Nasional.
h. Peraturan Menteri Keuangan (Peraturan Menteri Keuangan) PMK No. 21/ PMK.011/2010 tentang Pemberian fasilitas perpajakan dan bea cukai untuk kegiatan menggunakan energi terbarukan sumber.
i. Revisi Undang-Undang No. 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan agar swasta mendapat kesempatan untuk membantu kemandirian dalam penyediaan tenaga listrik dan peraturan pelaksanaan yang berkaitan peraturan di bidang Energi Baru dan Energi Terbarukan (EBT).
j. Undang-Undang No.30 Tahun 2007 tentang Energi

2. Energi Terbarukan dalam Konsep Islam dan Ekonomi Syariah

Al-Qur'an adalah pedoman lengkap yang mencakup semua aspek kehidupan, baik spiritual, intelektual, politik, sosial, ekonomi maupun energi. Al-Qur'an adalah kitab yang berisi tinjauan tentang konsep energi atau sumber-sumber energi terbarukan yang secara konseptual dan sederhana telah diilustrasikan dalam beberapa

ayat Al-Qur'an.[16] Sumber-sumber energi dan energi terbarukan banyak disebutkan dalam Al-Qur'an. Beberapa ayat Al-Qur'an yang menjelaskan berbagai sumber energi dan energi terbarukan disebutkan oleh Hasanuz Zaman[17] dan Aan Jaelani[18], yaitu sebagai ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Al-Qur'an dan Konsep Energi

No.	Nama Surah dan Ayat Al-Qur'an	Isu Terkait energi
1.	Al-An'ām, 6: 95	Butir tumbuh-tumbuhan dan biji buah-buahan
2.	Al-Hijr, 15: 22	Angin, perkawinan tanaman, hujan, dan air untuk minum
3.	Al-Nahl, 16: 11-13	Air hujan, tanaman yang tumbuh, malam dan siang, matahari dan bulan, bintang, bumi untuk dikelola manusia
4.	Yasin, 36: 34	Kebun kurma dan anggur, dan mata air
5.	Al-Hajj, 22: 65	Bumi dan bahtera yang berlayar di lautan; menahan benda langit jatuh ke bumi.
6.	Al-Mu'minūn, 23: 21-22	Binatang ternak, air susu, konsumsi, binatang dan perahu untuk transportasi.
7.	Al-Rūm, 30: 46	Angin sebagai pembawa berita gembira, kapal berlayar untuk mencari penghidupan
8.	Al-Fāṭir, 35: 12	Laut tawar dan asin yang menghasilkan daging segar dan perhiasan, dan kapal yang berlayar.
9.	Saba', 34: 10	Besi, baju zirah
10.	Saba', 34: 12	Angin dan transportasi
11.	Al-Hadīd, 57: 25	Besi dan pemanfaatannya

[16] Jaelani, Aan. "Renewable Energi Policy in Indonesia: Scientific signs of the Qur'an and Implementation in Islamic Economic." *MPRA Paper* 83314 (2017).

[17] Hasan-uz-Zaman, Syed Muhammad. *Economic Guidelines in the Quran*. Vol. 21. International Institute of Islamic Thought (IIIT), 1999.

[18] Aan Jaelani. "Renewable Energi Policy in Indonesia: Scientific signs of the Qur'an and Implementation in Islamic Economic." *MPRA Paper* 83314 (2017).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pada Tabel 2 di atas, Allah menciptakan sumber energi untuk manusia dengan cara menundukkan alam dan isinya. Secara ilmiah, *soul*, *water* dan *vegetation* melalui suatu proses yang didahului dengan adanya sumber energi yang berasal dari air hujan.[19] Air ini dapat menyuburkan tanah dan menumbuhkan tanam-tanaman (seperti kurma dan anggur) yang sebagiannya melalui perantaraan angin sehingga beberapa tumbuhan tertentu mengalami penyerbukan.[20] Sumber energi yang lainnya berupa mata air yang dimanfaatkan oleh manusia dalam kehidupannya. Isyarat ilmiah pada beberapa ayat di atas antara lain berpa sumber energi nabati yang berasal dari tumbuhan dapat dimanfaatkan untuk sumber energi terbarukan sebagai pengganti bahan bakar. Oleh karena itu, sumber energi terbarukan adalah sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global, karena energi yang didapatkan berasal dari proses alam yang berkelanjutan, seperti sinar matahari, angin, air, biofuel, dan geothermal. Ini menegaskan bahwa sumber energi telah tersedia di Indonesia, tidak merugikan lingkungan, dan menjadi alasan utama EBT ini sangat terkait dengan masalah lingkungan dan ekologi.[21]

Dalam ekonomi Islam, pendekatan filosofis tentang energi dari perspektif Al-Qur'an dapat ditelusuri dari tiga aspek yang saling berkaitan dalam ekonomi energi, yaitu tugas manusia sebagai khalifah Allah dalam memakmurkan bumi, lingkungan sebagai tempat hidup manusia, dan kebutuhan manusia terhadap energi. Dalam Al-Qur'an, manusia merupakan makhluk yang paling potensial sehingga Allah mendelegasikan tugas utama sebagai khalifah kepada manusia (Q.S. al-Baqarah, 2: 29-32) untuk mengelola dan memakmurkan bumi (Q.S. Hud, 11: 61-62). Manusia diberikan potensi akal yang mampu menciptakan teknologi untuk mengelola bumi dan sumber daya alam, sebagaimana Allah telah menciptakan langit, bumi, gunung, air, dan tumbuhan (Q.S. al-Anbiya', 21: 30-31), sehingga manusia dapat menikmati seluruh karunia tersebut untuk memenuhi kebutuhan hidup dan melangsungkan kehidupannya, termasuk kebutuhan energi.

Begitu juga, Al-Qur'an telah menerangkan dalam surah al-Rum ayat 41 sampai 42, surah al-Qashash ayat 77, dan surah al-A'raaf ayat 56 dimana pada ayat-ayat tersebut diterangkan bahwa Allah menciptakan alam semesta dan segala isinya adalah untuk dimanfaatkan oleh manusia demi kesejahteraan hidup dan kemakmurannya. Manusia diangkat sebagai khalifah di bumi agar dapat menjaga kelestarian alam dan jangan sampai rusak. Manusia diperbolehkan menggali kekayaan alam, mengolahnya, dan memanfaatkan sebagi bekal beribadah kepada Allah dan beramal saleh.[22] Oleh karenanya, semua yang diciptakan oleh Allah menjadi bagian dari kebutuhan hidup manusia, namun manusia diberikan tanggung jawab

[19] Badr al-Din Muhammad Al-Zarkasyi, *Al-burhan fi 'ulum Al-Qur'an*. Kairo: Dar al-Turath, 1984.

[20] Ramli, Saipolbarin, Sumaiya Zainal Abidin Murad, and Ahmad Fikri Hj Husin. "Biodiesel in holy Quran: among the review of the Arabic lexicography and modern science." *Mediterranean Journal of Social Sciences* 5, no. 19 (2014): 336-336.

[21] Suprayogi, M. , *Jurnal Energi 2*. Jakarta: Kementerian ESDM, 2016.

[22] Aziz, R. M. "Penanganan Energi Pada Krisis Ekonomi Akibat Covid-19 Sesuai Agama dan Sains." In *Seminar Nasional Teknologi Industri Hijau*, vol. 2, no. 1, pp. 194-204. 2020.

sebagai kewajiban agama untuk mengelola dengan baik, tidak berbuat kerusakan di bumi dengan melakukan eksploitasi yang merugikan manusia dan lingkungan (Q.S. Al-Qashash, 22: 77), dan bertindak efisien dalam pemanfaatan sumberenergi (Q.S. al-An'am, 6: 141).[23] Dengan kata lain, tugas manusia dalam memakmurkan bumi merupakan kewajiban agama,[24] termasuk pemanfaatan energi untuk kesejahteraan manusia dan mengembangkan energi terbarukan.[25]

Vaghefi *et al*.[26] menyatakan bahwa pandangan Islam tentang sumber daya alam bersumber pada Al-Qur'an. Dalam Al-Qur'an disebutkan beberapa prinsip penting tentang konservasi lingkungan, serta menilai kerusakan lingkungan dan kekeliruan dalam pengelolaan sumber daya alam sebagai perbuatan jahat (Q.S. Al-A'raf, 7:31; Al-An'am, 6: 141). Dengan demikian, konservasi energi dari penyalahgunaan dan eksploitasi melalui penghematan energi termasuk kewajiban agama.

Demikian pula pengembangan sumber energi terbarukan yang dibutuhkan masyarakat, secara *maqāṣid syarī'ah* (tujuan-tujuan syari'ah) pada aspek pemeliharaan nyawa manusia, maka pengembangan energi terbarukan yang bertujuan untuk kelangsungan hidup manusia, kebutuhan terhadap konsumsi energi, kesejahteraan masyarakat, dan menghindari krisis energi, maka pengembangan energi terbarukan bersifat wajib secara agama.[27] Dalam konteks EBT, Rasulullah saw. bersabda bahwa "manusia berserikat dalam tiga hal yaitu air, padang rumput gembalaan dan api". Dalam konteks kekinian, hadis tersebut menuntun kita agar secara bersama-sama menjaga air, makanan dan energi. Konteks tersebut sangat selaras dengan konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) guna menghadapi peningkatan populasi dunia, urbanisasi, serta perubahan pola makan dan pertumbuhan ekonomi.[28]

Kerusakan lingkungan hidup adalah karena konsep ekonomi kapilatistik yang ribawi dengan konsep "*time value of money*", yaitu uang diterima saat ini lebih berharga daripada uang yang diterima masa datang. Konsep ini mengakibatkan kegiatan ekonomi yang ekstraktif, dimana seluruh sumberdaya alam harus secepatnya dieksploitasi untuk mendapatkan keuntungan sebesar-besarnya secepatnya. Hal ini tentu menimbulkan kerusakan lingkungan yang hebat karena alam memiliki daya dukung dan daya tampung tertentu. Di lain pihak produktivitas dan kesinambungan ekonomi sangat bergantung pada kesinambungan interaksi timbal balik antara manusia dan jasa ekosistem yang seimbang. Oleh karena itu, konsep keuangan berkelanjutan yang diterapkan Otoritas Jasa Keuangan (OJK) yang mewajibkan

[23] Ibn Hayyan, M. "Tafsir al-bahr al-muhit." *Beirut: Dar al-Kutub al-'Ilmiyyat* (1993).

[24]Aan Jaelani. "Kebijakan Energi Baru Terbarukan di Indonesia: Isyarat Ilmiah Al-Qur'an dan Implementasinya dalam Ekonomi Islam." *MPRA (83314)* (2017).

[25] Mardliyah, Watsiqotul, S. Sunardi, and Leo Agung. "Peran Manusia Sebagai Khalifah Allah di Muka Bumi: Perspektif Ekologis dalam Ajaran Islam." *Jurnal Penelitian* 12, no. 2 (2018): 355-378.

[26] Vaghefi, Negin, Chamhuri Siwar, and Sarah Aziz Abdul Ghani Aziz. "Green economy: issues, approach and challenges in muslim countries." *Theoretical Economics Letters* 5, no. 01 (2015): 28.

[27] Aan Jaelani. "Public financial management in Indonesia: Review of Islamic public finance." *MPRA Paper* 72340 (2015).

[28] MUI-LPLHSDA, *Pembangunan dan Pembiayaan Syariah Energi Baru Dan Terbarukan Untuk Rumah Ibadah*, https://mui-lplhsda.org/pembangunan-dan-pembiayaan-syariah-energi-baru-dan-terbarukan-untuk-rumah-ibadah/, diakses pada tanggal 4 April 2021.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

seluruh perusahaan untuk mengalokasikan biaya dampak lingkungan[29] sangatlah tepat, karena inti dari ekonomi adalah untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia yang tergantung dari terjaganya fungsi jasa ekosistem yang seimbang. Allah telah memerintahkan kita untuk menjaga bumi dalam mencari rezeki kita, seperti firman-Nya dalam Surah al-Baqarah ayat 60, "Makan dan minumlah rezki (yang diberikan) Allah, dan janganlah kamu berkeliaran di muka bumi dengan berbuat kerusakan."

B. METODE PENELITIAN

Berdasarkan tujuan yang hendak dicapai, penelitian ini termasuk ke dalam kategori/jenis penelitian deskriptif yang bertujuan untuk menggambarkan situasi atau gejala tertentu secara terperinci.[30] Dari sisi pendekatan, penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif melalui metode studi pustaka dan *content analysis*.[31] Metode studi/riset kepustakaan (*library research*) pada penelitian ini menggunakan sumber data yang diperoleh dari hasil penelitian, peraturan, artikel dan buku-buku referensi yang membahas topik yang berkaitan dengan tema penelitian.[32] Sedangkan metode *content analysis* merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui simpulan dari sebuah teks. Atau dengan kata lain, analisis isi dalam penelitin ini ingin mengungkap gagasan penulis yang termanifestasi maupun yang laten.[33] Sumber data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari hasil penelitian, artikel dan buku-buku referensi yang membahas topik yang sama, khususnya pada dokumen *Master Plan Ekonomi Syariah Indonesia*. Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan teknik dokumentasi, pencarian data atau teori yang relevan dengan pertanyaan penelitian Data yang diperoleh berupa bahan pustaka kemudian diolah dan dianalisis secara kritis dan mendalam untuk mendukung proposisi dan gagasan yang ada dari berbagai referensi.[34]

C. HASIL TEMUAN DAN PEMBAHASAN

1. Sinergitas Program EBT dan Ekonomi Syariah

Rantai nilai energi terbarukan dimulai dari kesediaan sumber daya alam sampai dengan pemanfaatan akhir dari energi itu sendiri. Pemanfaatannya untuk berbagai sektor, seperti kebutuhan rumah tangga, transportasi, industri, dan komersial. Terdapat juga industri primer yaitu terdiri dari hulu (mengangkat dari sumber asalnya) dan hilir (mengolah menjadi produk energi). Dalam

[29] Peraturan Otoritas Jasa Keuangan No. 51/POJK.03/2017 tanggal 18 Juli 2017 tentang Penerapan Keuangan Berkelanjutan

[30] M. Hamdi dan Ismaryati S, *Materi Pokok Metodologi Penelitian Administrasi; 1-12; MAPU5103/4 SKS,* (Tangerang Selatan: Universitas Terbuka, 2019).

[31] Sarwono Jonathan. *Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif*, (Graha Ilmu, 2006).

[32]John W. Creswell. "Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan Mixed, terj." *Achmad Fawaid. Yogyakarta: Pustaka Pelajar* (2012).

[33]Margrit Schreier. *Qualitative content analysis in practice*. Sage publications, 2012.

[34] Sri Haryanto. "Pendekatan Historis Dalam Studi Islam." *Manarul Qur'an: Jurnal Ilmiah Studi Islam* 17, no. 1 (2017): 127-135.

pengembangannya, industri energi terbarukan dapat menjadi peluang sekaligus tantangan. Fokusnya pada aspek pasar, Sumber Daya Manusia (SDM), teknologi, regulasi, pembiayaan dan *research & development* (R&D).

Keunggulan Indonesia adalah memiliki sumber daya yang melimpah dalam mengimplementasikan energi terbarukan yang dapat disediakan secara lokal. Berbagai kebijakan di skala regional dan nasional yang ada menjadi aspek pendukung. Selain itu, potensi ketersediaan sumber energi terbarukan di Indonesia beragam dan cukup besar yang telah didukung oleh teknologi untuk pengembangan energi terbarukan yang relatif mudah dipelajari untuk diimplementasikan. Meski pada dasarnya sudah memiliki keunggulan dan aspek pendukung, pengembangan energi terbarukan di Indonesia masih belum optimal. Salah satu penyebabnya adalah pengembangan energi terbarukan memerlukan biaya investasi yang tinggi dan harga jual produk belum kompetitif. Distribusi energi terbarukan masih memiliki akses pasar yang terbatas dan belum dapat diproduksi secara massal. Selain itu, saat ini pengembangan energi terbarukan belum didukung oleh infrastruktur yang memadai. Hal lain yang perlu menjadi perhatian adalah belum adanya sinergi efektif dari para pemangku kebijakan untuk mengeksekusi potensi pengembangan energi terbarukan yang dimiliki oleh Indonesia.

Padahal sejatinya, dengan pengembangan energi terbarukan, ketergantungan akan energi fosil dapat berkurang. Sektor ini berpotensi untuk menyerap banyak tenaga kerja yang dapat menurunkan tingkat pengangguran. Pengembangan energi terbarukan ini berpotensi untuk dapat meningkatkan nilai tambah dari sumber energi dan membuka kesempatan perluasan skala usaha. Dari segi otonomi daerah, energi terbarukan membuka peluang daerah untuk memiliki otonomi sumber energi.

Dalam rangka untuk mendukung tercapainya visi Indonesia yang mandiri, makmur dan madani dengan menjadi pusat ekonomi dan keuangan Syariah terkemuka dunia, klaster energi terbarukan dapat menjadi katalisator untuk penguatan halal rantai nilai (*halal value chains*).[35] Kontribusinya terlihat dalam peningkatan kemandirian ekonomi melalui swasembada energi. Skema sinergitas di antara program energi terbarukan dan ekonomi/keuangan Syariah sebagiamana ditunjukkan pada Gambar 1. Sebagai titik awal sinergi, sektor keuangan Syariah dapat menjadi salah satu solusi bagi permasalahan minimnya ketersediaan instrumen pembiayaan yang sesuai dengan kebutuhan investasi EBT. Melalui berbagai pembiayaan berbasis syariah dengan berbagai skema, ekosistem industri keuangan Syariah dapat berkontribusi menjadi salah satu faktor pendukung pencapaian target EBT yang telah ditetapkan untuk tahun 2025 dan 2050.

Dalam mengembangkan investasi energi terbarukan, pemerintah dan swasta membagi porsinya dalam investasi. Sumber-sumber pendanaan energi terbarukan di Indonesia meliputi kementerian dan Perusahaan Listrik Negara (PLN), Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD), hibah, dan obligasi hijau (*green sukuk*).

[35] Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). "*Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia,"* Cetakan Pertama (2018).

Hingga tahun 2018 pendanaan untuk EBT disalurkan melalui Kementerian Energi Sumber Daya Meneral (ESDM) dan PLN. Skema pendanaan lainnya adalah melalui KPBU (kerja sama pemerintah dan badan usaha) dengan *independent power producer*. Investasi melalui skema APBD (dana alokasi khusus/DAK) dan Investasi oleh kementerian lain. Dana hibah sebagai salah satu sumber pendanaan non-APBN, dilakukan memalui skema pendanaan lainnya yang diperoleh dari hibah luar negeri seperti MCA-Indonesia, *Green Climate Fund*, ESP3, USAID-ICED, dan lainnya. Keperluan pendanaan yang cukup tinggi untuk pengembangan energi terbarukan menjadi potensi bagi keuangan Syariah untuk dapat berkontribusi melalui produk-produk keuangannya. Salah satu pilihan instrumen keuangan syariah yang dapat dimanfaatkan adalah sukuk. Proyek yang berkaitan dengan *sustainable energy and development* dapat didanai oleh sukuk. Hal itu meliputi energi bersih, transportasi massal, konservasi air, kehutanan, dan teknologi rendah karbon. Sukuk merupakan istilah baru yang dikenalkan sebagai pengganti kata obligasi syariah (*islamic bonds*). Secara terminologi, sukuk merupakan bentuk jamak dari kata "*sakk*" dalam bahasa Arab yang berarti sertifikat atau bukti kepemilikan. Sukuk mulai dikenal pada tahun 2002 di Indonesia dengan diterbitkannya sukuk korporasi oleh Indosat dengan nilai Rp 300 miliar menggunakan akad *muḍārabah*.

Setelah momentum tersebut, pemerintah Indonesia melalui Kementerian Keuangan mengeluarkan sukuk negara sebagai instrumen untuk membiayai infrastruktur. Selama sepuluh tahun sejak debutnya, pemerintah saat ini telah rutin menerbitkan sukuk negara baik di level nasional maupun internasional. Beberapa seri yang telah terbit di pasar adalah sukuk ritel, sukuk negara internasional (SNI), dan sukuk dana haji.[36] Perkembangan pesat pada inovasi jenis instrumen juga terjadi pada penerbitan sukuk negara setelah tahun 2010. Di tahun 2012, pemerintah melakukan lelang reguler sukuk negara seri PBS dan SPN-S, lelang sukuk negara tambahan (*green shoe option*), dan SNI dengan format *Islamic* GMTN. Selanjutnya pada tahun 2013, pemerintah pertama kalinya mulai menerbitkan sukuk berbasis proyek dengan nama *project based sukuk* (PBS). Satu tahun setelahnya, pemerintah menerbitkan sukuk global kelima dan keenam diterbitkan pada periode 2014-2015. Tahun 2016, sukuk negara ritel SR-008 diterbitkan oleh pemerintah dan dilanjutkan dengan menerbitkan Sukuk ritel SR-009 di tahun 2017.[37]

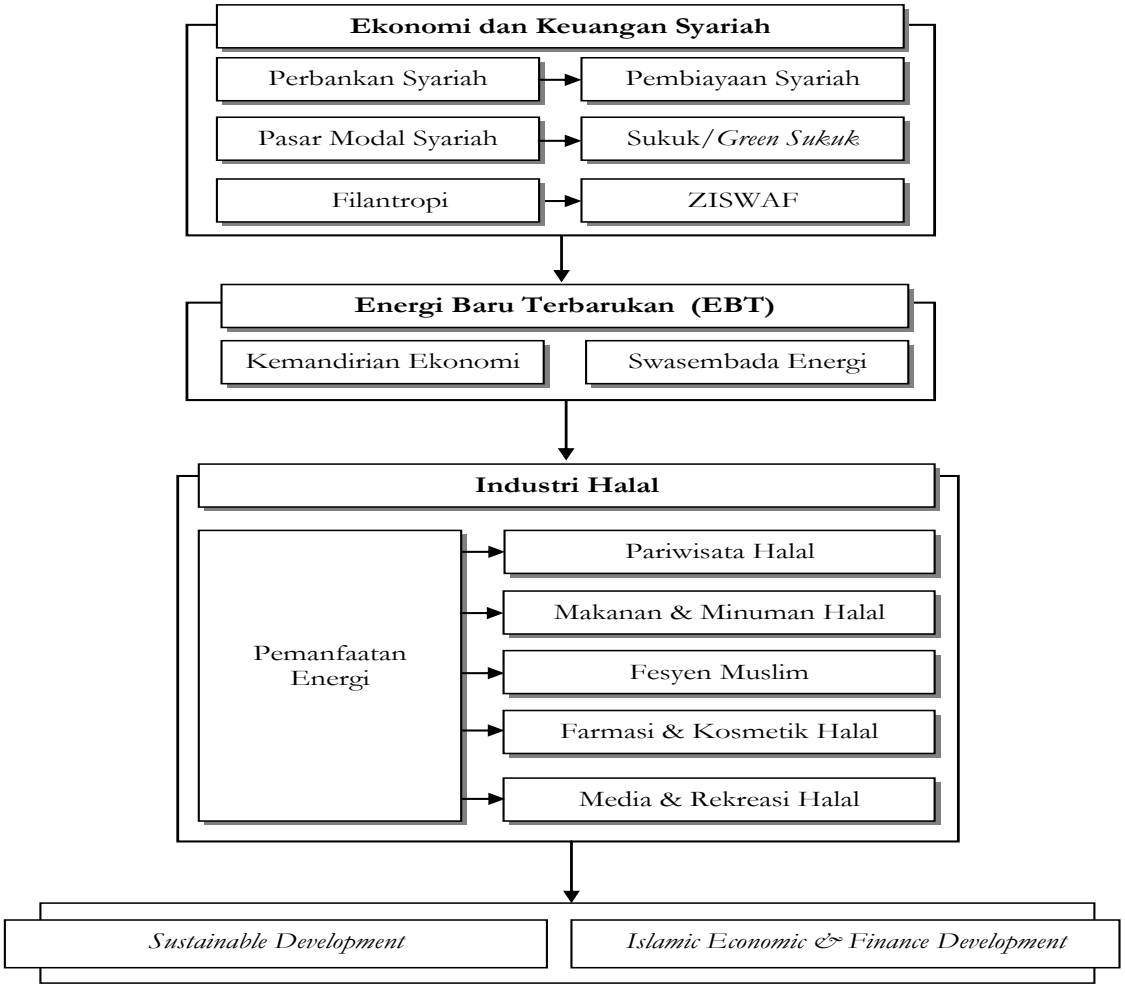
Pada tahun 2018, pemerintah pertama kalinya menerbitkan *green sukuk* sebagai kontribusi dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs). Sukuk jenis ini diterbitkan oleh pemerintah Indonesia untuk membantu pendanaan perubahan iklim.[38] Pemerintah menerbitkan *green sukuk* pertama kali di pasar global tahun 2018 dengan total sebesar USD1,25 milyar dengan *underlying* berupa proyek-proyek hijau di kementerian /lembaga. Indonesia tercatat menjadi Negara pertama yang menerbitkan *Sovereign*

[36] Kementerian Keuangan, "Ekonomi Hijau Untuk Masa Depan Peradaban." *Majalah Media Keuangan XIV*, no. 163 (2021).

[37] *Idem.*

[38] Eri Hariyanto, *Green Financing, Sukuk Negara Dan Pembangunan Berkelanjutan*, https://www.djppr.kemenkeu.go.id/page/load/2269/green-financing-sukuk-negara-dan-pembangunan-berkelanjutan, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Green Sukuk dan *Sovereign Retail Green Sukuk* di dunia. Penerbitan *green sukuk* ini mendapatkan 10 penghargaan internasional antara lain dari IFR Asia, Islamic Finance News, Finance Asia, Euromoney, The Triple A, dan Climate Bond Initiative. Reputasi sangat baik diperoleh Indonesia atas penerbitan *Green Sukuk* ini.[39] Indikasi menguatnya peran sukuk negara dalam pembiayaan APBN di antaranya dapat dilihat dari peningkatan jumlah penerbitan sukuk negara dari tahun ke tahun. Berdasarkan data Direktorat Pembiayaan Syariah Direktorat Jenderal Pengelolaan Pembiayaan dan Risiko (DJPPR), penerbitan sukuk negara mengalami peningkatan yang sangat signifikan dari pertama diterbitkan tahun 2008 yang hanya sebesar Rp 4,7 triliun hingga penerbitan pada tahun 2018 yang mencapai Rp 192,49 triliun. Setelah penerbitan *green sukuk* pada 22 Februari 2018 bertenor lima tahun senilai USD 1,75 miliar dan didaftarkan pada bursa Singapura dan NASDAQ Dubai, akumulasi total penerbitan sukuk negara sejak tahun 2008-2018 mencapai Rp 950.26 trilun.



Gambar 1. Skema Sinergitas Energi Terbarukan dan Ekonomi Syariah

[39] Kementerian Keuangan, "Ekonomi Hijau Untuk Masa Depan Peradaban." *Majalah Media Keuangan XIV*, no. 163 (2021).

Selain itu, sinergi dengan sektor keuangan syariah dapat dilakukan dengan pengembangan struktur keuangan Islam yang lebih kreatif. Hal itu dapat memanfaatkan aset dasar proyek; meningkatnya jumlah bank syariah dan konvensional yang sekarang bersedia meminjamkan atas dasar keuangan Islami; kesediaan agen ekspor kredit untuk bekerja dengan struktur pembiayaan syariah dan pemberi pinjaman; dan preferensi beberapa sponsor sektor swasta untuk mendapatkan pembiayaan atas dasar keuangan syariah. Alternatif pembiayaan untuk energi terbarukan yang dapat dilakukan melalui lembaga keuangan syariah melalui skema pembiayaan telah pernah dilakukan di lembaga perbankan dengan memberikan pembiayaan solar panel atap. Contohnya, di BPRS Lantabur Tebuireng Jawa Timur. Akad pembiayaan ini digunakan prinsip jual-beli (*murābahah*). Bank membeli paket produk listrik surya atap, kemudian menjualnya kepada nasabah dengan kesepakatan harga jual ditambah dengan margin penjualan kepada nasabah secara angsuran.[40]

Begitujuga di BNI Syariah, pihaknya melakukan penandatangan akad pembiayaan musyarakah modal kerja dengan PT Medco Power Indonesia sebesar Rp 400 miliar. Pembiayaan modal kerja ini bertujuan untuk corporate financing yang digunakan untuk tambahan modal kerja dan biaya operasional Medco Power. Medco Power Indonesia selama ini dikenal sebagai perusahaan yang unggul di sektor industri listrik terbarukan seperti pembangkit listrik panas bumi, mini hidro dan tenaga surya. Penandatanganan Akad Plafond Pembiayaan ini merupakan wujud dukungan BNI Syariah terhadap program pemerintah Indonesia dalam penggunaan Energi Terbarukan (*renewable energy*). Dukungan BNI Syariah terhadap penggunaan Energi Terbarukan (renewable energy) ini sesuai amanat Peraturan Otoritas Jasa Keuangan No. 51/POJK.03/2017 tanggal 18 Juli 2017 tentang Penerapan Keuangan Berkelanjutan. PT Medco Power Indonesia, Susilawati Nasution mengatakan saat ini perusahaan sedang membangun proyek energi terbarukan cukup besar di antaranya PLTP Ijen berkapasitas 110 MW yang akan beroperasi penuh (*Commercial Operation Date*) pada 2023. Selain itu, perusahaan ini juga mempunyai pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) di Riau berkapasitas 275 MW. Pada tahun ini, BNI Syariah mengusung tema strategis "Embracing New Opportunities", dimana bank siap meraih peluang-peluang baru dan menjadi partner yang lebih baik bagi seluruh stakeholder salah satunya di bidang energi terbarukan. Hal ini juga sesuai dengan *value proposition* BNI Syariah yaitu Hasanah Banking Partner, dimana BNI Syariah berkomitmen untuk memajukan ekonomi melalui dukungan kepada Medco Power Indonesia dalam pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia. Per Juni 2020, portofolio pembiayaan produktif BNI Syariah mencapai Rp 13,6 triliun. Mayoritas pembiayaan komersial BNI Syariah ini disalurkan ke beberapa sektor industri antara lain konstruksi, listrik, gas air, industri pengolahan, perdagangan, hotel dan restoran, serta jasa dunia usaha.[41]

---

[40] Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). "*Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia,"* Cetakan Pertama (2018).

[41] Keuangan-Kontan.Co.Id, *BNI Syariah salurkan pembiayaan Rp 400 miliar ke Medco Power*, https://keuangan.kontan.co.id/news/bni-syariah-salurkan-pembiayaan-rp-400-miliar-ke-medco-power, diakses pada tanggal 4 April 2021.

Sinergi antara sektor energi terbarukan dengan bidang keuangan syariah lebih lanjut juga telah dilakukan oleh Badan Amil Zakat Nasional (BAZNAS). Lembaga ini berkomitmen untuk mendukung program *appropriate mitigation actions in the energi sector* (MTRE3). Pada bulan Juli 2017, Rudi Mulyana selaku Dirjen Energi Terbarukan dan Konservasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral bersama dengan Zainulbahar Noor selaku Deputi Komisioner BAZNAS menandatangani penyerahan simbolik sumbangan sebesar USD 350,000 dari BAZNAS untuk mendukung program *Sustainable Development Goals* (SDGs). Pada bulan September lalu BAZNAS baru saja meresmikan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Desa Lubuk Bangkar, Kecamatan Batang Asai, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi. Program ini memberikan akses listrik pada 4.448 orang dari 803 rumah tangga.[42]

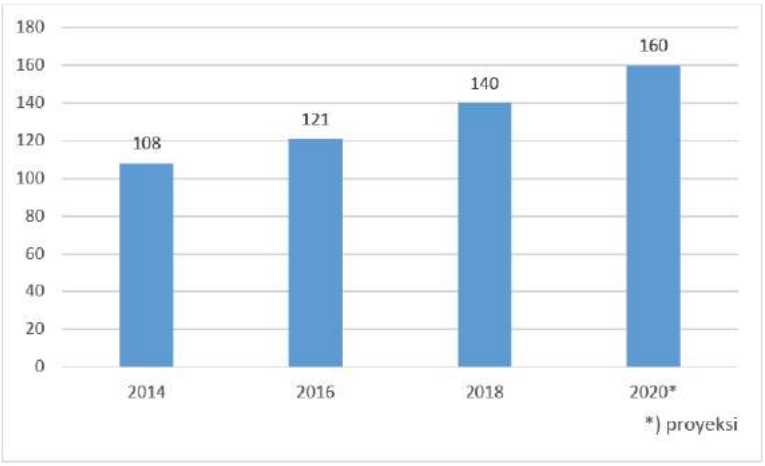
Hal ini menjadi sasaran yang perlu dicapai bagi sektor energi terbarukan untuk bersinergi dengan sektor keuangan syariah sebagai alternatif sumber pembiayaan dalam mendukung pencapaian target pemenuhan energi terbarukan di Indonesia. Adanya ahli di lembaga keuangan syariah maupun investor lain yang memahami industri energi terbarukan diperlukan untuk menilai risiko investasi sektor energi terbarukan. Tentu dengan nilai *capital expenditure* yang tinggi, marjin yang tidak besar, dan periode pembiayaan yang cukup panjang. Selanjutnya, dengan optimalnya pemanfaatan EBT di Indonesia, hasil energi tersebut menjadi pendukung untuk ujung tombak industri halal, di antaranya: pariwisata, industri makanan dan minuman, fesyen Muslim, farmasi dan kosmetik, serta media dan rekreasi. Terkhusus pada industri pariwisata halal, Indonesia dapat menyinergikan tempat produksi EBT menjadi salah satu destinasi pariwisata berbasis *green tourism*. Dengan semakin terintegrasinya kegiatan ekonomi secara global dan kemudahan akses informasi, sub-sektor pariwisata menjadi salah satu sub-sektor yang mengalami pertumbuhan, baik dalam segi volume transaksi maupun nilai tambah yang dihasilkan. Berdasarkan *Global Muslim Travel Index* (GMTI) 2019[43], jumlah wisatawan muslim dunia mencapai 140 juta orang pada tahun 2018 dan diprediksi akan bertambah menjadi 160 juta rang pada tahun 2020 (Grafik 2). Selain itu, Grafik 2 juga menunjukkan bahwa jumlah wisatawan muslim dunia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya, sehingga potensi pengembangannya masih sangat besar. Kondisi yang demikian membuat sub-sektor pariwisata dirasa dapat mendukung pertumbuhan perekonomian di suatu wilayah karena akan mendorong berkembangnya subsector yang lain, misalnya makanan dan minuman, transportasi, dan akomodasi.[44]

---

[42] Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas), " *Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia",* Cetakan Pertama (2018).

[43] Crescentrating.com. *Global Muslim Travel Index* 2019. https://www.crescentrating.com/reports/global-muslim-travel-index-2019.html, diakses pada tanggal 21 April 2021.

[44] PEBS FE UI. Indonesia Sharia Economic Outlook (ISEO) 2020. https://pebs-febui.org/download/indonesia-sharia-economic-outlook-iseo-2020/, diakses pada tanggal 21 April 2021.



Grafik 2. Jumlah Wisatawan Muslim di Dunia (2014-2020*)

Sumber: *Global Muslim Travel Index* (GMTI) 2019

Dalam sub-sektor pariwisata halal ini, Indonesia menempati peringkat ke-4 pada *Global Islamic Economic Indicator*[45] dengan nilai 52, di bawah Malaysia, UAE, dan Turki masing-masing dengan nilai 95,5; 72,7; dan 72 sebagaimana dapat dilihat pada Grafik 3. Selain itu, pada GMTI 2019, Indonesia bahkan menempati peringkat pertama sebagai daerah wisata halal terbaik, menempati peringkat yang sama dengan Malaysia (Grafik 4). Pada GMTI 2019 juga disebutkan bahwa Indonesia menduduki peringkat teratas dalam berkomunikasi dengan wisatawan Muslim, dimana indikatornya adalah dari segi kemudahan berkomunikasi, *digital presence* dan jangkauan (*outreach)*. Dalam hal ini, Indonesia mendapatkan nilai tertinggi dalam hal jangkauan (*outreach)*. Selain dalam hal komunikasi, Indonesia juga menjadi negara dengan peringkat teratas dalam hal tingkat pelayanan yang diberikan, di mana Indonesia mendapatkan nilai sempurna pada dua indikator yaitu bandara dan tempat ibadah.[46]

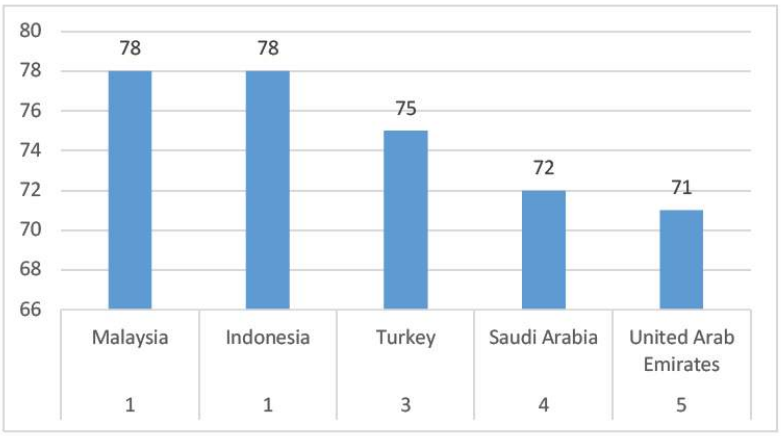


Grafik 3. Peringkat Pariwisata Halal Indonesia

Sumber: *State of Global Islamic Economy Report* 2018/19

[45] Dubai Islamic Economy Development Centre (DIEDC). State of the Global Islamic Economy Report 2018/19. http://www.iedcdubai.ae/wp-content/uploads/2019/02/SGIE-Report-2018-19_Eng_1540649428.pdf, diakses pada tanggal 21 April 2021.

[46] *Idem.*



Grafik 4. Perolehan Nilai dan Peringkat Destinasi Wisata Halal Negara OKI

Sumber: *Global Muslim Travel Index* (GMTI) 2019

Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, salah satu pengguna energi terbesar adalah dari sektor industri. Sinergi pemanfaatan energi terbarukan oleh sektor-sektor yang ada dalam ekosistem industri halal dapat mendukung peningkatan ekonomi yang berkelanjutan secara jangka panjang. Energi terbarukan dapat dimanfaatkan di antaranya oleh industri halal seperti: makanan dan minuman halal, fesyen muslim, pariwisata halal, farmasi dan kosmetik halal dan media dan rekreasi halal. Sebagai contoh, beberapa negara Eropa seperti Jerman dan Inggris telah mengintegrasikan sektor energi terbarukan dengan pariwisata. Hal ini dikenal dengan *green tourism*. Jerman melalui program Energiewende telah menerapkan integrasi sektor energi terbarukan dengan pariwisatanya.[47] Walaupun terdapat beberapa pihak yang keberatan dengan adanya program Energiewende, namun selain mampu memberikan energi terbarukan di Jerman, program tersebut mampu meluaskan fungsinya sebagai lokasi pariwisata tanpa menggangu fungsi utamanya untuk menghasilkan energi. Tidak dapat dipungkiri, penambahan fungsi dari sumber-sumber energi terbarukan akan meningkatkan kontribusi secara ekonomi di negara tersebut. Model lainnya terdapat di Inggris dengan nama Gladwinsfarm. Tempat wisata ini telah mendapatkan beberapa penghargaan salah satunya dalam kategori *green tourism*. Pariwisata ramah lingkungan di dalamnya memiliki konsep yang mirip dengan Energiewende. Kebijakan yang diterapkan oleh tempat wisata ini adalah pengurangan *carbon footprint*, *solar tracker panel* dan *biomass boiler*. Kelebihan dari Gladwinsfarm adalah fasilitas yang lebih lengkap sehingga aktivitas yang ditawarkan kepada para pengunjung lebih beragam untuk mempromosikan energi terbarukan dan *green tourism*.

[47]Clean Energy Wire, *Energy transition becomes a tourist attraction,* https://www.cleanenergywire.org/news/energy-transition-becomes-tourist-attraction#:~:text=%22Tourism%20and%20renewables%20are%20not,they%20can%20complement%20each%20other.%22, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Sinergi EBT dengan industri lain terjadi di Jerman dan Inggris yang telah memanfaatkan EBT untuk industri pariwisatanya. Saat ini hal tersebut belum dilakukan di Indonesia. Berdasarkan potensi yang ada di setiap daerah di Indonesia, salah satu yang dapat disinergikan adalah dengan melihat potensi pengembangan EBT dengan potensi pariwisata halal di setiap wilayah. Di Indonesia, Kementerian Pariwisata telah membuat destinasi wisata halal unggulan. 10 destinasi wisata tersebut meliputi Kepulauan Riau dan Sumatera, Bandung, Jakarta, Yogyakarta, Surabaya, Kepulauan Bali-Nusa Tenggara, Kalimantan, Sulawesi, serta Kepulauan Maluku dan Papua. Salah satu potensi pariwisata halal unggulan di area Great Bali adalah wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB).[48] Wilayah tersebut memiliki potensi energi laut dan tata surya. Potensi energi laut maupun energi tata surya di wilayah tersebut dapat menjadi salah satu potensi sinergi dengan pariwisata berkelanjutan (pariwisata halal) seperti yang sudah dilakukan oleh negara-negara di Eropa. Diperlukan riset dan kolaborasi bersama di antara pihak-pihak pemangku kebijakan serta yang dapat bersinergi antara sektor EBT dengan sektor pariwisata halal tersebut.

Dalam konteks pembiayaan EBT yang bersifat sosial keagamaan, Islam mengajarkan konsep *ta'awun*, yaitu tolong-menolong, gotong-royong, bantu-membantu dengan sesama manusia, seperti perintah Allah pada Surah al-Maidah ayat 2. Dalam hal ini, keuntungan yang diperoleh adalah sedekah jariah yang pahalanya akan mengalir terus. Program ini dapat dilakukan melalui urun dana (*crowd funding*) untuk memobilisasi potensi wakaf Indonesia sebesar Rp. 60 triliun untuk program-program sosial sekaligus pemberdayaan masyarakat, khususnya dalam aspek perlindungan lingkungan hidup. Sebagai contoh, wakaf pemasangan solar panel di masjid Salman ITB dan wakaf reaktor biogas telah dilakukan untuk pondok pesantren dan masjid Azzikra di Sentul, Bogor. Pembangunan fasilitas biogas ini tidak hanya untuk energi, namun juga untuk pengolahan limbah cair dari masjid yang sebelumnya di alirkan ke sungai Cikeas yang tentunya ini dilarang syariat Islam karena menimbulkan kemudharatan. Saat ini beberapa skema pembiayaan urun dana melalui wakaf sedang gencar dikembangkan oleh industri perbankan syariah dan Majelis Ulama Indonesia (MUI).[49]

Dalam rangka mengoptimalkan sinergitas antara program energi terbarukan dan ekonomi Syariah, beberapa langkah dan program *Quick Wins* yang dapat dilakukan adalah:

Pertama, kampanye terhadap keunggulan energi terbarukan untuk mencapai swasembada energi nasional. Salah satu permasalahan di sektor energi terbarukan ialah kurangnya kesadaran atau dukungan serta kepedulian masyarakat terhadap energi terbarukan. Kemudian masyarakat masih sangat bergantung pada energi fosil. Sebanyak 94 persen kebutuhan masih tergantung pada energi fosil. Semua kebutuhan

[48] Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas), "*Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia"*, Cetakan Pertama (2018).

[49] MUI-LPLHSDA, *Pembangunan dan Pembiayaan Syariah Energi Baru Dan Terbarukan Untuk Rumah Ibadah*, https://mui-lplhsda.org/pembangunan-dan-pembiayaan-syariah-energi-baru-dan-terbarukan-untuk-rumah-ibadah/, diakses pada tanggal 4 April 2021.

energi yang belum efisien dipenuhi energi fosil tersebut dan malah disubsidi pula. Hal yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan berkampanye atau menyosialisasikan keunggulan energi terbarukan dibandingkan dengan fosil, serta peningkatan kesadaran masyarakat akan potensi energi terbarukan ini dalam mencapai swasembada energi. Hal ini juga sejalan dengan strategi utama pada kerangka masterplan pengembangan ekonomi Syariah di Indonesia sebagai pusat ekonomi syariah dunia yaitu kampanye nasional gaya hidup halal.

Kedua, terciptanya kemudahan akses dan skema pembiayaan yang menarik untuk mendukung energi terbarukan. Masalah lain yang dihadapi oleh sektor energi terbarukan ialah sulitnya mendapatkan investasi dan pembiayaan untuk proyek pembangunanya. Sektor ini membutuhkan dana yang cukup besar. Hal ini sangat berkaitan dengan persepsi serta pemahaman masyarakat tentang energi terbarukan itu sendiri yang masih rendah. Persepsi mereka masih belum terlalu peduli dan sadar akan lingkungan ditambah dengan pemahaman masyarakat yang masih rendah tentang energi terbarukan. Hal ini menyebabkan masyarakat berpikir bahwa energi terbarukan merupakan bisnis yang tidak menguntungkan, sehingga proyek ini sulit mendapatkan pembiayaan. Pembiayaan syariah dapat menjadi salah opsi pembiayaan proyek energi terbarukan. Banyak instrumen keuangan syariah yang berpotensi untuk mendukung energi terbarukan, dari pembiayaan perbankan syariah, pasar modal syariah, sampai instrumen Zakat, Infak, Sedekah, dan Wakaf (ZISWAF). Hal ini juga sejalan dengan strategi utama dalam *masterplan* yaitu mendorong pendirian *national halal fund*.[50] Oleh karena itulah dibutuhkan skema pembiayaan syariah yang menarik sekaligus dukungan pemerintah dalam berbentuk insentif untuk mendukung proyek energi terbarukan secara finansial.

Ketiga, mengadakan riset dan publikasi mengenai energi terbarukan dan potensi kolaborasi dengan industri lain dalam rantai nilai halal yang dapat diapliksikan di Indonesia, terutama pariwisata halal. Riset dan inovasi sangat dibutuhkan dalam sektor energi terbarukan. Sumber energi dapat berasal dari berbagai macam. Sebagai contoh sudah ada pembangkit listrik yang berasal dari sampah dan kotoran hewan di Amerika Serikat. Hal ini sangatlah bermanfaat di satu sisi untuk mengurangi sampah dan kotoran dan menggunakanya sebagai sumber energi. Di Indonesia juga sudah ada beberapa penelitian mengenai sumber energi terbarukan dari cangkang kakao. Selain dari penelitian mengenai energi terbarukan itu sendiri, dibutuhkan juga riset mengenai potensi kolaborasi antara sektor energi terbarukan dengan sektor lain. Sebagai contoh, berbagai negara Eropa seperti di Jerman dan Inggris telah mengintegrasikan sektor energi terbarukan yang lebih dikenal sebagai *green tourism*. Jerman melalui program Energiewende (meski ada yang keberatan dengan program tersebut) dan Inggris melalui Gladwinsfarm nya, menambahkan fungsi dari sumber energi terbarukan tersebut sehingga meningkatkan kontribusi ekonomi. Hal ini juga sangat mungkin untuk direalisasikan di Indonesia, sehingga selain energi terbarukan dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk

[50] Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas), "*Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia"*, Cetakan Pertama (2018).

smendukung industri halal lainya. Hal ini juga sejalan dengan strategi utama dalam mewujudkan Indonesia yang mandiri, makmur, dan madani dengan menjadi pusat ekonomi syariah terkemuka dunia yaitu *pendirian halal hub*[51] untuk penguatan industri halal dalam negeri. Energi terbarukan juga dapat berkolaborasi dengan sektor lain untuk dapat memberi nilai tambahan pada perekonomian secara keseluruhan.

D. KESIMPULAN

Dalam rangka untuk mendukung tercapainya visi Indonesia yang mandiri, makmur dan madani dengan menjadi pusat ekonomi dan keuangan Syariah terkemuka dunia, klaster energi terbarukan dapat menjadi katalisator untuk penguatan halal rantai nilai (*halal value chains*). Kontribusinya terlihat dalam peningkatan kemandirian ekonomi melalui swasembada energi. Skema sinergitas di antara program energi terbarukan dan ekonomi/keuangan Syariah dapat digambarkan sebagai berikut:

Pertama, sektor keuangan Syariah dapat menjadi salah satu solusi bagi permasalahan minimnya ketersediaan instrumen pembiayaan yang sesuai dengan kebutuhan investasi EBT. Melalui berbagai pembiayaan berbasis syariah dengan berbagai skema, ekosistem industri keuangan Syariah dapat berkontribusi menjadi salah satu faktor pendukung pencapaian target EBT yang telah ditetapkan.

Kedua, dengan optimalnya pemanfaatan EBT di Indonesia, hasil energi tersebut menjadi pendukung dan ujung tombak industri halal, di antaranya: makanan dan minuman halal, fesyen muslim, pariwisata halal, farmasi dan kosmetik halal dan media dan rekreasi halal. Terkhusus pada industri pariwisata halal, Indonesia dapat menyinergikan tempat produksi EBT menjadi salah satu destinasi pariwisata berbasis *green tourism*. Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, salah satu pengguna energi terbesar adalah dari sektor industri. Sinergi pemanfaatan energi terbarukan oleh sektor-sektor yang ada dalam ekosistem industri halal dapat mendukung peningkatan ekonomi yang berkelanjutan secara jangka panjang.

Ketiga, dalam konteks pembiayaan EBT yang bersifat sosial keagamaan, EBT dapat dilakukan dengan konsep *ta'āwun* dan sedekaj jariah melalui urun dana (*crowd funding*) untuk memobilisasi potensi wakaf Indonesia sebesar Rp. 60 triliun untuk program-program sosial sekaligus pemberdayaan masyarakat, khususnya dalam aspek perlindungan lingkungan hidup.

Keempat, dalam rangka mengoptimalkan sinergitas antara program energi terbarukan dan ekonomi Syariah, beberapa langkah dan program *Quick Wins* yang dapat dilakukan adalah: (1) kampanye terhadap keunggulan energi terbarukan untuk mencapai swasembada energi nasional; (2) menciptakan kemudahan akses dan skema pembiayaan yang menarik untuk mendukung energi terbarukan; (3) mengadakan riset dan publikasi mengenai energi terbarukan dan potensi kolaborasi dengan industri lain

[51] *Idem.*

dalam rantai nilai halal yang dapat diapliksikan di Indonesia, terutama pariwisata halal.

REFERENSI:

Al-Zarkasyi, B. A. M. (1984). *Al-burhan fi 'ulum Al-Qur'an*. Kairo: Dar al-Turath.

Azhar, M., & Satriawan, D. A. (2018). Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Administrative Law and Governance Journal*, *1*(4), 398-412.

Aziz, R. M. (2020). Penanganan Energi Pada Krisis Ekonomi Akibat Covid-19 Sesuai Agama dan Sains. In *Seminar Nasional Teknologi Industri Hijau* (Vol. 2, No. 1, pp. 194-204).

BP.PLC. (2021). *Statistical Review of World Energy 2019*, https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html. Diakses pada tanggal 31 Maret 2021.

Clean Energy Wire. (2014). *Energy transition becomes a tourist attraction*, https://www.cleanenergywire.org/news/energy-transition-becomes-tourist-attraction#:~:text=%22Tourism%20and%20renewables%20are%20not,they%20can%20complement%20each%20other.%22, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Crescentrating.com. *Global Muslim Travel Index* 2019. https://www.crescentrating.com/reports/global-muslim-travel-index-2019.html, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Creswell, John W. (2012) . *Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan Mixed*, terj. Achmad Fawaid. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Dubai Islamic Economy Development Centre (DIEDC). (2018). State of the Global Islamic Economy Report 2018/19. http://www.iedcdubai.ae/wp-content/uploads/2019/02/SGIE-Report-2018-19_Eng_1540649428.pdf, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Eri Hariyanto, E. (2021). *Green Financing, Sukuk Negara Dan Pembangunan Berkelanjutan*, https://www.djppr.kemenkeu.go.id/page/load/2269/green-financing-sukuk-negara-dan-pembangunan-berkelanjutan, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Fauzia, I. Y. (2016). Urgensi Implementasi *Green Economy* Perspektif Pendekatan Dharuriyah Dalam Maqashid Al-Sharia. *Jurnal Ekonomi dan Bisnis Islam 2* (1), 87-104.

Hamdi, M., Ismaryati, S. (2019). *Materi Pokok Metodologi Penelitian Administrasi; 1-12; MAPU5103/4 SKS.* Tangerang Selatan: Universitas Terbuka.

Haryanto, S. (2017). Pendekatan Historis Dalam Studi Islam. *Manarul Qur'an: Jurnal Ilmiah Studi Islam* 17 (1), 127-135.

Ibn Hayyan, M. (1993). *Tafsir al-bahr al-muhit*. Beirut: Dar al-Kutub al-'Ilmiyyat.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Iskandar, A., Aqbar, K. (2019). Green Economy Indonesia Dalam Perspektif Maqashid Syari'ah. *Al-Mashrafiyah: Jurnal Ekonomi, Keuangan, dan Perbankan Syariah 3* (2), 83-94.

Jaelani, A. (2015). Public financial management in Indonesia: Review of Islamic public finance. *MPRA Paper*, 72340.

Jaelani, A. (2017). Kebijakan Energi Baru Terbarukan di Indonesia: Isyarat Ilmiah Al-Qur'an dan Implementasinya dalam Ekonomi Islam. *MPRA (83314)*.

Jaelani, A. (2017). Renewable Energi Policy in Indonesia: Scientific signs of the Qur'an and Implementation in Islamic Economic. *MPRA Paper*, 83314.

Jonathan, S. (2006). *Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif*. Jakarta: Graha Ilmu.

Juwito, A. F., Pramonohadi, S., & Haryono, T. (2015). Optimalisasi energi terbarukan pada pembangkit tenaga listrik dalam menghadapi desa mandiri energi di Margajaya. *Semesta Teknika*, *15*(1).

Kementerian Keuangan. (2021). Ekonomi Hijau Untuk Masa Depan Peradaban. *Majalah Media Keuangan XIV*, no. 163.

Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). (2018). *Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia*, Cetakan Pertama.

Keuangan-Kontan.Co.Id. (2021). *BNI Syariah salurkan pembiayaan Rp 400 miliar ke Medco Power*, https://keuangan.kontan.co.id/news/bni-syariah-salurkan-pembiayaan-rp-400-miliar-ke-medco-power. Diakses pada tanggal 4 April 2021.

Makmun, M. (2011). Green Economy: Konsep, Impelentasi dan Peran Kementerian Keuangan. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan* 19(2), 1-15.

Mardliyah, W., Sunardi, S., & Agung, L. (2018). Peran Manusia Sebagai Khalifah Allah di Muka Bumi: Perspektif Ekologis dalam Ajaran Islam. *Jurnal Penelitian*, *12*(2), 355-378.

Muhammad, H. S. (1999). *Economic Guidelines in the Quran*, Vol. 21. International Institute of Islamic Thought (IIIT).

MUI-LPLHSDA. (2021). *Pembangunan dan Pembiayaan Syariah Energi Baru Dan Terbarukan Untuk Rumah Ibadah* https://mui-lplhsda.org/pembangunan-dan-pembiayaan-syariah-energi-baru-dan-terbarukan-untuk-rumah-ibadah/. Diakses pada tanggal 4 April 2021.

Ngada.Org. (2017). *Database Peraturan*. https://ngada.org/ps22-2017.htm#:~:text=1.Rencana%20Umum%20Energi%20Nasional,mencapai%20sasaran%20Kebijakan%20Energi%20Nasional , diakses pada tanggal 21 April 2021.

PEBS FE UI. (2020). *Indonesia Sharia Economic Outlook (ISEO) 2020*. https://pebs-febui.org/download/indonesia-sharia-economic-outlook-iseo-2020/, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Peraturan Otoritas Jasa Keuangan No. 51/POJK.03/2017 tanggal 18 Juli 2017 tentang Penerapan Keuangan Berkelanjutan.

Ramli, S., Murad, S. Z. A., Husin, A. F. H. (2014). Biodiesel in holy Quran: among the review of the Arabic lexicography and modern science. *Mediterranean Journal of Social Sciences* 5(19), 336-336.

Schreier, Margrit. (2012). *Qualitative content analysis in practice*. Sage publications.

Suprayogi, M. (2016). *Jurnal Energi 2*. Jakarta: Kementerian ESDM.

The International Renewable Energy Agency (IRENA). (2016). *Renewable Energy Outlook For ASEAN*", https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_REmap_ASEAN_2016_report.pdf. Diakses pada tanggal 31 Maret 2021.

UNEP. (2011). *Environmental Management Accounting Procedures & Principles.* Newyork.

Vaghefi, N., Siwar, C., dan Aziz, S. A. A. G. (2015). Green economy: issues, approach and challenges in muslim countries. *Theoretical Economics Letters* 5(1), 28.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Energi Terbarukan dan Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca dari Palm Oil Mill Effluent

Renewable Energy and Green House Gasses Reduction Emission from Palm Oil Mill Effluent

**ARIF DWI SANTOSO, NAWA SUWEDI,
REBA ANINDYAJATI PRATAMA DAN JOKO PRAYITNO SUSANTO**

Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Gedung Geostek 820, Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan 15314
arif.dwi@bppt.go.id

ABSTRACT

Palm oil was predicted to be a potential source of biodiesel that has the highest productivity among other biofuel sources. Palm oil biodiesel production process could potentially contaminate the environment as a result of solid waste produced (empty fruit bunches fiber, fruit shells and ash) and palm oil mills effluent (POME). This paper evaluates and discusses the potentially captured methane gas as a renewable energy source. It also estimates the carbon emissions saving generated during the biofuel production. The quality and the quantity of methane gas data that are obtained in this study are adapted to the values of energy and emission factors from reliable sources. The results of calculation and analysis state that the POME's quality and quantity significantly correlate to the amount and concentration of produced methane. The results of the energy inventory indicate that the potential energy generated from capture of POME based methane gas is around 427.2 MJ / FU (Mega Joule per Functional Unit). The increasing of the energy value measured as a net energy ratio (NER) is from 3.19 to 3.31 or around 3.4%. Innovation of methane capture also produces carbon emissions saving of 126.4 kg/FU or reduces carbon emissions by approximately 8.2% of the baseline value.

***Keywords**: biodiesel, palm tree, palm oil effluent (POME), carbon emissions, NER (net energy ratio*)

ABSTRAK

Biodiesel kelapa sawit diprediksi oleh banyak kalangan menjadi andalan sebagai sumber bahan bakar nabati (BBN) yang paling tinggi produktivitasnya dibandingkan dengan sumber BBN lainnya. Proses produksi biodiesel kelapa sawit berpotensi mencemari lingkungan akibat dari keluaran limbah padat (tandan buah kosong, serat, cangkang buah dan abu bakar) dan limbah cair kelapa sawit (*palm oil mill effluent*/POME). Makalah ini mengevaluasi dan mendiskusikan potensi penangkapan gas metan dari POME sebagai energi terbarukan dan estimasi penyelamatan emisi karbon yang dihasilkan selama proses produksi BBN. Data kualitas dan kuantitas gas metan yang diperoleh dari studi ini akan diadaptasikan dengan nilai faktor energi dan faktor emisi dari sumber pustaka yang terpercaya. Hasil evaluasi dan perhitungan menyatakan bahwa kualitas dan kuantitas POME menentukan jumlah gas metan yang dihasilkan secara signifikan. Hasil inventori energi mencatat bahwa potensi energi yang dihasilkan dari penangkapan gas metan dari POME berkisar 427,2 MJ/FU (fungsional unit). Nilai energi ini menaikkan *net energy ratio* (NER) dari 3,19 menjadi 3,31 atau sebesar 3,4 %. Inovasi penangkapan gas metan ini juga menghasilkan penyelamatan emisi gas karbon sebesar 126,4 kg/FU atau mengurangi emisi karbon sekitar 8,2 % dari nilai yang umum terjadi.

Kata kunci : biodiesel, kelapa sawit, POME, emisi karbon, NER

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri kelapa sawit Indonesia terus tumbuh dan berkembang menjadi salah satu industri pertanian penyumbang devisa negara yang signifikan. Produk utama dari industri kelapa sawit Indonesia yakni minyak sawit (*crude palm oil*, CPO) pada tahun 2015 mencapai 26,40 juta ton atau naik sekitar 21% dari produksi di tahun 2014 yakni sebesar 21,76 juta ton. Dengan pencapaian tersebut telah menempatkan Indonesia sebagai negara produsen terbesar CPO di dunia dengan prosentase produksi sebesar 46,6% dari total produksi CPO dunia[(1)].

Dari data statistik perkebunan menyatakan bahwa luasan lahan perkebunan sawit Indonesia

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pada tahun 2015 mencapai 6,1 juta ha. Dengan peningkatan luas lahan yang mencapai sekitar 7,67% per tahun, maka diperkirakan luasan lahan sawit Indonesai akan mencapai 13,3 juta hektar pada tahun 2020[2]. Pada sisi lain permintaan pasar terhadap CPO terus meningkat.

Data dari world statistik menyebutkan bahwa kebutuhan CPO dunia pada tahun 2020 akan mencapai jumlah sebesar 95.7 juta ton[3]. Kondisi ini menunjukkan bahwa masa depan industri kelapa sawit Indonesia berpotensi terus berkembang untuk mencukupi kebutuhan CPO dunia tersebut. Ilustrasi tentang proyeksi pasar dan potensi industri sawit Indonesia yang menjanjikan tersebut memberikan harapan sekaligus tantangan bagi pelaku industri tersebut. Kondisi produksi dan semua hal-hal yang mendukung keberlanjutan produksi harus dipertahankan, termasuk hal pengelolaan limbah baik pada proses budidaya maupun pada proses dalam pabrik.

Pabrik kelapa sawit selain menghasilkan produk utama CPO juga mengeluarkan limbah tandan kosong, serat, cangkang, abu, dan limbah cair kelapa sawit (*palm oil mill effluent*, POME). Dari beberapa peneliti menyatakan bahwa banyak POME yang dihasilkan sekitar 0,62-0,77 m^3/ton TBS[4,5,6,7,8,9]. Sampai saat ini, limbah POME masih menjadi permasalahan lingkungan pabrik kelapa sawit karena volumenya yang besar dan belum termanfaatkan dengan baik. Namun di sisi lain, POME memililki nilai positif bagi keberlanjutan industri sawit bila dimanfaatkan dengan baik.

1.2. Studi Literatur

POME adalah limbah cair yang berasal dari serangkaian proses produksi CPO pada pabrik kelapa sawit. Komposisi limbah POME terdiri dari 90-95% air, 0,6-0,7% minyak dan 4-5% padatan terlarut[10]. POME berasal dari 3 proses dalam produksi CPO yaitu proses sterilisasi tandan segar yang menghasilkan air kondensat (18%), dari *sentrifuge sludge* (74,5%) dan dari pencucian hidrosiklon (30%)[4,7]. Volume total POME yang dihasilkan dalam proses produksi CPO atau biodiesel bervariasi jumlahnya tergantung pada beberapa hal, seperti jenis metode sterilisasi, umur dan jenis tanaman, kondisi tandan buah segar dan variasi musim.

Volume limbah cair yang dihasilkan pabrik kelapa sawit sangat besar. Data perkiraan total limbah cair yang dikeluarkan oleh pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 60 ton/jam dengan masa kerja 16 jam/hari adalah 643,2 m^3/hari. Volume limbah sebanyak ini harus diolah sebelum dibuang ke sungai. Kualitas dari limbah POME menunjukkan nilai yang masih jauh dari standar baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah (Tabel 2). Beberapa perusahaan memanfaatkan limbah POME langsung diaplikasikan untuk pupuk ke tanaman sawit, setelah dilewatkan dan diinkubasi dalam saluran/kolam dalam waktu tertentu. Namun aplikasi ini terbukti menggangu pertumbuhan dan produktivitas tanaman sawit[11].

Tabel 1. Jumlah POME yang dihasilkan dalam proses produksi CPO (m^3/1 ton TBS)

Volume (m^3)	Referensi
0,67	Yusoff, 2006[4]
0,65	Kamahara, *et al*., 2010[5]
0,62	Chua, N.S., 1992[6]
0,675	Lubis, 2008[7]
0,7	Tabassum *et al*., 2015[8]
0,77	Saidu, *et al*., 2013[9]

Proses penanganan Tandan Buah Segar (TBS) sampai menghasilkan POME melalui beberapa tahap antara lain sterilisasi, *stripping, digestion* dan klarifikasi. TBS hasil panen akan melalui jembatan timbangan (*weight bridge*) untuk mengetahui berat TBS yang diterima, setelah itu TBS disortir kualitasnya dengan cara visual.

Penyortiran kualitas ini untuk menentukan treatment sterilisasi dan proses pengolahan TBS lebih lanjut. TBS selanjutnya dimasukkan ke tempat penimbunan sementara (*loading ramp*) dan selanjutnya diteruskan ke stasiun perebusan (*sterilizer*). Fungsi dari perebusan TBS adalah untuk memudahkan pelepasan brondolan dari janjang (pemipilan), melunakan buah, mengurangi kadar air dalam buah karena proses penguapan. Fungsi terpenting dari perebusan adalah untuk mematikan mikroorganisme dan enzim yang dapat menguraikan minyak menjadi asam lemak bebas.

Pada tahap stripping, TBS yang telah direbus dipisahkan buah dari janjangannya dengan cara mengangkat dan membantingnya serta mendorong tandan kosong ke tempat yang telah disiapkan. Pada proses digestion, TBS yang telah dipisahkan dari tandan kosongnya, dilakukan pelumatan dan pengempaan untuk mengambil minyak dari buah kelapa sawit. Selanjutnya minyak sawit yang diperoleh dari tahap digestion masih banyak mengandung kotoran-kotoran yang berasal dari daging buah seperti lumpur, air dan lain-lain. Untuk mendapatkan minyak yang memenuhi standar, maka perlu dilakukan pemurnian terhadap minyak pada tahap ini.

POME yang dikeluarkan dari pabrik kelapa sawit memiliki karasteristik seperti yang disajikan pada tabel 2.Dari komposisi POME yang keluar dari outlet pabrik kelapa sawit (Tabel 2), menyebutkan bahwa hampir semua parameter kualitas air dari POME nilainya di atas dari nilai standart yang ditetapkan oleh pemerintah. Untuk menjaga keberlanjutan pabrik, maka limbah POME tersebut harus dikelola sedemikian rupa sehingga nilainya di bawah nilai standart atau

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

nilainya berada pada batas-batas tidak mencemari lingkungan. Bila mencermati nilai kandungan BOD dan COD yang tinggi, maka upaya konversi limbah POME menjadi energi terbarukan adalah upaya yang sangat menjanjikan.

Tabel 2. Karakteristik dari POME*

Parameter	range	Standart**
Suhu	80-90	45
pH	3,4 -5,2	6,0 – 9.0
Minyak (mg/L)	130-18.000	30
BOD (mg/L)	10.250-43.750	100
COD (mg/L)	15.000-100.000	500
Padatan terlarut (mg/L)	5.000 -54.000	300
Total N (mg/L)	180-1.400	200

* Lam *et al*., 2011[10]
** No.5 /MENLH/2014[12]

1.3. Tujuan

Tujuan paper ini adalah mengulas tentang potensi energi yang dihasilkan dari pemanfaatan POME menjadi energi terbarukan dan potensi pengurangan emisi gas rumah kacanya. Pembahasan makalah difokuskan pada proses perhitungan potensi gas metan dari POME dengan membandingkan NER antara kondisi POME yang diolah dan yang tidak diolah.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Pengumpulan dan Analisis Data

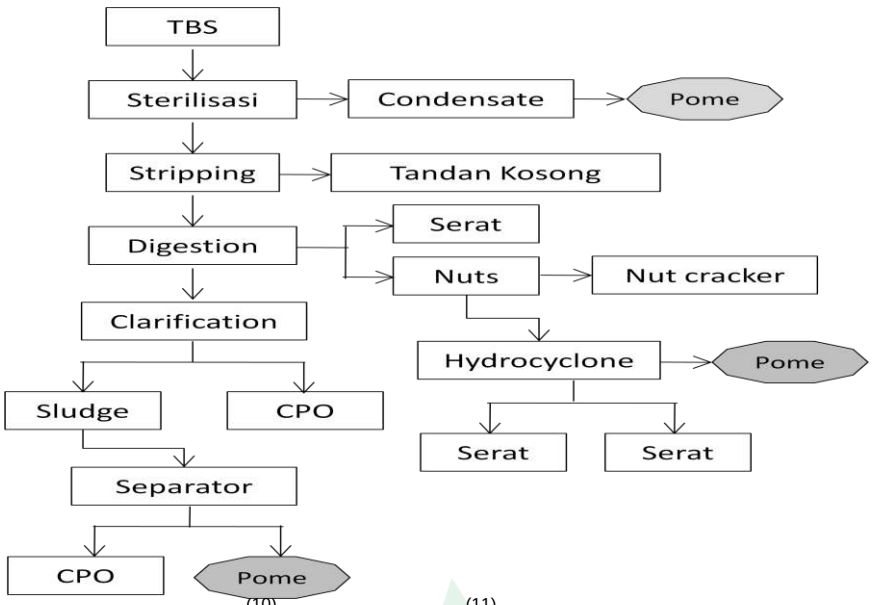
Penelitian ini memfokuskan pada pengelolaan limbah cair dari pabrik kelapa sawit dengan kapasitas penanganan tandan buah segar (TBS) sebanyak 50 ton/hari. Pabrik menerima TBS yang diangkut dari perkebunan yang berlokasi di sekitar pabrik dalam radius 5-8 km. Pabrik memiliki fasilitas pengolahan limbah cair, yang meliputi kolam penampungan awal, kolam aerobik dan kolam anaerobik. Limbah cair yang ditampung berasal dari 3 sumber proses seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Data yang pertama dikumpulkan adalah data untuk memenuhi kebutuhan *life cycle assessment* (LCA) dari produksi biodiesel dengan satuan unit 1 (satu) ton biodiesel. Untuk memenuhi data ini, penulis berpatokan pada ruang lingkup penelitian (Gambar1), semua material, energi, dan limbah dari proses produksi biodiesel dikumpulkan dan divalidasi dengan data dari literatur yang *up to date* dan terpercaya.

Data yang utama lainnya adalah data tentang kuantitas dan kualitas limbah cair pabrik kelapa sawit. Data kuantitas limbah diperoleh dari 2 sumber, yakni dari data monitoring harian pabrik terhadap volume air limbah di kolam penampungan dan data input air yang digunakan selama proses produksi berlangsung.

Sampel air yang diperoleh dari kedua kolam kemudian dianalisa di Labolatorium untuk mendapatkan data suhu, BOD, dan COD.

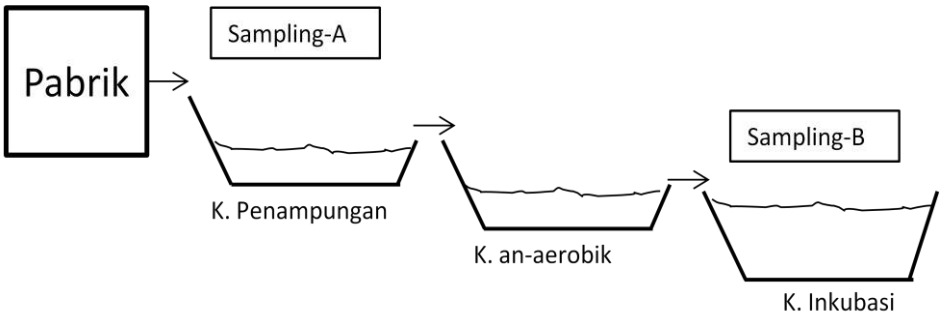
Data kualitas air limbah diambil dengan pengukuran dan analisa lapangan. Metode pengambilan sampling secara cross section dengan mengambil sampel secara acak dan bersamaan pada 5 stasiun pada kolam penampungan limbah (A) dan 5 stasiun pada kolam inkubasi (B) (Gambar 2).



(sumber: Lam *et al*., 2011[10]; TY. Wu *et al*, 2010[11], diadaptasi penulis)

Gambar 1. Skema sumber POME pada proses produksi CPO

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 2. Skema kolam penampungan limbah

2.2 Data Faktor Energi

Data tentang kualitas dan kuantitas POME yang diperoleh selanjutnya diadaptasi dengan skala fungsional unit (FU). Data FU selanjutnya dianalisis dan dikonversi ke perhitungan energi (sesuai tabel 3) dengan menampilan indikator nilai NER (*net energy ratio*) dilakukan secara manual dengan *MS-Excell.*

Tabel 3. Data faktor energi per 1 ton CPO

Parameter	Unit	Nilai
TBS	ton	4,6[13]
IPCC CH_4	kg CH_4/kg COD removal	0,24[14]
IPCC CH_4	m^3 CH_4/kg COD removal	0,35[14]
IPCC energi	Kwh/ m^3 CH_4	3,47[14]
IPCC energi	MJ/Kwh	3,6

2.3 Data Faktor Emisi Karbon

Data faktor emisi karbon menggunakan perkiraan data emisi karbon sebesar FU yang diambil dari beberapa sumber yang terpercaya. Emisi karbon total dari proses produksi 1 ton biodiesel adalah 1.541 kg eq-CO_2[16,17]. Data akumulasi jumlah emisi karbon yang dapat simpan melalui aplikasi pengelolaan limbah cair dari produksi biodiesel kemudian dibandingkan dengan emisi karbon total.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Inventori Energi

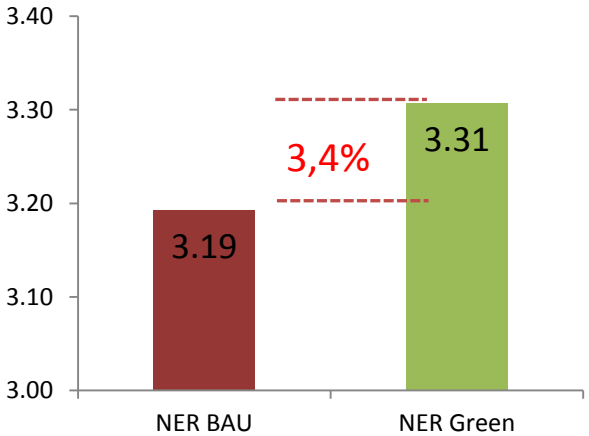
Data tentang input dan output proses produksi biodiesel disajikan pada tabel 4 di bawah ini. Untuk memudahkan pengelompokan dan analisis, variabel input dibagi menjadi beberapa sub input antara lain pupuk, pestisida, transportasi, produksi CPO dan produksi biodiesel.

Ditinjau dari konsumsi energi pada setiap tahapnya, maka total persentase energi input yang diperlukan dari tahap budidaya, produksi CPO dan produksi biodiesel adalah 30, 24,5 dan 45,5%. Pada tahap budidaya, variabel yang berkontribusi besar menyerap energi adalah penggunaan pupuk N (urea) yang mencapai 2.490 MJ. Pada tahap produksi CPO, variabel yang dominan menyerap energi adalah variabel penggunaan listrik dan steam yang mencapai 2.765 MJ. Listrik dan steam ini digunakan pada proses sterilisasi TBS dan proses klarifikasi minyak. Pada tahap produksi biodiesel, penggunaan metanol mendominasi penyerapan energi yakni sebesar 4.690 MJ.

3.2 Potensi Energi dari POME

Perhitungan estimasi potensi produksi energi dari limbah POME pada proses produksi biodiesel kelapa sawit disajikan pada tabel 5.

Banyaknya gas CH4 yang terbentuk yang nanti akan dapat dikonversi menjadi energi (MJ) tergantung pada kondisi kualitas dan kuantitas POME. Kualitas POME ditentukan oleh selisih nilai COD pada 2 lokasi pengukuran yakni pada kolam penampungan (outlet pabrik) dan kolam inkubasi. Semakin tinggi selisih COD (COD removal) tersebut maka semakin banyak gas metan yang terbentuk.



(NER BAU : sebelum aplikasi ; Green : setelah aplikasi penangkapan gas metan)

Gambar 3. Kenaikan nilai NER akibat pemanfaatan POME

Persentase data COD removal pada penelitian ini berkisar 86,8%. Nilai ini

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

menunjukkan bahwa proses penangkapan gas metan dari limbah POME berlangsung efektif. Nilai persentase ini hampir sama seperti yang dilakukan beberapa peneliti, seperti Hasanuddin et al (85-87%)[20], Yacob et al.(80,7%)[13] dan Wu et al (71-76%)[11]. Total potensi energi yang dihasilkan dari peng (satu) ton biodiesel adalah sekitar 427,2 MJ. Nilai energi ini meningkatkan nilai NER produksi biodesel sebesar 3,4% dari nilai 3,19 menjadi 3,31 (Gambar 3).

Tabel 4. Inventaris data input dan output produksi 1 ton biodiesel

Life Cycle Biodiesel Production	Per ton PME	MJ/ton PME
Input (satuan)		
I. Pupuk		
Nitrogen (kg)	75	2.490
Fosfat (kg)	8	22,4
Kalium (kg)	70	245
Magnesium (kg)	42	21
Sub total (kg)		2.778,40
II. Pestisida		
Paraquat (kg)	0.4	183,36
Glyshopate (kg)	1.2	543
Sub total		726,36
III. Transportasi (l diesel)		
Sub total	4.75	196,32
V. Produksi CPO		
Listrik (kWh)	140	1.465,8
Steam (m3)	0.5	1.302
Diesel (l)	7	289,31
Sub total		3.057,11
V. Produksi Biodiesel		
Listrik (kWh)	80	837,6
Metanol (kg)	140	4.690
NaOH (kg)	6	118,2
Sub total		5.645,8
Total Energi Input (I+II+III+IV+V)		12.403,99
Output (satuan)		
Palm methyl ester (PME) (kg)	1000	39.600
Glyserol (kg)	0.18	3,25
Total Energi Product		39.603,25

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 5. Estimasi potensi energi dari POME

Parameter	Stn-1	Stn-2	Stn-3	Stn-4	Stn-5	Rerata
COD Kolam A (mg/L)*	49.535,0	53.010,0	47.975,0	51.350,0	49.540,0	50.282,0
COD Kolam B (mg/L)*	8.530,0	6.750,0	5.500,0	6.010,0	6.250,0	6.608,0
COD removal (mg/L)	41.005,0	46.260,0	42.475,0	45.340,0	43.290,0	43.674,0
$COD_{removal}$ (%)	82,8	87,3	88,5	88,3	87,4	86,8
$COD_{removal}$ (kg)	128,4	144,9	133,1	141,9	135,5	136,8
CH_4 (m^3)	32,1	36,2	33,3	35,5	33,9	34,2
Kwh	111,4	125,7	115,4	123,2	117,6	118,6
MJ	401,1	452,5	415,4	443,5	423,4	427,2

Ket : * diadaptasi dari Yacob *et al,* 2005 [13] ; data dihitung berdasarkan acuan produksi 1 ton biodiesel

Tabel 6. Estimasi potensi penyelamatan emisi karbon

Parameter	Stn-1	Stn-2	Stn-3	Stn-4	Stn-5	Rerata
COD removal (kg)	128,4	144,9	133,1	141,9	135,5	136,8
CH_4 (kg)	32,1	36,2	33,2	35,4	33,9	34,2
GWP pot (kg CO_2-e/ton biodiesel)	674,2	760,6	698,4	745,5	711,6	718,1

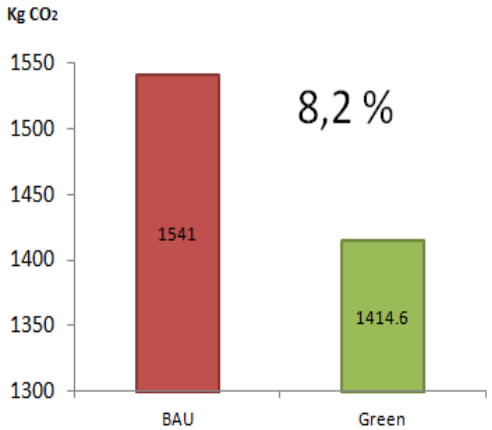
3.3 Potensi Penyelamatan Emisi Karbon

Inovasi pengelolaan limbah POME juga berpotensi menyelamatkan emisi karbon. Perhitungan banyaknya gas metan yang terperangkap oleh proses metan *capture* yang menyebabkan gas metan tidak terurai ke atmosfer disajikan pada Tabel 6.

Potensi emisi karbon yang dapat diselamatkan dengan memanfaatkan limbah POME adalah 126,4 kg/ton atau mengurangi emisi sebesar 8,2 % dari total emisi yang dikeluarkan (Gambar 4). Nilai kisaran ini sangat besar bila dikaitkan dengan jumlah total produksi biodiesel skala besar. Sebagai ilustrasi misalnya pabrik kelapa sawit dengan kapasitas olah TBS 60 ton/jam masa kerja 16 jam/hari, maka diperkirakan biodiesel yang diproduksi adalah 280 ton/hari atau 6.260,8 ton/bulan. Dari kapasitas total produksi pabrik tersebut maka bila pabrik mengolah POME-nya emisi karbon yang bisa diselamatkan setiap bulan dan setiap tahun adalah 26,4 ton dan 791,2 ton CO_2.

3.4 Pembahasan Umum

Upaya pengelolaan limbah POME menghasilkan dua keuntungan bagi industri kelapa sawit, yaitu keuntungan berupa tambahan energi dan partisipasi dalam pengurangan emisi gas rumah kaca. Upaya pengurangan emisi gas rumah ini masih belum dihargai secara finansial. Program CDM (*clean development mechanism*) maupun REDD (*reduction emission deforestation and degradation*) masih jarang diaplikasikan di sektor perkebunan sawit, namun upaya ini akan meningkatkan promosi kegiatan sawit sebagai kegiatan yang ramah lingkungan. Promosi ini akan sangat berguna sebagai jawaban atas kritikan berbagai pihak yang menuduh bahwa kegiatan sawit cenderung anti konsevasi lingkungan.



(BAU : sebelum aplikasi ; Green : setelah aplikasi penangkapan gas metan)

Gambar 4. Penurunan emisi karbon akibat pemanfaatan POME

Energi tambahan dari pengolahan limbah POME sekitar 427,2 MJ atau sekitar 3,4 % dari total energi input sebesar 12.403 MJ. Energi tambahan ini relatif kecil bila dilihat dari

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

persentasenya, namun yang dipentingkan dalam pengelolaan POME ini adalah upaya pengelolaan limbah agar keberadaannya tidak menggangu lingkungan dan sebagai persyaratan kelaikan beroperasinya pabrik kelapa sawit.

Potensi yang dapat menjadi sember tambahan energi yang banyak dilakukan oleh industri sawit adalah memanfaatkan cangkang buah, serat dan tandan buah kosong sebagai material bahan bakar *steam* dan pengganti energi diesel. Energi yang dihasilkan dari pemanfaatan limbah padat tersebut adalah 11.710 MJ/ton biodiesel[18] dan 15.870 MJ[19].

Hal lain yang menjadi perhatian dalam pengelolaan POME adalah pengelolaan POME paska proses penangkapan gas metan. Kualitas POME paska treatment menunjukkan nilai COD yang masih tinggi yakni berkisar 5.500 – 8.530 ppm. Nilai COD ini masih jauh di atas nilai yang dipersyaratkan pemerintah yakni 500 ppm[12]. (POME paska treatment harus diolah lagi sebelum dibuang ke saluran pembuangan umum seperti sungai. Beberapa pabrik mengolah limbah paska POME dengan menampung pada kolam inkubasi selama beberapa waktu hingga kandungan COD dan parameter lainnya mendekati parameter yang diperbolehkan. Upaya lain untuk mengolah POME paska treatment adalah memanfaatkannya menjadi air siraman untuk pembuatan kompos dengan media kompos berupa serat dan tandan buah kosong. POME secara berkala dialirkan ke media kompos untuk mempercepat dekomposisi media menjadi kompos[20,21].

4. KESIMPULAN

Pemanfaatan limbah cair (POME) dari proses produksi biodiesel kelapa sawit merupakan salah satu inovasi teknologi untuk meningkatkan nilai produk dari kelapa sawit sekaligus menciptakan kondisi yang baik untuk keberlanjutan industri kelapa sawit. Ada 2 keuntungan sekaligus yang diperoleh dari inovasi tersebut yaitu adanya tambahan energi terbarukan dan penyelamatan gas karbon dioksida. Tambahan energi yang didapat sekitar 411,7 MJ/FU atau menaikkan *net energy ratio* (NER) sebesar 3,4 % dari nilai yang biasanya. Sedangkan emisi gas karbon yang diselamatkan adalah sebesar 126,4 kg/FU atau mengurangi emisi karbon sekitar 8,2 % dari nilai yang biasanya.

PERSANTUNAN

Kepada Badan Pengelola Dana Perkebunan (BPDP) Sawit - Departemen Keuangan, atas bantuan pembiayaan penelitian bagi penulis. Penghargaan yang tinggi penulis sampaikan kepada Prof. Kardono atas bimbingan, arahan dan koreksi makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. http://gapki.id/refleksi-industri-kelapa-sawit (2015) -dan-prospek-2016/ diunduh 10 Nov 2016 jam 03.50.
2. 2.http://ditjenbun.pertanian.go.id/setditjenbun /berita-238-pertumbuhan-areal-kelapa-sawitmeningkat.html/diunduh 09 Nov 2016 jam 19.45.
3. http://data.worldbank.org/
4. Yusoff, S., (2006), Renewable Energy from Palm Oil-innovation on Effective Utilization of Waste, Journal of Cleaner Production 14:87-93.
5. Kamahara, H., U. Hasanuddin,., A Widiyanto,., R. Tachibana, Y. Atsuta, N. Goto, H. Daimon, K. Fujie, (2010), Improvement potential for net energy balance of biodiesel derived from palm oil: A case study from Indonesia practice, Biomass and Bioenergy 34:1818-1824.
6. Chua N.S., (1992), Optimal Utilization of Energy Sources in a Palm Oil Processing Complex. Porim Engineering News, 25:3-6.
7. Lubis, A.U., 2008, Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) di Indonesia, edisi-2, Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan, 277-301 hal.
8. Tabassum, S., Y. Zhang, Z. Zhang, (2015), An Integrated Method for Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment for Achieving Zero Liquid Discharge – a pilot study. J. Cleaner Prod. 95, 148–155.
9. Saidu M., A. Yuzi, M.R. Salim , S. Imiati, S. Azman, N. Abdullah, (2013), Influence of Palm Oil Mill Effluent as Inoculums on Anaerobic Digestion of Cattle Manure for Biogas Production. Bioresource Technology 141, 174-174.
10. Lam M.K., K.T. Lee, (2011), Renewable and sustainable bio energies production from palm oil mill effluent (POME): Win–win strategies toward better environmental protection, Biotechnology Advances 29, 124–141.
11. Wu T.W., M.A. Wahab, M.J. Jahim, N. nuar N., (2009), A holistic approach to managing palm oil mill effluent (POME): Biotechnological advances in the sustainable reuse of POME, Biotechnology Advances 27:40-52.
12. Anonim, (2014), Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku mutu air limbah. Kantor Menteri Lingkungan Hidup.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

13. Yacob S., M.A, Y. Shirai , M. Wakisaka, S. Subash, (2005), Baseline study of methane emission from open digesting tanks of palm oil mill effluent treatment, Chemosphere 59: 1575-1581.

14. IPCC, (2006), Wastewater treatment and discharge. In: IPCC Guidelinnes for National Greenhouse Gas Inventories, Vol 5. Prepare by H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe) IGES, Japan

15. 15. Siregar K., A.H. Tambunan, A.K. Irwanto, S.S Wirawan, T. Araki, (2015), A comparison of life cycle assessment on oil palm (Elaeis guineensis) and Physic nut (Jatropha curcas) as feedstock for biodiesel production in Indonesia, Energy Procedia, 170-179.

16. Silalertruksa T., S.H. Gheewala, (2012), Environmental sustainable assessment of palm biodiesel production in Thailand, Energy 43: 306-3014.

17. Papong S., C. Tassaneewan, N. Soottiwan, M. Pomthong, (2010), Life cycle energy efficiency and potentials of biodiesel production from palm oil in Thailand, Energy policy 38: 226-233.

18. Pleanjai S., S.H. Gheewala, (2009), Full Chain Energy Analysis of Biodiesel Production from Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 18, No 1, Januari 2017, 88-95 95 Palm Oil in Thailand. Applied Energy, 18: 209-214.

19. Hasanuddin U., R. Sugiharto, A. Haryanto, T. Setiadi, K. Fujie, (2015), Palm oil mill effluent treatment and utilization to ensure the sustainability of palm oil industries, Water science and technology 72.7: 1089-1095.

20. 20. Schuchardt F., D. Darnoko, P. Guritno, (2002), Composting of empty oil palm fruit bunch (EFB) with simultaneous evaporation of palm oil mill waste water (POME), International oil palm Conference, July 8-12, 2002, Nusa Dua, Bali, Indonesia.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JTEP
JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439 Vol. 7, No. 2, Agustus 2019



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor

JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439 Vol. 7, No. 2. Agustus 2019

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam ***invited paper*** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, ***review*** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, ***technical paper*** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta ***research methodology*** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep.

Penanggungjawab:

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,IPB
Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Dewan Redaksi:

Ketua : Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, IPB University)
Anggota (*editorial board*) : Abdul Hamid Adom (Scopus ID: 6506600412, University Malaysia Perlis)
Addy Wahyudie (Scopus ID: 35306119500, United Arab Emirates University)
Budi Indra Setiawan (Scopus ID: 55574122266, IPB University)
Balasuriya M.S. Jinendra (Scopus ID: 30467710700, University of Ruhuna)
Bambang Purwantana (Scopus ID: 6506901423, Universitas Gadjah Mada)
Bambang Susilo (Scopus ID: 54418036400, Universitas Brawijaya)
Daniel Saputera (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwjaya)
Han Shuqing (Scopus ID: 55039915600, China Agricultural University)
Hiroshi Shimizu (Scopus ID: 7404366016, Kyoto University)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana)
Agus Arif Munawar (Scopus ID: 56515099300, Universitas Syahkuala)
Armansyah H. Tambunan (Scopus ID: 57196349366, IPB University)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, IPB University)
M. Rahman (Scopus ID: 7404134933, Bangladesh Agricultural University)
Machmud Achmad (Scopus ID: 57191342583, Universitas Hasanuddin)
Muhammad Makky (Scopus ID: 55630259900, Universitas Andalas)
Muhammad Yulianto (Scopus ID: 54407688300, IPB University & Waseda University)
Nanik Purwanti (Scopus ID: 23101232200, IPB University & Teagasc Food Research Center Irlandia)
Pastor P. Garcia (Scopus ID: 57188872339, Visayas State University)
Rosnah Shamsudin (Scopus ID: 6507783529, Universitas Putra Malaysia)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin)
Sate Sampattagul (Scopus ID: 7801640861, Chiang Mai University)
Subramaniam Sathivel (Scopus ID: 6602242315, Louisiana State University)
Shinichiro Kuroki (Scopus ID: 57052393500, Kobe University)
Siswoyo Soekarno (Scopus ID: 57200222075, Universitas Jember)
Tetsuya Araki (Scopus ID: 55628028600, The University of Tokyo)
Tusan Park (Scopus ID: 57202780408, Kyungpook National University)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Redaksi Pelaksana:
Ketua : Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, IPB University)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, IPB University)
Bendahara : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, IPB University)
Anggota : Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, IPB University)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, IPB University)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, IPB University)
Leopold Oscar Nelwan (Scopus ID: 56088768900, IPB University)
I Wayan Astika (Scopus ID: 43461110500, IPB University)
Agus Ghautsun Niam (Scopus ID: 57205687481, IPB University)
Administrasi : Diana Nursolehat (IPB University)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 7 No. 2 Agustus 2019. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof. Dr. Ir. Bambang Purwantana, M.Agr (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Bayu Dwi Apri Nugroho, PhD (Fakultas Teknologi Pertanian,Universitas Gadjah Mada), Ir. Darma, M.Si, Ph.D (Fakultas Pertanian, Universitas Papua), Ir. Siti Mariana Widayanti, M.Si (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian), Prof.Dr.Ir. Tineke Mandang, (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Radite Praeko Agus Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold Oscar Nelwan, MSi (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lenny Saulia, MSi (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Chusnul Arif, S.TP, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JTEP Jurnal Keteknikan Pertanian, Agustus 2019
Vol. 7 No. 2, p 121-128
P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Tersedia online OJS pada
http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep
DOI: 10.19028/jtep.07.2.121-128

Technical Paper

Pendugaan Emisi CO_2 dari Lahan Gambut dengan Menggunakan Model *Artificial Neural Network* (ANN)

Prediction of Peatland's CO_2 Emissions Using Artificial Neural Network (ANN) Model

Satyanto Krido Saptomo, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, FATETA,
Institut Pertanian Bogor, Indonesia. Email: ddody@yahoo.com
Anna Farida, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, FATETA, Institut Pertanian Bogor, Indonesia.
Email: annafarida.fadsy@gmail.com
Yudi Chadirin, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, FATETA, Institut Pertanian Bogor, Indonesia
Email: gooday926@yahoo.com
Budi Indra Setiawan, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, FATETA,
Institut Pertanian Bogor, Indonesia. Email: budindra@apps.ipb.ac.id
Kazutoshi Osawa, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University, Japan.
Email: osawa@cc.utsunomiya-u.ac.jp

Abstract

Peatlands are the most efficient carbon sinks in large volumes. Peatland clearance makes CO_2 emissions released into the air. This study aims to conduct a continuous estimation of CO_2 emissions from peatlands, analyze the influence of the biophysical environment on CO_2 emissions and obtain CO_2 emissions based on measurements of biophysical environmental parameters using ANN model. The CO_2 emissions measurements were performed by closed chamber method using Licor LI-8100 for 60 days. Biophysical environmental parameter measurements were also installed simultaneously. Biophysical environmental parameters measured include soil temperature, soil moisture, and water table depth. The results showed that CO_2 emissions reached 59.82 tonCO_2/ha/year with carbon emissions of 16.314 tonC/ha/year. Peatland CO_2 emissions are influenced by environmental parameters of peat biophysics. Calculations using the ANN model obtained the highest correlation of R^2 = 0.56 and can be used as a reference to estimate CO_2 emission from peatland in Padang Island.

Keywords: *CO_2 emissions, biophysical environmental parameters, ANN model, soil temperature and moisture, water table*

Abstrak

Lahan gambut merupakan penyimpan karbon yang paling efisien dalam jumlah besar. Pembukaan lahan gambut mengakibatkan emisi CO_2 terlepas ke udara. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan estimasi emisi CO_2 dari lahan gambut secara kontinyu, menganalisis pengaruh lingkungan biofisik terhadap emisi CO_2 dari lahan gambut dan mendapatkan dugaan emisi CO_2 dari lahan gambut berdasarkan hasil pengukuran parameter lingkungan biofisik dengan menggunakan model ANN. Pengukuran emisi karbon dilakukan dengan metode *closed chamber* menggunakan *Licor LI-8100* selama 60 hari. Pengukuran parameter lingkungan biofisik juga dilakukan secara bersamaan dengan pengukuran emisi CO_2. Parameter lingkungan biofisik yang diukur meliputi temperatur tanah, kelembaban tanah, kedalaman muka air tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi CO_2 lahan gambut mencapai 59.82 tonCO_2/ha/tahun dengan emisi karbon adalah 16.314 tonC/ha/tahun. Emisi CO_2 dipengaruhi oleh parameter lingkungan biofisik gambut yaitu suhu tanah, kelembaban tanah dan kedalaman muka air tanah. Perhitungan menggunakan model ANN diperoleh korelasi tertinggi sebesar R^2 = 0.56 yang menunjukkan bahwa model ANN bisa dijadikan sebagai acuan dalam mengestimasi CO_2 lahan gambut Pulau Padang.

Kata kunci: emisi CO_2, parameter lingkungan biofisik, model ANN, suhu dan kelembaban tanah, muka air tanah

Diterima: 20 Desember 2018; Disetujui: 12 Maret 2019

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pendahuluan

Lahan gambut adalah ekosistem lahan basah yang ditandai dengan akumulasi bahan organik sepanjang periode waktu. Lahan gambut merupakan penyimpan karbon yang paling efisien dalam jumlah yang sangat besar (Waldes dan Page 2008; Jauhiainen *et al.* 2008). Besarnya Biomassa berkontribusi terhadap penyerapan dan penyimpanan karbon. Bahan tanaman organik tidak terurai di tanah gambut karena kondisi air dan rawa gambut mampu bertindak sebagai penyerap karbon daripada sebagai sumber karbon melalui proses alami (Tawan dan Sulaiman 2008). Dalam keadaan hutan alam karbon tersebut bertahan dalam bentuk bahan organik, namun apabila hutan gambut dibuka dan didrainase maka karbon yang disimpannya akan mudah terdekomposisi dan mengemisikan CO_2.

Sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk dan permintaan terhadap produk pertanian maka kebutuhan akan perluasan lahan pertanian juga meningkat. Hal ini menyebabkan terjadinya pelepasan karbon ke atmosfer yang sebelumnya tersimpan secara stabil dalam jangka waktu yang panjang didalam tanah (Jaenicke dan Siegert 2008; Hooijer *et al.* 2012; Subowo 2010). Salah satu faktor abiotik terpenting yang mempengaruhi keseimbangan Gambut adalah hidrologi. Curah hujan yang melebihi penguapan adalah parameter pengatur hidrologi utama yang dominan karena evaporasi dan aliran air tanah cukup konstan di lahan gambut tropis yang masih asli. Pengeringan lahan gambut mengurangi kapasitas menahan air, sehingga mempercepat pembentukan kondisi oksik dan kehilangan karbon dari gambut. Emisi CO_2 optimum tersebar di wilayah yang terkena dampak drainase dibandingkan dengan hutan yang tidak dikeringkan. Fluks CO_2 maksimum lebih kecil jika tidak ada masukan bahan organik segar ke dalam gambut (Jauhiainen *et al.* 2008). Emisi karbon dari lahan gambut sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu iklim, tanah dan hidrologis. Faktor lingkungan yang mempengaruhi besarnya emisi karbon dari lahan gambut adalah suhu, kelembaban, dan muka air tanah. Faktor lingkungan ini bersifat fluktuatif bergantung pada faktor iklim dan hidrologis sehingga menghasilkan emisi karbon dengan fluktuasi yang tinggi. Untuk itu, diperlukan pengukuran emisi karbon secara kontinyu dalam jangka waktu yang panjang sehingga dapat mewakili segala kondisi iklim (musim kemarau dan hujan).

Hasil pengukuran yang kontinyu dalam jangka waktu yang panjang diharapkan mampu menghasilkan nilai akumulasi emisi karbon dalam setahun sehingga dapat dijadikan nilai rujukan emisi yang lebih akurat di lahan gambut. Namun, pengukuran dengan metode ini menggunakan alat cukup mahal sehingga diharapkan model yang dibangun berdasarkan data pengukuran parameter lingkungan biofisik dengan bantuan model seperti *Artificial Neural Network* (ANN) dapat digunakan untuk menduga emisi karbon secara akurat dengan biaya yang murah. Model ANN atau yang dikenal sebagai Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dalam Bahasa Indonesia ini juga telah digunakan dalam menduga emisi karbon dan gas rumah kaca seperti disajikan oleh (Arif *et al*. 2015). Tujuan penelitian ini adalah: (1) Melakukan estimasi emisi CO_2 dari lahan gambut secara kontinyu dalam periode waktu panjang; (2) Menganalisis pengaruh lingkungan biofisik terhadap emisi CO_2 dari lahan gambut; (3) Mendapatkan dugaan emisi CO_2 dari lahan gambut berdasarkan hasil pengukuran parameter lingkungan biofisik dengan menggunakan model ANN.

Bahan dan Metode

Alat dan Bahan

Penelitian ini dilaksanakan di lahan gambut terbuka yang terletak di Pulau Padang, yang secara administratis berada di wilayah Kabupaten Kepulauan Meranti, Provinsi Kepulauan Riau. Pengambilan data dalam penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli sampai September tahun 2014.

Alat dan bahan yang digunakan adalah (1) *Automatic Water Level Recorder (AWLR)* dari *Global Water tipe WL16*, digunakan untuk mengukur tinggi muka air tanah/gambut secara realtimes dengan waktu pengamatan yang diatur mengikuti pengukuran emisi karbon. Durasi pengukuran data diatur dengan interval satu jam, (2) *Automatic Rain Gauge (ARG),* digunakan untuk mengukur intensitas curah hujan otomatis ini dapat diatur dengan interval pengukuran satu jam, (3) Sensor 5-TE, digunakan untuk mengukur temperatur, kelembaban tanah (*volumeteric water content*), (4) *Data logger EM 50*, digunakan untuk merekam data hasil pengukuran sensor 5-TE, ARG, AWLR, (5) Licor LI-8100, digunakan untuk mengukur fluks CO_2 dari permukaan tanah secara otomatis dan kontinyu. Alat ini terdiri dari *gas analyzer* dan *chamber*. Emisi karbon yang masuk ke dalam *chamber* akan dialirkan ke bagian *gas analyzer* untuk dianalisa kandungan CO_2. Durasi dan interval pengukuran dapat diatur dengan program komputer, dalam penelitian ini diatur LI-8100 akan mengukur setiap jam dengan ulangan 3 kali, (6) *Genset*, digunakan untuk sumber energi *recharge* baterai yang digunakan sebagai energi untuk Li-8100, (7) *Ring sampel*, digunakan untuk mengambil contoh tanah di lokasi pengukuran emisi karbon, (8) Beterai kering 9 volt, digunakan sebagai catu daya untuk EM50, AWLR dan ARG.

Metode Pengukuran dan Pengolahan Data

Pengukuran emisi karbon dilakukan dengan metode *closed chamber* menggunakan Licor LI-8100 untuk mengukur emisi karbon secara otomatis untuk periode yang panjang. Licor LI-8100 diinstal di lokasi pengukuran yang merupakan lahan gambut terbuka yang sekaligus berfungsi sebagai lokasi stasiun pemantau cuaca dilahan konsensi hutan tanaman industri di Pulau Padang. Pada prinsipnya Licor LI-8100 terdiri dari dua bagian yaitu *chamber* dan *analyzer*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

control unit. Lokasi pengukuran yang dipilih adalah lokasi yang datar dan telah dibersihkan permukaan lahannya. Seluruh peralatan dipasang secara bersamaan pada suatu tempat yang relatif aman dari gangguan dan Licor LI-8100 ini dihubungkan dengan komputer menggunakan *software* LI-800 *Automatic soil CO_2 flux system* untuk pengaturan kondisi pengukuran yaitu durasi pengukuran, interval pengukuran, dan cara menyimpan data hasil pengukuran. Interval pengukuran akan diatur sehingga Licor LI-8100 akan melakukan pengukuran sebanyak 3 kali setiap jam selama 24 jam dalam periode pengukuran. Data hasil pengukuran akan dipindahkan ke komputer untuk dilakukan analisis dan pengolahan data.

Perubahan konsentrasi Gas CO_2 di dalam *chamber* selanjutnya dapat dikonversi menjadi fluks gas CO_2 ($gCO_2m^{-2}s^{-1}$) dengan rumus berikut :

$$Fluks\ CO_2 = gCO_2m^{-2}s^{-1} = \frac{44 \times 273.15 \times \frac{\Delta c}{\Delta t} \times 10^{-6} \times V}{0.0224 \times (273.15 + T) \times A}$$

Keterangan:

V = Volume udara dalam collar (m^3)
$\frac{\Delta c}{\Delta t}$ = perubahan konsentrasi gas ($m^3\ m^{-3}\ h^{-1}$)
A = Luas area collar (m^2)
1 ppmV (CO_2)= 10^{-6} (m^3CO_2/m^3Air)
1 mol (CO_2) = 0.0224 (m^3CO_2) pada kondisi standar (0°C dan 1 atm)
1 mol (CO_2) = $\frac{44 \times 273.15}{0.0224 \times (273.15 + T)}$ (m^3CO_2) pada kondisi T(°C)
1 mol (CO_2) = 44 (gCO_2)
1 (m^3CO_2) = $\frac{0.0224 \times (273.15 + T)}{273.15}$ (gCO_2)

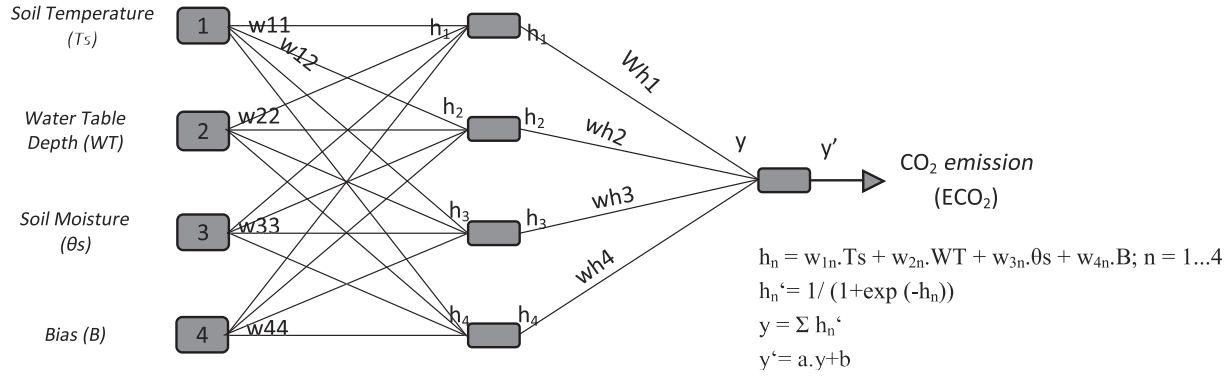
Akumulasi emisi CO_2 tersebut kemudian dapat dihitung dengan menghitung luas di bawah kurva fluktuasi emisi dalam satu hari, misalnya dengan pendekatan luas trapesium. Total akumulasi emisi pada waktu pengukuran dapat diperoleh dengan menjumlahkan emisi harian yang diperoleh.

Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran parameter lingkungan biofisik yang diinstal secara bersamaan dengan pengukuran emisi CO_2. Parameter lingkungan biofisik yang diukur meliputi temperatur tanah, kelembaban tanah, kedalaman muka air tanah (muka air tanah) dan intensitas curah hujan dengan menggunakan sensor 5-TE, mps, AWLR, dan ARG. Sensor 5-TE diletakkan pada kedalaman 10 cm dibawah permukaan tanah. Sensor tersebut akan dihubungkan dengan *data logger* EM50 untuk merekan data hasil pengukuran. Pengaturan kondisi lingkungan dilakukan dengan menghubungkan *data logger* EM50 dengan komputer menggunakan *software* ECH20 *utility*. Interval pencatatan data dilakukan setiap jam. Data hasil pengukuran lingkungan biofisik akan digunakan untuk menganalisa pengembangan sistem model matematika untuk menduga besarnya emisi karbon. Hubungan setiap parameter fisika gambut terhadap emisi karbon dapat dianalisis dengan mengembangkan model ANN (Gambar 1).

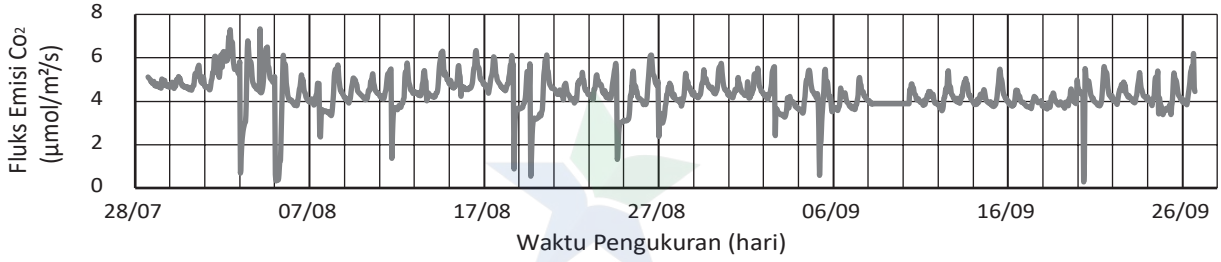
Hasil dan Pembahasan

Emisi Karbon Lahan Gambut

Pengukuran emisi karbon lahan gambut dilakukan di Pulau Padang yang merupakan stasiun *monitoring*, *reporting* dan *verification* (stasiun MRV). Pengukuran ini dilakukan pada satu titik pengukuran di lahan terbuka tanpa tutupan vegetasi dengan permukaan yang relatif datar. Pengukuran dilakukan selama 2 bulan secara kontinyu dari tanggal 28 Juli 2014 sampai 26 September 2014. Hasil pengukuran emisi karbon disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 2.



Gambar 1. Model *Artificial Neural Network* CO_2 *flux*.



Gambar 2. Fluks emisi CO_2 lahan gambut Pulau Padang.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

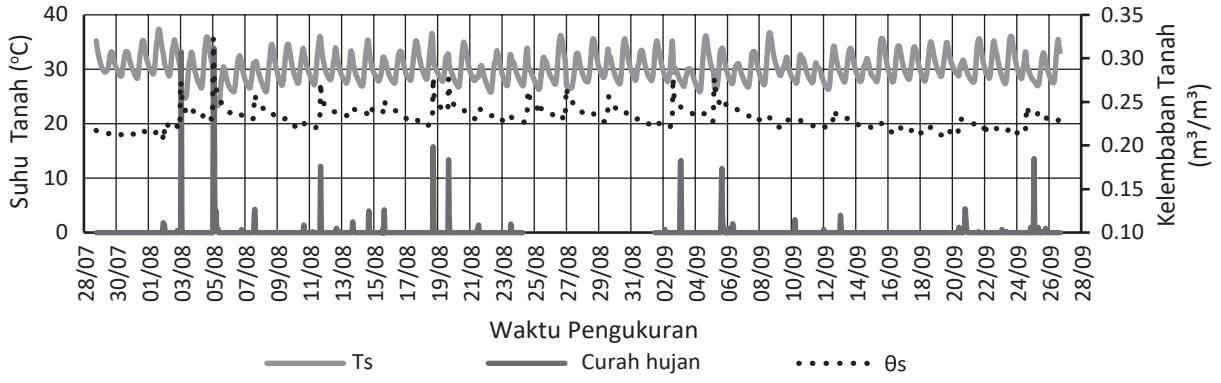
Hasil pengukuran emisi karbon menunjukkan fluks emisi yang fluktuatif terhadap waktu tertentu pada saat pengukuran dilakukan dengan rata-rata CO_2 yang diemisikan sebesar 4.37 µmol/m^2/s. Selama pengukuran, fluks CO_2 tertinggi terjadi pada tanggal 2 agustus jam 11.00 WIB dengan fluks sebesar 7.303 µmol/m²/s. Kondisi fluks maksimum terjadi pada suhu 32.78°C dengan kelembaban sebesar 0.226 m^3/m^3. Sedangkan untuk fluks CO_2 terendah terjadi pada tanggal 5 agustus jam 02.00 WIB dengan fluks sebesar 0.34 µmol/m²/s. Kondisi fluks minimum terjadi pada suhu 23.7°C dengan kelembaban 0.289 m^3/m^3. Jumlah karbon yang diemisikan selama pengukuran adalah 996.958 gCO_2/m^2/2 bulan atau jika dikonversi selama setahun menjadi 59.82 tonCO_2/ha/tahun sehingga emisi karbon yang diemisikan ke atmosfer dari lahan gambut adalah 16.314 tonC/ha/tahun .

Emisi CO_2 yang dihasilkan menunjukkan nilai yang lebih kecil dibandinganken dengan beberapa penelitian emisi di lahan gambut yang menyebutkan bahwa besaran emisi yang dikeluarkan per tahun mencapai 178 tonCO_2/ha/tahun (Adeolu *et al.* 2015), 171 – 252 tonCO_2/ha/tahun (Setiawan 2014) dan Chadirin (2016) menyebutkan bahwa emisi lahan gambut sebesar 62.25 tonCO_2/ha/tahun. Berdasarkan nilai maksimum dan minimum fluks CO_2 yang dihasilkan selama pengukuran dilakukan maka dapat diprediksi emisi CO_2 maksimum dan minimum yang diemisikan lahan gambut ke atmosfer. Emisi CO_2 maksimum dapat mencapai 101,340 tonCO_2/ha/tahun dengan emisi karbon sebesar 27.638 tonC/ha/tahun. Emisi CO_2 minimum dapat mencapai 4.718 tonCO_2/ha/tahun dengan emisi karbon sebesar 1.287 tonC/ha/tahun.

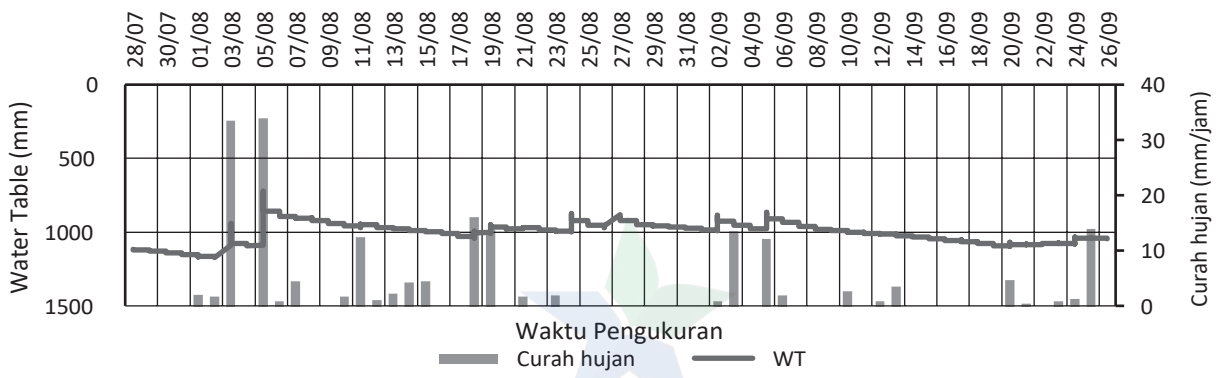
Hubungan Parameter Lingkungan Biofisik dengan Emisi Karbon

Parameter lingkungan biofisik yang diukur pada penelitian ini meliputi suhu tanah, kelembaban tanah dan tinggi muka air tanah. Pengukuran dilakukan pada kedalaman 10 cm. Faktor lingkungan biofisik tanah sangat dipengaruhi oleh iklim mikro yang terjadi di lokasi pengukuran seperti curah hujan yang akan mempengaruhi secara langsung dan signifikan keadaan suhu tanah, kelembaban tanah dan tinggi muka air tanah. Hubungan curah hujan terhadap suhu tanah (Ts), kelembaban tanah (θs) dan muka air tanah (*water table* atau WT) disajikan dalam grafik pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Hasil pengukuran menunjukkan fluktuasi yang terjadi pada suhu dan kelembaban tanah akibat terjadinya hujan. Curah hujan memiliki korelasi positif terhadap kelembaban tanah dan berkorelasi negatif terhadap suhu tanah. Pada saat hujan terjadi, kelembaban akan naik dan suhu akan menurun. Suhu tanah berkisar antara 23.32°C – 37.37°C dengan kelembaban tanah berada di kisaran 0.323 m³/m³ - 0.205 m³/m³. Suhu tanah terendah terukur pada saat hujan sudah berhenti, hal ini disebabkan oleh penurunan suhu akan terjadi seiring dengan terjadinya hujan dan memerlukan waktu untuk mencapai titik terendahnya. Sedangkan suhu tertinggi terjadi pada saat sore hari dengan kondisi tidak terjadinya hujan baik sebelum atau sesudahnya. Pencahayaan



Gambar 3. Pengaruh Curah hujan terhadap Suhu dan kelembaban Tanah.



Gambar 4. Pengaruh Curah hujan terhadap muka air tanah.

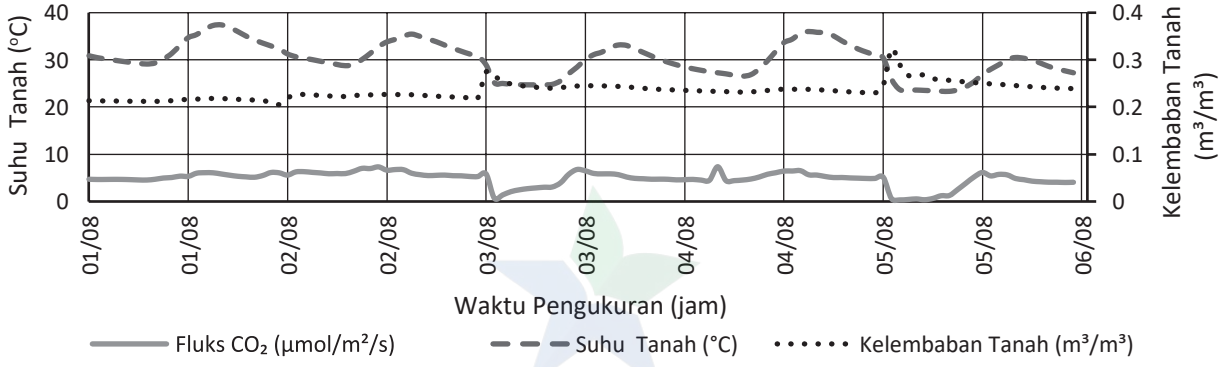
dari matahari dapat meningkatkan suhu tanah dan menurunkan kelembaban tanah akibat penguapan sehingga tanah menjadi lebih kering (Hanafiah 2005). Curah hujan tertinggi terjadi pada jam 2 siang tanggal 5 agustus dengan curah hujan yang terukur sebesar 33.6 mm/jam. Namun kelembaban tertinggi (0.323 m^3/m^3) justru terjadi pada jam satu siang dengan curah hujan 30.4 mm/jam. Hal ini dapat terjadi karena hujan yang turun pada jam 1 siang langsung membasahi tanah dengan kuantitas yang besar sehingga tanah dengan mudah menyerap air dan membuat kelembaban yang terukur di kedalaman 10 cm menjadi sangat besar. Air akan terinfiltrasi kelapisan tanah yang semakin dalam dengan kurun waktu tertentu, sehingga pada jam selanjutnya kelembaban tanah akan menurun dan merata di sepanjang area pengukuran.

Gambar 4 menunjukkan bahwa curah hujan meningkatkan tinggi muka air tanah, yang berarti bahwa tanah yang jenuh semakin tinggi dan mendekati permukaan tanah paling atas. Pada saat sebelum terjadi hujan, tinggi muka air tanah berada di kedalaman 1.174 m dari permukaan tanah dan mengalami kenaikan air tanah menjadi 0.941 m dari permukaan tanah pada saat terjadinya hujan. Hubungan antara Emisi CO_2 dengan suhu dan kelembaban tanah disajikan pada Gambar 4. Sedangkan hubungan antara Emisi CO_2 dan muka air tanah disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa emisi memiliki reaksi yang sangat fluktuatif terhadap perubahan suhu tanah dan kelembaban tanah. Umumnya, emisi akan naik pada siang hari dan turun pada malam hari atau saat terjadinya hujan. Hal ini membuktikan bahwa intensitas cahaya matahari dan curah hujan sangat berpengaruh terhadap respirasi tanah yang mengemisikan CO_2. Intensitas matahari dan curah hujan secara langsung mempengaruhi suhu dan kelembaban tanah. Suhu dan kelembaban mempengaruhi secara langsung emisi CO_2 yang dikeluarkan lahan gambut. Pada tanggal 3 jam 00.00 WIB dan tanggal 5 jam 00.00-02.00 WIB. Ketika Suhu turun dan kelembaban naik akibat terjadinya hujan, maka emisi menurun. Begitu juga sebaliknya yang terjadi pada tanggal 3 jam 02.00-12.00 ketika hujan berhenti dan lokasi pengukuran mendapatkan radiasi matahari yang menyebabkan suhu naik maka emisi CO_2 juga naik. Emisi tertinggi terjadi pada suhu 32.7°C dan kelembaban tanah 0.226 m^3/m^3. Dari Hasil pengolahan data ditemukan bahwa pada kodisi normal tanpa adanya hujan, emisi CO_2 akan mulai mengalami kenaikan dari suhu 29°C sampai puncaknya di suhu 32.7°C kemudian emisi CO_2 akan turun kembali sampai suhu maksimum yang terukur 37°C. Suhu tanah akan mempengaruhi kelembaban tanah karena terjadinya evaporasi, aerasi, aktivitas mikroorganisme tanah dalam proses enzimatik dan dekomposisi serasah atau sisa tanaman serta ketersediaan hara-hara tanaman. Aktivitas ini sangat terbatas pada suhu dibawah 10°C, laju optimum aktivitas biota tanah terjadi pada suhu 18-30°C. Pada proses kehidupan mikroorganisme tanah secara langsung juga dipengaruhi oleh suhu tanah (Hanafiah 2005).

Fenomena ini menegaskan bahwa emisi CO_2 memiliki hubungan yang berbandingan lurus dengan suhu namun berbanding terbalik dengan kelembaban. Emisi CO_2 akan meningkat pada kondisi suhu yang tinggi dan kelembaan tanah yang cukup untuk terjadinya respirasi tanah dan aktivitas mikroorganisme. Hasil ini sejalan dengan beberapa penelitian yang pernah dilakukan oleh para peneliti yang menyimpulkan bahwa emisi CO_2 sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban tanah (Chadirin *et al.* 2016; Martins *et al.* 2016; Fenn *et al.* 2010; Astiani *et al.* 2016). Selain suhu dan kelembaban tanah, beberapa penelitian juga menyatakan bahwa adanya pengaruh antara muka air tanah dengan emisi CO_2 (Limin *et al.* 2008; Astiani *et al.* 2016; Hooijer *et al.* 2010; Page 2008; Sabiham 2010) .

Hasil pengukuran (Gambar 6) menunjukkan emisi CO_2 yang terjadi sangat fluktuatif pada keadaan muka air tanah yang cenderung stabil. Namun ketika terjadi penurunan kedalaman muka air tanah secara signifikan dari 1089.5 mm ke 941.25 mm hingga mendekati permukaan tanah pada tanggal 3 Agustus jam 01.00 WIB karena adanya hujan sebesar 33.2 mm/jam mengakibat emisi CO_2 menurun secara signifikan dari 5.827 $\mu mol/m^2/s$ menjadi 0.69 $\mu mol/m^2/s$. Keadaan yang sama juga terjadi pada tanggal 5 Agustus jam 20.00 WIB. Hal ini terjadi karena penurunan kedalaman muka air tanah mendekati permukaan tanah yaang ditandai dengan kecilnya kedalaman tanah yang tak jenuh membuat ruang gerak respirasi tanah dan mikroorganisme tanah menjadi semakin sedikit. Penurunan kedalaman muka air tanah juga



Gambar 5. Hubungan Emisi CO_2 dengan suhu dan kelembaban tanah.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

memperdalam zona permukaan oksida gambut, sehingga meningkatkan ketersediaan substrat CO_2 dan melepaskan proses dekomposisi. Lapisan gambut bagian atas yang tidak jenuh dengan air dan bersifat oksik dapat mendukung aktivitas biologis, sedangkan lapisan di bawahnya tergenang air dan anoksik. Batas oksik-anoksik bergeser akibat fluktuasi tabel air, saat tabel air diturunkan, lapisan oksida menjadi semakin dalam dari permukaan tanah dan proses dekomposisi akan meningkat (Astiani *et al.* 2016).

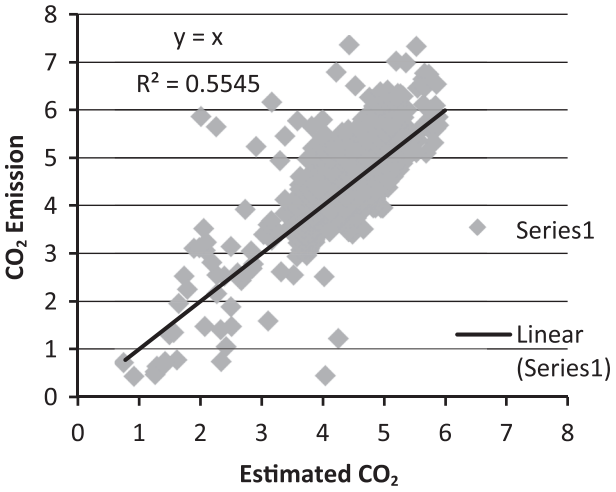
Pada lahan gambut terbuka, emisi CO_2 meningkat secara berurutan 20%, 56%, 100% dan 162% Pada kedalaman muka air tanah yang meningkat dari 10, 20, 30 dan 40 cm. (Astiani *et al.* 2016). Proses pengeringan dan pembasahan lahan gambut mempengaruhi stabilitas asam organik, yang ditunjukkan oleh hilangnya C melalui pelepasan CO_2 dan CH_4. Perubahan status hidrologi di lahan gambut mendorong dekomposisi aerobik yang menyebabkan peningkatan emisi CO_2 sementara, pada saat bersamaan, keasaman dan nutrisi dilepaskan. (Limin *et al.* 2008).

Muka air tanah merupakan batas antara permukaan jenuh dan tak jenuh di dalam tanah. pada kondisi alami, muka air tanah menutup permukaan tanah sehingga gambut terakumulasi dari tanaman selama lebih dari 100 tahun. namun ketika lahan gambut di drainase untuk keperluan pertanian menyebabkan terjadinya penurunan muka air tanah dan subsidensi lahan pada permukaan gambut sehingga menyebabkan emisi CO_2 keluar ke atmosfer, apabila drainase dilanjutkan maka akan terjadi dekomposisi gambut kering dan beresiko terjadinya kebakaran dan emisi CO_2 diproduksi lebih banyak. Pada akhirnya, sebagian besar karbon yang tersimpan dilahan gambut akan berubah menjadi emisi karbon yang dikeluarkan ke atmosfer (Hooijer *et al.* 2010).

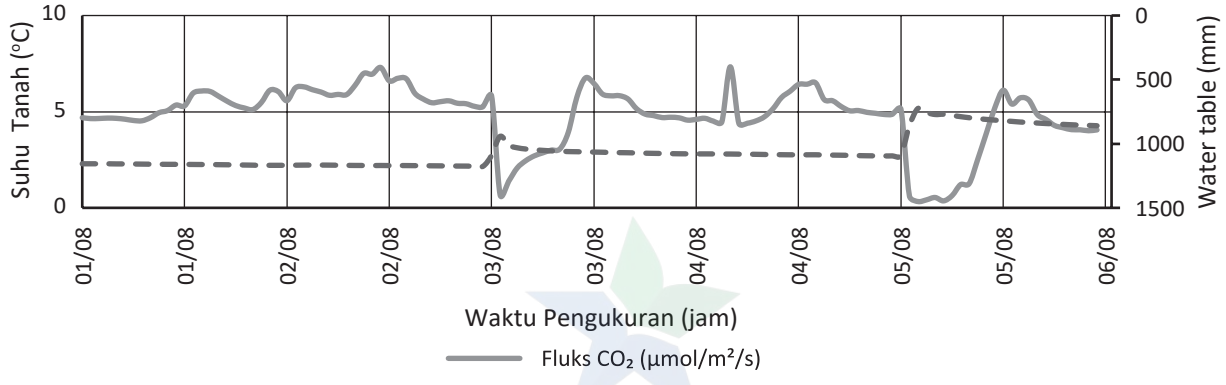
Dugaan emisi karbon dengan menggunakan ANN

Hubungan setiap parameter fisika gambut terhadap emisi CO_2 dapat dianalisis dengan mengembangkan Model *Artificial Neural Network* (ANN) atau Jaringan Saraf Tiruan. ANN merupakan kumpulan elemen pemrosesan, unit atau node sederhana yang saling berhubungan dan fungsinya didasarkan pada sistem saraf manusia. Model ANN untuk memprediksi emisi CO_2 yang terjadi di lahan gambut telah dikembangkan oleh beberapa peneliti Setiawan (2014), Chadirin *et al.* (2016). Setiawan (2014) menggunakan parameter fisika gambut yaitu suhu tanah, kelembaban tanah dan daya hantar listrik tanah sebagai variabel dalam penentuan emisi sedangkan Chadirin (2016) menggunakan parameter suhu tanah, kelembaban tanah dan curah hujan (*rainfall*).

Model ANN pada penelitian ini menggunakan parameter lingkungan biofisik yaitu suhu tanah, kelembaban tanah dan muka air tanah dimasukkan sebagai variabel untuk menentukan emisi CO_2 lahan gambut di pulau padang. Kedalaman muka air tanah merepresentasikan luas ruang yang tersedia di lahan gambut yang diprediksi dapat berpengaruh terhadap besarnya emisi CO_2 lahan gambut. Hasil estimasi emisi CO_2 berdasarkan parameter lingkungan biofisik kemudian disandingkan dengan hasil pengukuran lapangan (Gambar 8). Hasil perhitungan menggunakan model ANN dioptimasi sampai menunjukan nilai korelasi yang cukup tinggi dengan emisi pada saat pengukuran. Hasil korelasi tertinggi yang diperoleh sebesar $R^2 = 0.5545$ yang menunjukkan bahwa hasil perhitungan ANN dengan emisi pengukuran memiliki korelasi yang cukup baik namun kemungkinan masih ada faktor lain yang mempengaruhi dan harus diperhitungkan dalam pendugaan emisi dengan ANN. Model ANN yang telah diperoleh ini kemudian



Gambar 7. Garfik Model ANN terhadap CO_2 fluks lahan gambut.

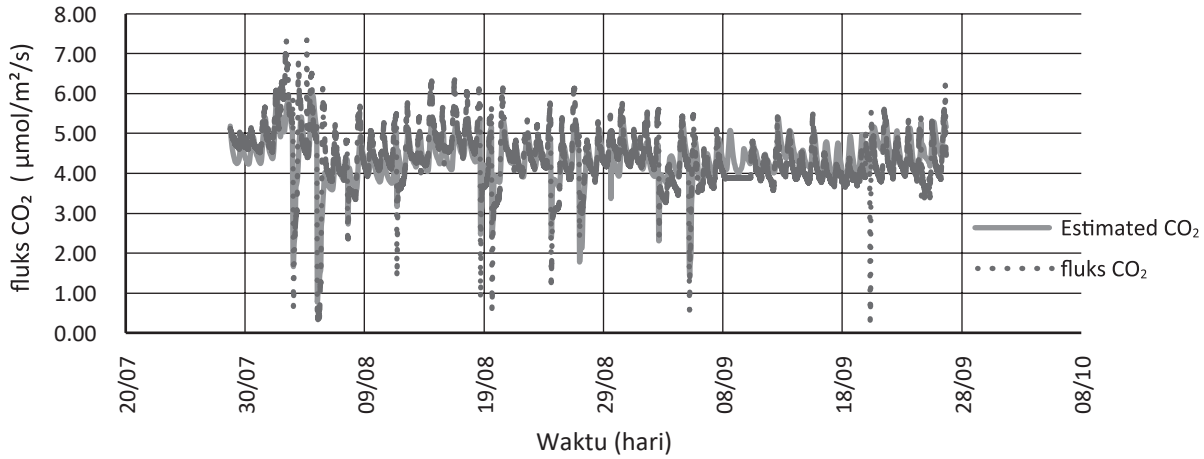


Gambar 6. Hubungan emisi CO_2 dengan muka air tanah.

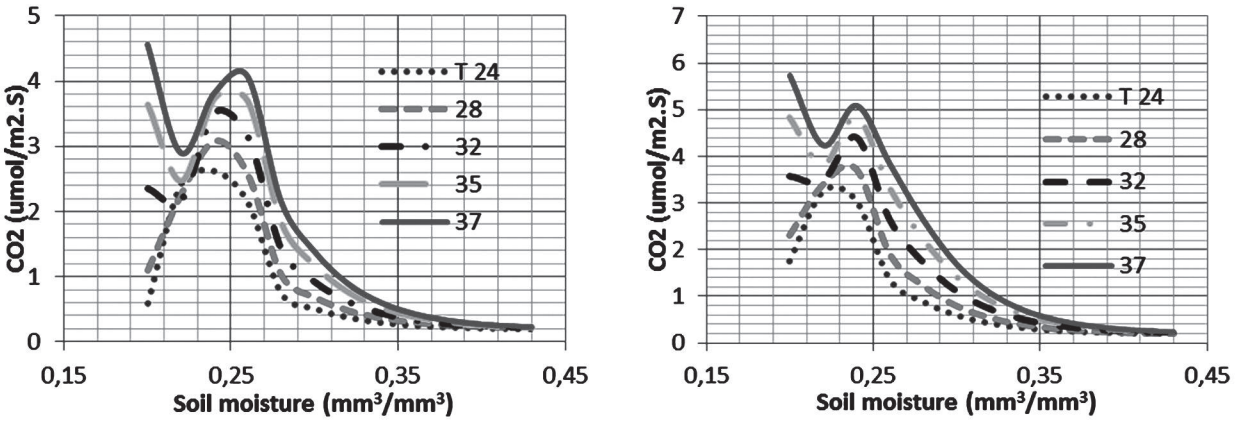
digunakan untuk mengestimasi CO_2 lahan gambut di Pulau Padang dengan lebih cepat.

Pada Gambar 10 terlihat bahwa hasil estimasi dengan perhitungan model ANN tidak berbeda jauh dengan fluks CO_2 yang diukur di lapangan. Model ANN menghasilkan monograf hubungan suhu dan kelembaban tanah terhadap emisi CO_2 pada kedalaman muka air tanah minimum, medium dan maksimum berdasarkan hasil pengukuran dilapangan yaitu 720 mm, 950 mm dan 1180 mm (Gambar 9 a, b dan c).

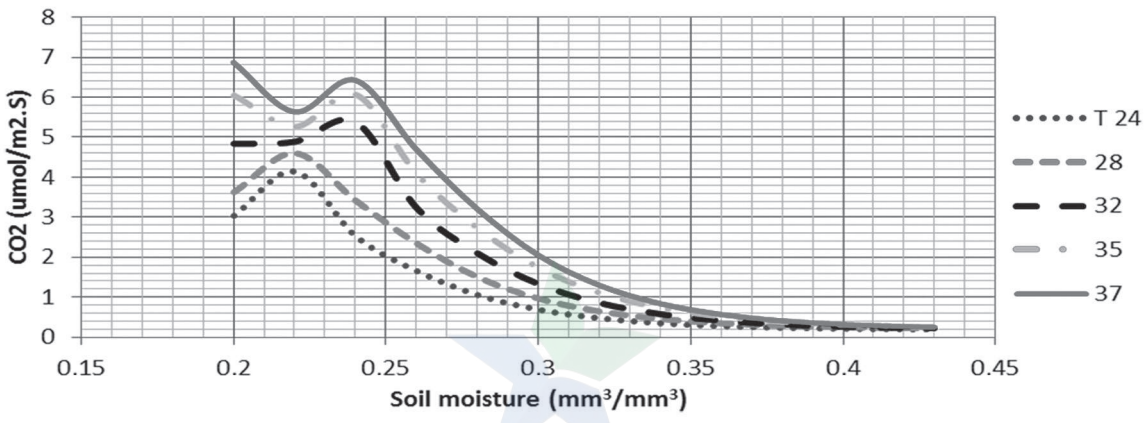
Monogram ini dihasilkan berdasarkan rentang data hasil pengukuran di lapangan. Sehingga apabila tidak ada data yang mendukung maka ANN tidak dapat mengestimasikan emisi yang terjadi sehingga perhitungan ANN tidak berlaku. Kondisi ini terjadi pada rentang suhu 32-37°C dengan kelembaban 0.200-0.220 m^3/m^3 , prediksi emisi CO_2 perhitungan model ANN ini tidak berlaku karena tidak ada data yang mendukung adanya rentang suhu dengan kelembaban tersebut dilapangan. Kondisi ini juga berlaku untuk setiap rentang muka air tanah. Gambar 9 a, b dan c



Gambar 8. Hasil estimasi Emisi CO_2 dan Fluks CO_2 pengukuran lapangan.



Gambar 9 . Model ANN dengan kedalaman muka air tanah 720 mm (a) dan 950 mm (b).



Gambar 9c. Model ANN dengan kedalaman muka air tanah maksimum (1180 mm)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

memperlihatkan bahwa emisi CO_2 pada kedalaman muka air tanah tertentu berfluktuasi mengikuti keadaan suhu dan kelembaban. Semakin besar kedalaman muka air tanah maka semakin besar pula emisi maksimum yang dihasilkan. Emisi maksimum pada muka air tanah 720 mm, 950 mm dan 1180 mm masing masing mencapai 4.1 µmol/m²/s, 5.1 µmol/m²/s dan 6.9 µmol/m²/s pada suhu maksimum. Emisi bergerak naik pada rentang kelembaban 0.220 sampai 0.250 kemudian kembali turun dengan meningkatnya kelembaban. Dari monogram ini dapat disimpulkan bahwa emisi bergerak naik pada kedalaman muka air tanah yang tinggi dengan suhu maskimum dan rentang kelembaban tertentu.

Simpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa emisi CO_2 lahan gambut Pulau Padang diperkirakan mencapai 59.82 tonCO_2/ha/tahun sehingga emisi karbon yang diemisikan lahan gambut adalah 16.314 tonC/ha/tahun. Emisi CO_2 lahan gambut dipengaruhi oleh parameter lingkungan biofisik gambut yaitu suhu tanah, kelembaban tanah dan kedalaman muka air tanah. Emisi CO_2 akan meningkat pada kondisi suhu yang tinggi dan kelembaan tanah yang cukup untuk terjadinya respirasi tanah dan aktivitas mikroorganisme. Muka air tanah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap emisi karbon dari gambut dengan lebih banyak CO_2 yang dilepaskan pada kedalaman muka air tanah yang semakin jauh dari permukaan. Hasil perhitungan menggunakan model ANN diperoleh korelasi tertinggi yang sebesar R^2 = 0.5545 dan model ANN dapat dijadikan sebagai acuan untuk mengestimasi CO_2 lahan gambut di Pulau Padang dengan lebih ekonomis.

Daftar Pustaka

Arif, Chusnul, B.I. Setiawan, S. Widodo, - Rudiyanto, N.A. Iswati Hasanah, and M. Mizoguchi. 2015. "Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan untuk Menduga Emisi Gas Rumah Kaca dari Lahan Sawah dengan Berbagai Rejim Air." Jurnal Irigasi 10(1):1.

Astiani, D., Burhanuddin, T. Muhammad, dan L.M. Curran. (2016). Effect of Water table Level on Soil CO_2 Respiration in West Kalimantan Forested and Bare Peatland: an Experimental Stage. Nusantara Bioscience: 201-206.

Chadirin, Y., S.K. Saptomo, Rudiyanto, dan K. Osawa. (2016). Lingkungan Biofisik dan Emisi Gas CO_2 Lahan Gambut untuk Produksi Biomassa yang Berkelanjutan. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia: 146-151.

Fenn, K.M., Y. Malhi and M.D. Morecroft. (2010). Soil CO_2 efflux in a temperate deciduous forest: Environmental drivers. Elsevier: 1685-1693.

Hanafiah, K.A. 2005. Dasar-Dasar Ilmu tanah. Raja Grafindo Persada, Jakarta.

Hooijer, A., J. Jauhiainen, W. Lee, X. Lu, A. Idris, and G. Anshari. (2012). Subsidence and Carbon Lost in Drained Tropical Peatlands. Biogeosciences: 1053-1071.

Hooijer, A., S. Page, J.G. Canadell, M. Silvius, J. Kwadijk, H. Wosten, and J. Jauhiainen. (2010). Current and future CO_2 Emission From Drained peatlands In Southest Asia. Biogeoscience: 1505-1514.

Jauhiainen, J., H. Silvennoinen, S. Limin, and H. Vasander. (2008). Effect of Hydrological Restoration on Degraded Tropical Peat Carbon Fluxes. Restoration of Tropical Peatland: 111-117.

Jaenicke, J., and F. Siegert. (2008). Monitoring Restoration Measures in Tropical Peatlands Using Radar Satellite Imagery: 142-147.

Limin, S.H., E. Yunsiska, K. Kitso, and S. Alim. (2008). Restoration of Hydrological Status as The Key to Rehabilitation of Damaged Peatland in Central Kalimantan: 117-124.

Martins, C., C. Macdonald, I. Anderson, and B. Singh. (2016). Feedback responses of soil greenhouse gas emissions to climate change are modulated by soil characteristics in dryland ecosystems. Soil Biology & Biochemistry; 21-32.

Page, S., and J. Rieley. (2008). Overview of the neef for restoration and rehabilitaion of tropical peatland and review of the contents of this book. Dalam J. R. Henk Wosten, Restoration of tropical peatlands. Wageningen: Alterra; 13-18

Sabiham, S. (2010). Properties of Indonesia Peat in Relation to The Chemistry of Carbon Emission. International Workshop on Evaluation and Suistainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries. Bogor; 205-216

Setiawan, B.I., dan Mustafril. (2014). Pendugaan Karbon Di Atas Pemukaan Tanah. Aceh. Universitas Syiah Kuala.

Subowo, G. (2010). Strategi Efisiensi Penggunaan Bahan Organik Untuk Kesuburan. Jurnal Sumberdaya Lahan Vol. 4 No. 1;13-25.

Tawan, C.S, I.B. Ipor, and W.H. Wan Sulaiman. (2008). Floral Diversity Of The Peat Swamp Forest Of Sarawak. Restoration of Tropical Peatlands; 39-44.

Waldes, N., and S. Page. (2008). Unlocking the natural resourcefunction on tropical peatlands: Understanding the nature and diversity of peat swamp forest vegetation as a foundation for vegetation restoration studies. environmental jurnals; 30-38.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JTEP Jurnal Keteknikan Pertanian, Agustus 2019
Vol. 7 No. 2, p 129-136
P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439
Tersedia online OJS pada:
http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep
DOI: 10.19028/jtep.07.2.129-136

Technical Paper

Desain dan Kinerja Mesin Ekstruder *Twin Screw* untuk Pembuatan Pakan Ikan Terapung

Design and Performance of Twin Screw Extruders for Producing Floating Fish Feed

Arif Rahman Hakim, Loka Riset Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan,Badan Riset dan Sumberdaya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Email: arifrahmanh11@gmail.com
Wahyu Tri Handoyo, Loka Riset Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Email: wahyu.th@gmail.com
Ahmat Fauzi, Loka Riset Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Email: ahmat.fauzi@gmail.com
Widiarto Sarwono, Loka Riset Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Email: widiarto06@gmail.com

Abstract

Production of floating fish feed independently by fish farmer group currently constrained with types of extruders available. Single screw extruders used fail to produce floating fish feed. It caused by the extrusion process is not optimal due to either temperature or improper screw speed. An alternative solution is using extruder twin screw with temperature and screw speed can be controlled. The objective of the study is developing and assessing of twin screw extruder performance in producing floating fish feed. Principle work of extruders is conveying and mixing feed stuff to the dies under high temperature and pressure. The main component of extruder consists of a motor drive, screw, barrel, heater, dies, and cutter. Evaluation of extruder performance involve temperature, screw speed, engine power, and quality of feed produced that are floatability and unit density. The result of design and assessment are obtained prototype of twin screw extruders which have capacity 10,93 kg/h, stability temperature and screw speed, the power requirement is 5,17 kW, specific mechanical energy 136,11 kJ.kg^{-1}. Produced fish feed have floatability 96% and unit density 0,620 (g/cm^3).

Keywords: *Fish feed, floating, extruder, twin screw*

Abstrak

Pembuatan pakan ikan terapung secara mandiri oleh kelompok pembudidaya saat ini terkendala jenis ekstruder yang tersedia. Ekstruder *single screw* yang digunakan belum bisa menghasilkan pakan ikan terapung. Karena proses ekstrusi yang tidak optimal baik disebabkan suhu maupun putaran *screw* yang tidak tepat. Sebagai alternatif ialah dengan menggunakan ekstruder *twin screw* dengan suhu dan putaran yang bisa dikontrol. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menguji kinerja ekstruder *twin screw* dalam memproduksi pakan ikan terapung. Prinsip kerja dari ekstruder adalah mendorong dan mengaduk bahan pakan menuju *dies* dalam kondisi tekanan dan panas yang tinggi. Komponen utama ekstruder terdiri dari motor penggerak, *twin screw*, *barrel*, element pemanas, *dies* dan pemotong. Pengujian kinerja meliputi suhu, kecepatan *screw*, daya mesin serta kualitas pakan yang dihasilkan berupa daya apung dan unit density. Hasil desain dan pengujian diperoleh mesin ekstruder dengan kapasitas 10,93 kg/jam, suhu dan putaran *screw* stabil saat dioperasikan, kebutuhan daya sebesar 5,17 kW, *specific mechanical energy* 136,11 kJ.kg^{-1}. Pakan ikan yang dihasilkan memiliki daya apung 96 % dan unit density 0,620 (g/cm^3).

Kata Kunci: *Pakan ikan, terapung, ekstruder, twin screw*

Diterima: 26 Desember 2018; Disetujui: 19 Maret 2019

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Latar Belakang

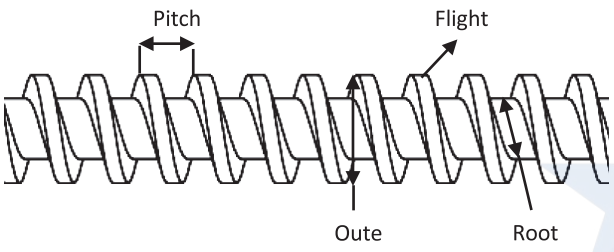
Harga pakan ikan terus mengalami kenaikan. Hal ini salah satunya disebabkan karena permintaan yang juga terus naik selain faktor kenaikan harga bahan baku (tepung ikan). Sebagai salah satu cara mengatasi dampak negatif dari kenaikan pakan bagi para pembudidaya ikan Pemerintah menggulirkan Program Gerakan Pakan Ikan Mandiri. Dengan program ini para pembudidaya ikan diharapkan mampu memproduksi pakan ikan secara mandiri sehingga bisa menekan biaya pengadaan pakan (DJPB, 2015).

Pakan ikan dibagi menjadi 2 jenis yaitu pakan ikan tenggelam dan pakan ikan terapung. Pakan jenis terapung memiliki keunggulan dibandingkan pakan ikan tenggelam diantaranya kecernaan lebih tinggi, mudah dikontrol jumlah pemberiannya dan tidak menyebabkan kualitas air kolam menurun (Kurniawan & Lestariadi, 2017; Yaqoob, *et al* 2010; Gunadi dkk, 2010). Tetapi dalam proses pembuatannya pakan terapung lebih komplek dibandingkan pakan tenggelam. Penyebabnya ialah pakan terapung diperlukan proses ekstrusi yang tepat agar pakan bisa membentuk struktur pori sehingga bisa mengapung (Purwasasmita & Roland, 2008).

Ekstruder sebagai mesin utama dalam proses ekstrusi harus didesain sedemikian rupa sehingga mampu menghasilkan pakan ikan terapung yang berkualitas. Oleh karenanya ekstruder harus bisa menyediakan kondisi suhu, tekanan dan pengadukan yang optimal. Mesin ekstruder yang banyak beredar dikelompok-kelompok budidaya ikan adalah ekstruder dengan ulir tunggal (*single screw*), yang sebagian besar sumber panasnya berasal dari gesekan antara bahan dan selongsong (*barrel*) dari ekstruder. Panas tersebut sulit dikontrol akibatnya bisa kurang panas maupun terlalu panas yang keduanya akan menghambat pembentukan pakan terapung dan bisa juga menyebabkan bahan tidak bisa dialirkan *screw* karena terlalu kering sehingga mesin akan macet. Sedangkan mesin ekstruder jenis ulir ganda (*twin screw*) memiliki beberapa kelebihan dibandingkan jenis *single screw* yaitu proses gesekan antara bahan dan *barrel* bisa dikurangi dan pengadukan lebih homogen (Adekola, 2016; Evon, *et al*. 2009; Harold *et al*. 2005).

Penelitian terkait aplikasi ekstruder *twin screw* dalam pengolahan pakan dan pangan sudah banyak dilakukan. Senanayake & Clarke (1999) merancang mesin ekstruder *twin screw* untuk memproduksi *snack* berbahan pisang dan beras. Philipp, *et al*, (2017) yang melakukan penelitian pembuatan *snack* berpotein tinggi menggunakan mesin *twin screw* ekstruder. Demikian juga Budijanto dkk (2012) mengaplikasikan mesin ekstruder *twin screw* untuk pembuatan sereal dari bekatul. Penelitian lain seperti Purwasasmita dan Roland (2008); Draganovica *et al* (2011); Samuelsen *et al* (2018), melakukan pengujian kualitas pakan ikan yang diproduksi men0ggunakan mesin ekstruder *twin screw*, belum membahas performansi mesin yang digunakan.

Lebih lanjut, dari penelitian-penelitian tersebut belum ada yang spesifik mendesain dan mengkonstruksi ekstruder untuk produksi pakan terapung dan uji kinerjanya terhadap mutu pakan yang dihasilkan. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah membuat ekstruder *twin screw* dengan kapasitas 10 kg/jam melalui perhitungan rancangan desain, konstruksi dan pengujian mesin yang digunakan untuk membuat pakan ikan terapung.



Gambar 1. Bagian-bagian *screw.*

Bahan dan Metode

Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan adalah peralatan-peralatan dalam konstruksi mesin ekstruder dan peralatan uji kinerja ekstruder yaitu timbangan analitik Fujitsu HTR 220, Thermometer Lutron TM-946 probe tipe K/J, tachometer digital SE-100 Sanwa, kaliper Sigmat-Vernier dan tang ampere Sanwa DCM2000DR.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari bahan pembuatan mesin dan bahan untuk pengujian. Bahan pembuatan mesin terdiri dari besi kanal U ukuran 65x40x3 mm, plat besi/baja karbon S45C ketebalan 10 dan 20 mm, plat stainless steel 304 ketebalan 1 dan 1,5 mm, stainless steel 304 ukuran lebar x tebal 205 x 45 mm, as stainless steel 304 diameter ø 1,5 inch (38,1 mm), plat Al-05 ukuran lebar dan tebal 70x55 dan 50x15 mm, motor listrik 2 phase 7,5 kW, inverter 7,5 kW, motor listrik dan *speed reducer* 18-280 rpm, sensor dan kontrol temperatur, elemen pemanas. Bahan penyusun pakan yang dibuat meliputi tepung ikan, tepung kedelai, tepung jagung dan tepung tapioka.

Rancangan Fungsional

Ekstruder dirancang untuk memproduksi pakan ikan terapung melalui proses ekstrusi. Ekstruder ditargetkan mencetak pakan dengan ukuran diameter 3-5 mm dan berat jenis pakan lebih kecil dari 1 g/cm^3. Fungsi dari setiap bagian mesin dapat dilihat pada Tabel 1.

Rancangan Struktural

Screw

Bagian utama dari ekstruder ialah *screw*. *Screw* dibuat ganda (*twin*) yang berputar secara berlawanan (*counter rotating*). *Screw* harus mampu mendorong dan menekan bahan baku supaya membentuk padatan.

Tabel 1. Rancangan fungsional.

Fungsi utama	Sub Fungsi	Komponen
Mencetak pakan berdiameter 3-5 mm dan berat jenis pakan lebih kecil dari 1 g/cm^3	Memutar, mengalirkan, mengaduk dan menekan bahan dari hopper menuju dies dalam selongsong /barrel	*Screw*
	Menahan tekanan akibat gerakan screw dan bahan	*Barrel*
	Membentuk sifat fisik pakanmeliputi densitas, rasio pengembangan, tekstur permukaan dan ukuran serta bentuk	*Dies*
	Memutar *screw*	Sistem penggerak
	Menaikkan dan mengatur suhu barrel	Pemanas dan sensor suhu

Oleh karena itu material *screw* harus kuat, tidak mudah terdeformasi dan patah. Material *screw* yang digunakan adalah as stainless steel 304 diameter ø 1,5 inch (38,1 mm). Kapasitas sebuah mesin ekstruder ditentukan oleh ukuran *screw* yang meliputi diameter *outer* dan *root*, *pitch* serta lebar *flight* (Gambar 1). Oleh karena penentuan target kapasitas ekstruder diawali dengan perhitungan dimensi *screw*.

Target kapasitas mesin ekstruder pada penelitian ini ialah 9-11 kg/jam. Perhitungan kapasitas *screw* dalam mengalirkan bahan menggunakan persamaan 1 dibawah ini:

$$Q = BH\,(2\pi - \alpha)\,DNp \qquad (1)$$

Keterangan simbol:
N = kecepatan putar *screw* (rpm)
α = *overlap angle of screw flights* (derajat)
H = tinggi *flight* (mm)
Q = aliran massa (mm^3/min)
B = *lebar channel* (mm)
p = *pitch* (mm)
D = diameter *outher screw* (mm)

Selanjutnya dibuat dimensi *screw* berdasarkan target kapasitas tersebut. Detail dimensi *screw* terlihat pada Gambar 2. sebagai berikut:

Barrel

Barrel adalah selongsong dari *screw* yang harus mampu menahan tekanan akibat gerakan *screw* dan bahan. Tekanan dalam *barrel* tidak diketahui secara pasti sehingga dibutuhkan nilai asumsi untuk menentukan ketebalan dan jenis bahan dari *barrel*. Nilai asumsi bisa berdasarkan literatur maupun dari mesin ekstruder komersial yang memiliki bahan yang sama. Menurut Harper (1979) tekanan pada *barrel* di mesin ekstruder komersial bisa mencapai 17 MPa (2500 psi) tetapi juga bisa berbeda tergantung panjang *screw* dan bahan yang digunakan. Pada penelitian ini diasumsikan maksimal tekanan yang akan terjadi ialah 10 MPa.

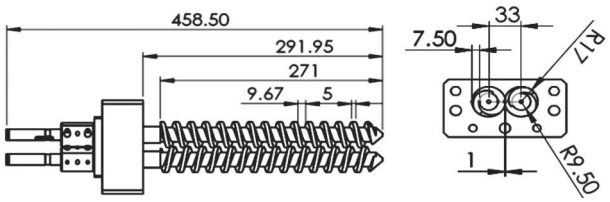
Oleh karena itu bahan yang dipilih berupa baja balok SUS 304 dengan ketebalan 19-20 mm dari silider *screw* sedangkan ukuran panjang dan lebar *barrel* adalah 278 mm dan 200 mm. Detail desain *barrel* bisa dilihat pada gambar 3. *Barrel* didesain menjadi dua bagian yaitu bagian atas dan bawah yang dilengkapi dengan engsel supaya dapat dibuka dengan tujuan agar *screw* mudah dibersihkan.

Dies

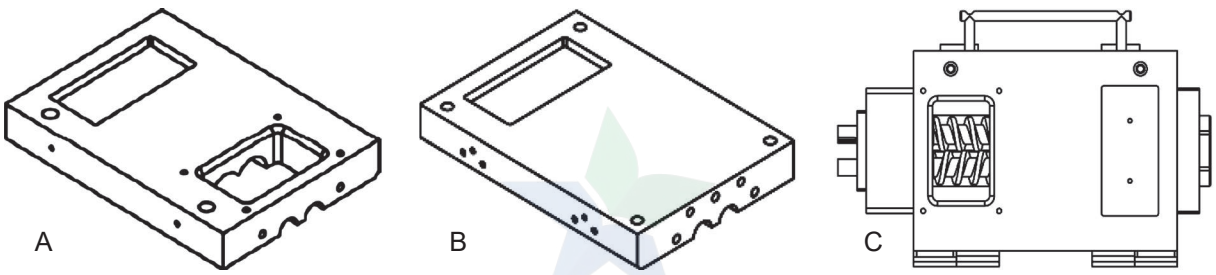
Lubang keluaran atau disebut *Dies* berperan penting dalam membentuk sifat fisik pakan. Saat produk keluar dari *dies*, tekanan dan temperature akan turun dengan tiba-tiba sehingga menyebabkan produk cenderung mengembang. *Dies* dibuat dengan bentuk kerucut, hal ini berujuan agar bahan yang mengalir dari ujung *screw* bisa dengan lancar menuju lubang *dies*. Lubang *dies* memiliki diameter 3 mm dengan jumlah lubang sebanyak 8 buah.

Sistem penggerak

Mesin *twin screw* ekstruder dilengkapi motor sebagai penggerak. Sistem penggerak yang digunakan



Gambar 2. Dimensi *screw*.



Gambar 3. *Barrel* atas (A), *barrel* bawah (B), *barrel* gabungan (C).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

berupa motor listrik 3 phase jenis induksi MA132MA 4 - 7.5 kW-50 Hz-1450 rpm dengan inverter WJ200 7.5 kW sebagai pengatur putaran. Untuk mentransmisikan daya motor penggerak ke *twin screw* digunakan *coupling* dan *gear set* yang menghubungkan antara as motor dengan as *screw*. Kebutuhan energi pada motor sebagai sistem penggerak sangat bervariasi tergantung dari bahan yang diolah serta kondisi proses yang diterapkan. Pada penelitian Senanake & Clarke (1999), menyebutkan bahwa kebutuhan energi motor untuk kapasitas mesin ekstruder *twin screw* 10 kg/ jam adalah 2.2 kW. Sedangkan penelitian Muthukumarappan and Karunanithy (2000) menggunakan Persamaan 2. untuk menghitung kebutuhan energi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kebutuhan daya mesin ekstruder sebesar 6.84 kW kemudian diperhitungkan faktor keselamatan dan ketersediaan motor sehingga diperoleh nilai 7.5 kW.

$$P = \tau\pi^2 D^2 NL \quad (2)$$

Dimana
P = *power* (W)
τ = *shear stress* (N.m^{-2})
D = diameter *screw* (m)
N = *screw speed* (rpm)
L = panjang *screw* (m)

Pemanas dan sensor suhu

Proses pembuatan pakan terapung dibutuhkan proses pemasakan yang optimal. Sehingga dibutuhkan alat yang mampu meningkatkan suhu *barrel* sesuai dengan kebutuhan. Alat tersebut ialah elemen pemanas listrik tipe plat (*heater plate*). Pemanas dipasang pada *barrel* atas dan *barrel* bawah dan diletakkan pada bagian ujung atau di bagian yang dekat dengan *dies*. *Heater plate* yang digunakan mampu menaikkan suhu hingga 200°C.

Sensor suhu untuk zona pemanasan menggunakan jenis *Thermo Couple : Standard Part* – 200°C 2 buah, letak *thermocouple* berada pada *barrel* bagian atas dan bawah dengan jarak 10 mm dari *screw*. Selanjutnya untuk mengatur suhu ditambahkan kontrol temperatur jenis *Autonics*, TCN4M. Gambar keseluruhan mesin ekstruder tersaji pada gambar 4 sebagai berikut.

Metode Pengujian dan Analisis Data

Pengujian

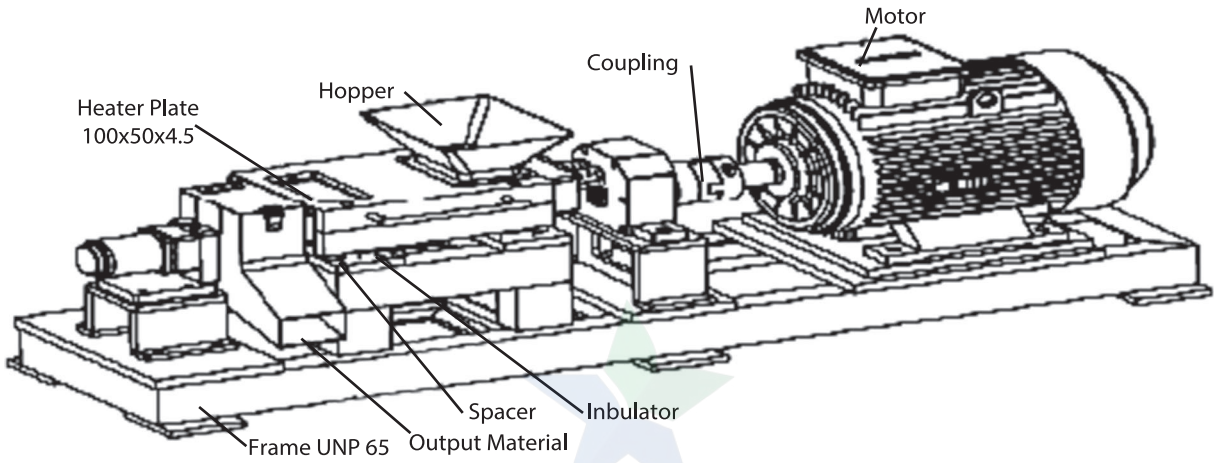
Pengujian mesin ekstruder meliputi pengukuran daya, suhu dan kestabilan putaran *screw* selama proses pembuatan pakan. Pengukuran daya menggunakan persamaan berikut :

$$Daya\ total = 1.73 \times Voltase \times Arus \times cos\theta \quad (3)$$

Jala-jala listrik atau voltase yang dipakai sebesar 220 volt dan arus diukur menggunakan Tang amper yang dicatat setiap menit dan nilai *cosθ* motor sebesar 0.84. Selanjutnya parameter suhu diukur menggunakan thermometer digital dengan *thermocouple* diletakkan didalam *barrel* bagian atas dan bawah berjarak 10 mm dari *screw.* Berikutnya parameter kecepatan *screw* diukur menggunakan alat *Tachometer digital*, bagian atau titik yang diukur putarannya adalah putaran poros motor.

Beban yang digunakan ialah formula pakan yang terdiri dari tepung ikan (38%), bungkil kedelai (22%), tepung jagung (22%) dan tepung tapioka (18%) dengan berat total 5 kg. Kemudian bahan tersebut ditambahkan air sebanyak 25%. Kondisi ekstruder diatur pada suhu 100 ^{o}C dan kecepatan *screw* 600 rpm (20 Hz).

Pengoperasian ekstruder sebagai berikut: sistem kelistrikan ekstruder dinyalakan melalui kontrol panel, kemudian diatur suhu *barrel* atas dan bawah, setelah suhu tercapai putaran *screw* diatur sesuai kebutuhan. Formula pakan yang telah ditambahkan air dan homogen dimasukkan melalui *hopper* lalu diproses dalam *screw* dan dikeluarkan melalui *dies* yang berdiamater 3 mm berjumlah 8 buah. Pakan ikan yang keluar dari lubang dies dalam bentuk padatan langsung dipotong oleh pisau pemotong yang ditempatkan pada permukaan *dies*. Kecepatan putaran pisau pemotong dan kerapatan dengan permukaan *dies* berpengaruh terhadap panjang pendeknya ukuran pellet yang dihasilkan. Oleh karena itu kecepatan putaran pisau



Gambar 4. Mesin ekstruder *twin screw*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pemotong harus disesuaikan dengan kecepatan ekstrusi. Pisau pemotong digerakkan dengan motor DC yang dapat diatur kecepatannya sehingga bisa diperoleh pakan dengan ukuran tertentu. Pakan yang dihasilkan berbentuk bulat dengan diameter 3-4 mm.

Selanjutnya, untuk mengetahui performansi mesin dan kualitas pakan yang dihasilkan dilakukan uji dengan beberapa variasi suhu dan kecepatan putar *screw*. Mesin ekstruder diatur pada suhu *barrel* 80, 90, 100, 110 dan 120°C dan putaran *screw* 480, 540, 600 dan 660 rpm. Setelah suhu *barrel* tercapai sesuai perlakuan tersebut, formula dimasukkan ke ekstruder melalui *hopper*. Pakan yang dihasilkan selanjutnya dikeringkan. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

Parameter yang diamati meliputi unit density (g/cm^3), daya apung (%), kapasitas mesin (kg/jam) dan *specific mechanical energy*/SME (kJ.kg^1). Data yang diperoleh dianalisa menggunakan software Minitab 17. Persamaan untuk perhitungan parameter adalah sebagai berikut:

Unit density. Penentuan unit density berdasarkan Rosentrater *et al* (2009) sebagai berikut 10 butir pakan yang sudah kering masing-masing diukur panjang dan diameternya menggunakan penggaris kaliper lalu ditimbang beratnya menggunakan timbangan digital. Rata-rata berat massa pelet dibagi volume merupakan nilai dari unit density.

$$Unit\ density = \frac{berat\ pelet\ (\mathrm{g})}{volume\ pelet\ (\mathrm{mm^3})} \quad (4)$$

Daya apung. 20 butir pelet dituang kedalam 1000 ml beaker glass berisi 800 ml aquades pada suhu ruang. Jumlah pakan yang masih terapung (NF) selama 30 menit dibandingkan jumlah pelet awal (de Cruz *et al*, 2015). dengan persamaan sebagai berikut :

$$Daya\ apung = \frac{NF}{20} \times 100 \quad (5)$$

Kapasitas mesin. 1 kg bahan pembuat pakan dimasukkan mesin ekstruder kemudian waktu dihitung hingga semua bahan masuk ekstruder. Kemudian semua pelet yang terbentuk ditimbang.

$$Kapasitas\ mesin = \frac{berat\ pelet\ yang\ terbentuk\ (\mathrm{kg})}{waktu\ yang\ dibutuhkan\ (jam)} \quad (6)$$

Spesific Mechanical Energy. SME adalah energi yang dikonsumsi oleh motor per satuan berat bahan. Dalam menghitung SME, harus dihitung dulu data kecepatan putar *screw* (n) dalam rpm, torsi motor (T) dan aliran massa bahan (MFR) dalam Kg/jam. Persamaan yang digunakan menurut Zhang *et al*. 2015 adalah sebagai berikut

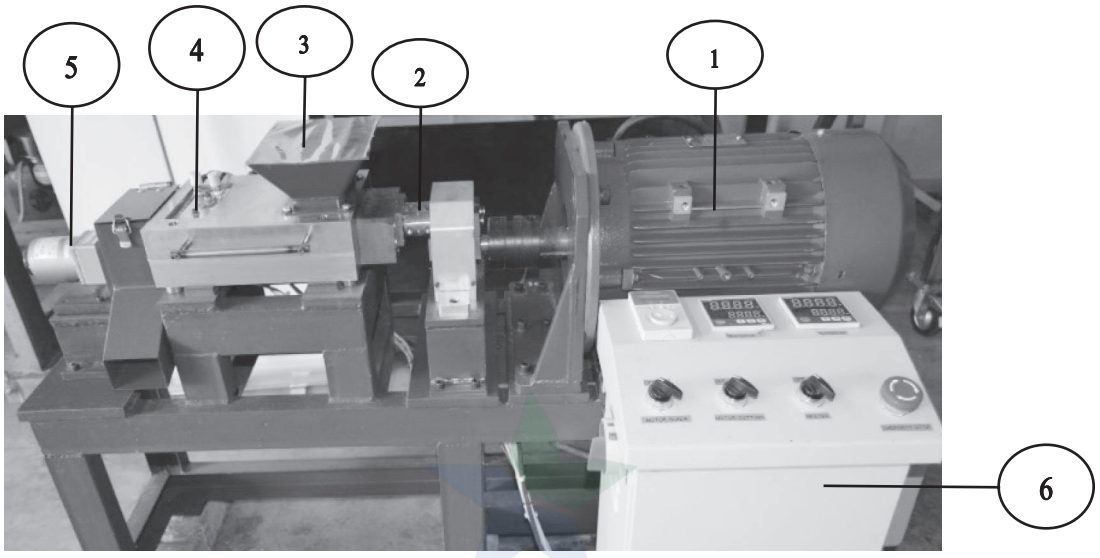
$$SME\left(\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{Kg}}\right) = \frac{2\pi \times n \times T}{MFR} \quad (7)$$

Hasil dan Pembahasan

Konstruksi Ekstruder Hasil Rancangan

Konstruksi ekstruder *twin screw* untuk pembuat pakan ikan terapung telah selesai dikerjakan (Gambar 5). Komponen utama ekstruder terdiri dari motor penggerak (1), *coupling as* motor dan *screw* (2), *hopper (3), barrel screw* elemen pemanas (4), *dies* (5), motor dan pisau pemotong (6) serta kontrol panel (6).

Prinsip kerja mesin ini ialah bahan baku pakan dialirkan melalui *barrel screw* dalam tekanan dan suhu tinggi lalu keluar melalui *dies* dan membentuk pellet dengan diameter 3-4 mm dan perpori. Kapasitas mesin adalah 10.93 kg/jam Jenis *screw* berupa ulir ganda (twin) dengan gerakan *counter rotating* putaran bisa mencapai 700 rpm. Motor penggerak yang digunakan adalah motor AC 7.5 kW. Pemanas yang diletakkan pada ujung *barrel* atas dan bawah mampu menaikkan suhu hingga 200°C.



Gambar 5. Rancangbangun mesin ekstruder *twin screw*.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 2. Performansi mesin ekstruder dan kualitas pakan

Perlakuan		Kapasitas (kg/jam)	SME (KJ.kg^{-1})	Daya Apung (%)	Unit Density (g/cm^3)
Putaran *Screw* (rpm)	480	7.35 ± 0.50 b	234.14 ± 5.52 a	30.00 ± 5.00 c	0.782 ± 0.03 a
	540	9.56 ± 1.18 ab	178.02 ± 2.93 b	50.00 ± 5.00 b	0.752 ± 0.03 ab
	600	10.11 ± 0.43 ab	140.55 ± 3.10 c	95.28 ± 2.93 a	0.620 ± 0.04 b
	660	10.93 ± 1.95 a	136.11 ± 4.48 c	96.00 ± 3.61 a	0.666 ± 0.09 ab
Suhu (°C)	80	8.41 ± 0.28 b	170.62 ± 7.27 bc	92.93 ± 2.30 a	0.674 ± 0.05 a
	90	9.92 ± 0.37 a	165.19 ± 6.58 c	94.45 ± 0.63 ab	0.626 ± 0.16 ab
	100	9.94 ± 0.73 a	166.61 ± 6.58 c	95.28 ± 2.93 ab	0.603 ± 0.06 ab
	110	9.15 ± 0.14 ab	187.20 ± 12.24 b	96.25 ± 3.75 ab	0.589 ± 0.05 ab
	120	9.27 ± 1.24 b	213.01 ± 15.84 a	98.50 ± 1.32 b	0.497 ± 0.04 b

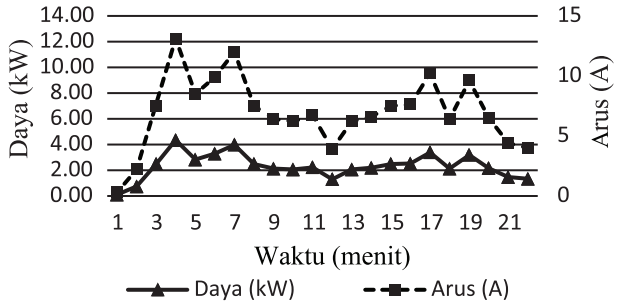
Pengujian

Hasil pengujian besaran daya dan arus listrik selama proses pengoperasian ditampilkan pada Gambar 6. Berdasarkan grafik tersebut nilai rata-rata arus sebesar 6.97 Ampere dan daya 2.31 Kilowatt sedangkan nilai maksimal untuk arus ialah 15.60 Ampere dan daya sebesar 5.17 Kilowatt.

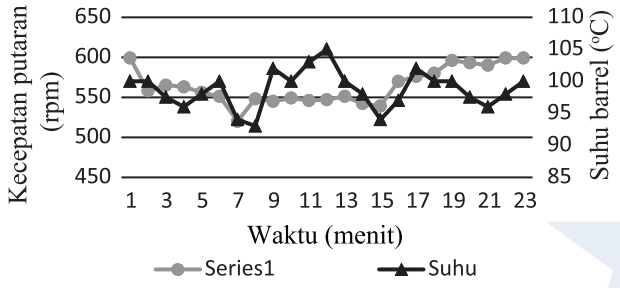
Sedangkan grafik kecepatan putaran *screw* dan suhu ditunjukkan pada Gambar 7. Putaran *screw* diatur pada frekuensi 20 Hz (600 rpm) dan selama proses ekstrusi bahan, putaran *screw* mengalami fluktuasi yaitu maksimal 599 rpm, minimal 520 rpm dan rata-rata 555.24 rpm. Suhu *barrel* tercatat maksimal 98.74°C, minimal 93°C dan rata-rata 98.74 °C.

Performansi mesin dan kualitas pakan

Dari hasil pengujian ekstruder dengan beberapa perlakuan diperoleh nilai kapasitas dan SME mesin serta nilai kualitas pakan meliputi unit density dan daya apung. Detail hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 6. Nilai arus dan daya ekstruder selama proses,



Gambar 7. Kecepatan putaran *screw* dan suhu *barrel* selama proses.

Kapasitas

Kapasitas ekstruder hasil perancangan dalam memproduksi pakan adalah sebesar 7.35 – 10.93 kg/jam. Perubahan kecepatan putaran *screw* menghasilkan nilai kapasitas ekstruder yang berbeda. Semakin cepat atau tinggi putaran *screw* akan diperoleh nilai kapasitas yang semakin besar pula. *Screw* yang berputar lebih cepat akan mendorong bahan menuju *dies* lebih cepat dan akan terjadi sebaliknya. Menurut Wei *et al* (2013), kecepatan putaran *screw* sangat mempengaruhi laju aliran bahan selain juga akan berpengaruh pada tingkat homogenitas bahan. Putaran *screw* yang lebih tinggi akan menghasilkan laju aliran bahan yang semakin besar.

Pada perlakuan suhu *barrel* yang berbeda, kapasitas tertinggi dihasilkan pada suhu *barrel* 100°C yaitu 9.94 Kg/jam. Pola kapasitas yang dihasilkan ialah pada suhu 80°C kapasitasnya hanya sebesar 8.41 Kg/jam, kemudian kapasitas naik hingga pada suhu 100°C dan mulai turun kembali pada suhu 110 dan 120°C. Dalam suhu *barrel* dibawah 90°C bahan pakan yang diolah belum mengalami proses gelatinisasi sempurna. Bahan yang mengalami gelatinisasi sempurna akan bersifat licin karena amilosa dalam pati meleleh dan membentuk larutan/cairan kental sebelum menjadi gel. Cairan inilah yang menyebabkan bahan mudah terdorong ke *dies*. Namun bila panas semakin tinggi (110°C) sebagian bahan akan mengalami matang berlebih dan mengeras sehingga gesekan bahan dengan *barrel* menjadi besar akibatnya bahan akan lambat terdorong menuju *dies*. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Ji *et al* (2017) tentang pengaruh tekanan dan suhu terhadap derajat gelatinisasi senyawa pati. Disebutkan bahwa molekul pati pada proses gelatinisasi mulai meleleh pada suhu 80°C kemudian berlanjut hingga suhu 100°C setelah itu cairan kental dari pati tersebut akan semakin mengeras karena suhu yang semakin tinggi akan menyebabkan air bebas dalam larutan/cairan menguap.

SME

Berdasarkan data pada Tabel 2. Nilai SME ekstruder cenderung turun dengan meningkatnya kecepatan putar *screw*. Menurut Zhang *et al* (2015) SME ektruder dipengaruhi oleh konfigurasi *screw*, putaran *screw*, torsi motor dan laju aliran bahan / kapasitas.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

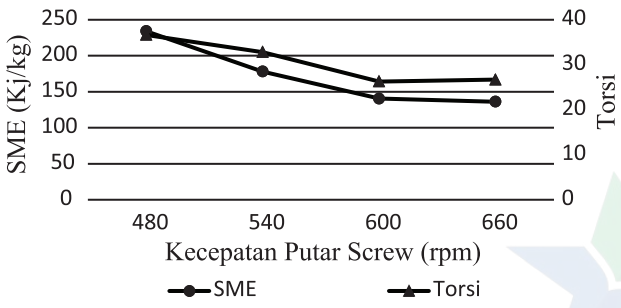
Dalam penelitian ini putaran *screw* tidak memberikan pengaruh besar dibandingkan dengan perubahan kapasitas, sehingga putaran *screw* yang tinggi dengan nilai kapasitas yang tinggi akan menurunkan nilai SME. Hal ini juga disebabkan akibat nilai torsi yang kecil ketika putaran *screw* tinggi sehingga nilai SME menjadi kecil (Gambar 8).

Perbedaan suhu *barrel* mempengaruhi nilai SME mesin ekstruder. Pada perlakuan suhu 80, 90 dan 100°C, nilai SME-nya tidak berbeda nyata dengan nilai 170.62 - 166.61 KJ.Kg^{-1}. Kemudian SME naik pada perlakuan suhu 110 dan 120°C dengan nilai sebesar 187.20 dan 213.01 KJ.Kg^{-1}. Tren tersebut dipengaruhi oleh perubahan suhu *barrel* yang berimbas pada kapasitas lalu menyebabkan perubahan nilai SME. Suhu yang terlalu tinggi mengakibatkan kapasitas rendah sehingga SME naik.

Daya apung

Parameter utama kualitas pakan yang diamati dalam penelitian ini adalah daya apung. Dalam proses ekstrusi bahan mengalami pemanasan, pengadukan dan tekanan yang tinggi sehingga pada saat keluar dari *dies* bahan akan mengembang akibat adanya perubahan tekanan dan suhu yang tiba-tiba. Uap air diantara matrik penyusun pakan akan menguap dan membentuk pori-pori dalam matrik sel yang ditinggalkan (Ayadi *et al*, 2011). Pori-pori inilah yang menyebabkan pakan bisa mengapung dalam air. Berdasarkan data pada Tabel 2. Perlakuan perbedaan kecepatan putaran *screw* berpengaruh nyata pada daya apung. Daya apung tertinggi pada perlakuan putaran 660 rpm (96.00 ± 3.61%) dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan 600 rpm (95.28 ± 2.93%). Hal ini disebabkan karena pada putaran yang tinggi menghasilkan tekanan yang lebih tinggi (Emin *et al*, 2016). Tekanan tersebut menyebabkan bahan bisa mengembang maksimal saat melewati *dies*. Putaran *screw* yang tinggi menyebabkan tekanan dalam *screw* meningkat yang menyebabkan bahan akan mengembang dan membetuk pori saat keluar dies (Wei *et al*, 2013).

Peningkatan suhu dalam ekstruder menyebabkan peningkatan daya apung. Daya apung terendah pada perlakuan suhu 80°C yaitu 92.93 ± 2.30 (%) sedangkan tertinggi pada perlakuan suhu 120°C yaitu 98.50 ± 1.32 (%). Menurut Kamarudin *et al* (2018), pakan ikan terapung karena terbentuknya porositas akibat tekanan dan suhu yang tinggi saat proses dan ukuran pori akan semakin besar jika suhu dinaikkan.



Gambar 8. Hubungan kecepatan putar screw, torsi dan SME.

Unit density

Unit density pakan yang dihasilkan ialah 0.620 ± 0.04 - 0.782 ± 0.03 (g/cm^3). Pada kecepatan *screw* yang lebih tinggi akan menghasilkan unit density pakan yang lebih rendah. Putaran *screw* yang cepat menghasilkan pakan dengan pori lebih besar karena bahan mampu mengembang lebih besar. Hal ini akibat tekanan yang lebih kuat dibandingkan tekanan pada putaran *screw* yang rendah dalam proses ekstrusi. Hasilnya berat jenis pakan yang didapatkan menjadi lebih kecil. Hasil serupa juga disampaikan oleh Rosentrater *et al* (2009) bahwa peningkatan kecepatan *screw* akan menurunkan *unit density*.

Kenaikan suhu pada ujung *screw* menyebabkan penurunan unit density pakan. *Unit density* terendah pada perlakuan suhu 120°C yaitu 0.497 ± 0.04 (g/cm^3) dan berbeda signifikan dengan *unit density* terendah pada perlakuan suhu 80°C yaitu 0.674 ± 0.05 (g/cm^3). De cruz *et al* (2015) mengemukakan bahwa peningkatan suhu dari 125 - 175°C pada ujung *screw* ekstruder menyebabkan penurunan *density* pakan ikan. Demikian juga disebutkan oleh Gonzales *et al* (2013) bahwa peningkatan suhu hingga 182.8°C akan meningkatkan derajat pemasakan yang memhasilkan produk dengan *density* rendah.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pakan ikan terapung bisa diproduksi menggunakan mesin ekstruder *twin screw*. Dengan komponen utama terdiri dari motor penggerak, *twin screw*, *barrel*, elemen pemanas, *dies* dan pemotong.
2. Dalam produksi pakan, kebutuhan daya maksimal sebesar 5.17 kW, kecepatan putar *screw* optimal 600 rpm, suhu *barrel* optimal 100°C, kapasitas terendah 7.35 kg/jam dan tertinggi 10.93 kg/jam, SME terendah 136.11 kJ.kg^{-1} dan tertinggi 234.14 kJ.kg^{-1}.
3. Pakan ikan yang dihasilkan memiliki daya apung terendah 30.00% dan tertinggi 98.50%, *unit density* 0.497 - 0.782 g/cm^3.

Daftar Pustaka

Adekola, K.A. 2016. Engineering Review Food Extrusion Technology and Its Applications. Journal of Food Science and Engineering. Vol 6:149-168.

Ayadi, F.Y., K.A. Rosentrater., K. Muthukumarappan., M.L. Brown. 2011. Twin-screw extrusion processing of distillers dried grains with solubles (DDGS)-based Yellow Perch (*Perca flavescens*) Feeds. Food Bioprocess Technol. Vol 5: 1963–1978.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Budijanto, S., A.B. Sitanggang., H. Wiaranti., B. Koesbiantoro. 2012. Pengembangan Teknologi Sereal Sarapan Bekatul dengan Menggunakan Twin Screw Extruder. J. Pascapanen. Vol 9(2): 63 – 69.

De Cruz, C.R., M.S. Kamarudin., C.R. Saad., E.R. Fard. 2015. Effects of extruder die temperature on the physical properties of extruded fish pellets containing taro and broken rice starch. Anim. Feed Sci. Technol. Vol 199: 137–145.

Draganovica, V., A.J. Goot., R. Boom., J. Jonkers. 2011. Assessment of the effects of fish meal, wheat gluten, soy protein concentrate and feed moisture on extruder system parameters and the technical quality of fish feed. Animal Feed Science and Technology. Vol 165: 238–250.

DJPB (Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya). 2015. Gerpari untuk Indonesia Mandiri. Buletin Akuakultur Indonesia. No 13 (2).

Emin, M.A., T. Teumer., W. Schmitt., M. Radle., H.P. Schuchmann. 2016. Measurement of the true melt temperature in a twin-screw extrusión processing of starch based matrices via infrared sensor. Journal of Food Engineering. Vol 170: 119-124.

Evon, P.H., V. Vandenbossche., P.Y. Pontalier., L. Rigal. 2009. Aqueous extraction of residual oil from sunflower press cake using a twin-screw extruder: Feasibility study. Industrial Crops and Products. Vol 29: 455–465.

Gonzales, R.J., E.P. Cavada., V.J. Pena., R.L. Torres., M.D. De Greef., S.R. Drago. 2013. Extrusion conditions and amylose content affect physicochemical properties of extrudates obtained from brown rice grain. International Journal Food Science. Vol 58:41-48.

Gunadi, B., R. Febrianti., Lamanto. 2010. Keragaan Kecernaan Pakan Tenggelam dan Terapung untuk Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) dengan dan Tanpa Aerasi. Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakulture.

Harold, F.G. Jr., Jr. R.W. John., M. M. Eldridge. 2005. Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook. William Andrew Publishing. Norwich. New York. USA

Harper, J.M. 1979. Food extrusion. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 11, 155–215.

Ji, Z., L.Yu., H. Liu., X. Bao., Y. Wang., L. Chen. 2017. Effect of pressure with shear stress on gelatinization of starches with different amylose/amylopectin ratios. Food Hydrocolloids. Vol 72: 331-337

Kamarudin, M.S., C.R. de Cruz., C.R. Saad, N. Romano., E.R. Fard. 2018. Effects of extruder die head temperature and pre-gelatinized taro and broken rice flour level on physical properties of floating fish pellets. Animal Feed Science and Technology, 236: 122–130

Kurniawan, A., R.A. Lestariadi. 2017. Induction Of Fish Pellet Making Machine To Improve Feed Community Program In Catfish Farmers In Mojokerto Regency. Journal of Innovation and Applied Technology. Vol 3 (01): 433-438.

Philipp, C., I. Oey., P. Silcock., S.M. Beck., R. Buckow. 2017. Impact of protein content on physical and microstructural properties of extruded rice starch-pea protein snacks. Journal of Food Engineering. Vol 212: 165-173.

Purwasasmita, B.S dan P. H. Roland. 2008. Sintesa, karakterisasi dan fabrikasi material berpori untuk aplikasi pelet apung (*Floating Feed*). Jurnal Bionatura. Vol 10 (1): 13-28.

Rosentrater, K.A., K. Muthukumarappan, S. Kannadhason. 2009. Effects of ingredients and extrusion parameters on aquafeeds containing DDGS and potato starch. Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition. Vol 1(1): 22-38.

Samuelsen, T.A., A. Oterhals., K. Kousoulaki. 2018. High lipid microalgae (*Schizochytrium sp.*) inclusion as a sustainable source of n-3 long-chain PUFA in fish feed—Effects on the extrusion process and physical pellet quality. Animal Feed Science and Technology. Vol 236: 14–28.

Senanayake, S.A.M.A.N.S., Clarke, B. 1999. A simplified twin screw co-rotating food extruder: design, fabrication and testing. Journal of Food Engineering. Vol 40: 129-137.

Wei, J., Q. Sun., X. Sun., W. Sun. 2013. A Study on Rotor Profiles Design for a Novel Twin screw Kneader. International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing. Vol 14(3): 451-459.

Yaqoob, M., M.R. Ali., S. Mehmood. 2010. Comparison of Growth Performance of Major and Chinese Carps Fed on Floating and Sinking Pelleted Supplementary Feeds in Ponds. Pakistan Journal Zoologi. Vol 42(6): 765-769.

Zhang, B., Y. Zhang., J. Dreisoerner., Y. Wei. 2015. The effects of screw configuration on the screw fill degree and special mechanical energy in twin-screw extruder for high-moisture texturised defatted soybean meal. Journal of Food Engineering. Vol 157: 77–83.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JTEP Jurnal Keteknikan Pertanian, Agustus 2019
Vol. 7 No. 2, p 137-144
P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439
Tersedia online OJS pada
http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep
DOI: 10.19028/jtep.07.2.137-144

Review

Energi Terbarukan dari Jerami Padi : Review Potensi dan Tantangan Bagi Indonesia

Renewable Energy from Rice Straw: Review on Pontential and Challenges for Indonesia

Agus Haryanto, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.
Email: agus.haryanto@fp.unila.ac.id
Siti Suharyatun, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.
Email: ti_suharyatun@yahoo.com
Winda Rahmawati, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.
Email: windarahmawati89@gmail.com
Sugeng Triyono, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.
Email: striyono2001@yahoo.com

Abstract

Straw is a waste produced from the threshing and harvesting of rice. So far, rice straw has only been removed. In fact, it can be used as a potential energy source. This paper aims to examine the potential of rice straw as a renewable energy source in Indonesia. Opportunities and challenges were evaluated based on extensive and in-depth literature review. The paper discussed rice straw potential, its characteristics and benefits of using straw energy, and convertion technology. Results showed that renewable energy potential of rice straw is 693 PJ/year. Conversion technologies include densification, combustion, gasification, pyrolysis, fermentation, and biogas. The biggest challenge for using rice straw energy is collection and transportation. Straw characteristics also need to be improved to increase its combustion properties. Combustion, densification, and biogas are applicable technologies to convert rice straw to energy.

Keywords: *combustion, biogas, gasification, transportation, alkali metals.*

Abstrak

Jerami merupakan limbah dari proses perontokan dan pemanenan padi. Selama ini jerami padi hanya dibuang, padahal, bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi yang potensial. Makalah ini bertujuan membahas potensi jerami padi sebagai sumber energi terbarukan Indonesia. Peluang dan tantangan dikaji berdasarkan studi literatur secara ekstensif dan mendalam. Makalah berisi perhitungan potensi jerami padi, karakteristik, keuntungan energi jerami, dan teknologi konversi. Hasil pengkajian menunjukkan potensi energi terbarukan dari jerami 693 PJ/tahun. Teknologi konversi jerami meliputi densifikasi, pembakaran, gasifikasi, pirolisis, fermentasi dan biogas. Tantangan terbesar pemanfaatan jerami padi adalah pengumpulan dan transportasi. Karakteristik intrinsik jerami juga perlu diperbaiki untuk mengurangi kandungan logam dan meningkatkan sifat pembakarannya. Pembakaran langsung, densifikasi, dan biogas adalah teknologi mengkonversi jerami padi yang sudah diaplikasikan.

Kata Kunci: pembakaran, biogas, gasifikasi, transprtasi, logam alkali.

Diterima: 29 Januari 2019; Disetujui: 11 April 2019

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara penghasil padi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan terbesar ketiga di dunia (Abraham *et al*., 2016), sehingga budidaya padi dan rantai prosesnya memiliki posisi penting. Hal ini dapat dilihat dari sumbangannya yang mencapai 21% dari total produksi sektor pertanian nasional (Samuel, 2013). Dengan luas panen mencapai 15.712 juta ha, produksi padi Indonesia mencapai 81.149 juta ton gabah kering giling (BPS, 2018). Proses produksi beras menghasilkan produk samping berupa jerami, kulit, dan bekatul. Jerami padi meliputi bagian yang tertinggal pada saat panen dan setelah gabah dirontokkan (merang), dan merupakan *komponen* yang paling besar. Produksi jerami kering berkisar 2.3 ton/ha (Djajanegara dan Rangkuti, 1983) hingga 3.86 ton/ha (Marsetyo, 2008). Pada angka produksi jerami padi rata-rata 3.08 ton/ha dan luas panen padi tahun 2018 seluas 15.712 juta ha (BPS, 2018), maka total potensi jerami padi Indonesia adalah 48.39 juta ton bahan kering per tahun. Dengan nilai kalori rata-rata 14.32 GJ/ton, maka potensi energi jerami padi adalah 693 PJ/tahun, setara 19.25 juta kiloliter solar. Potensi jerami padi ini diperkirakan meningkat dengan laju 3.1%/tahun (Makhrani, 2014).

Jerami padi bisa menjadi sumber energi alternatif menggantikan energi fosil sehingga mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) serta menghindari polusi lokal akibat pembakaran terbuka. Jerami padi menarik karena dapat diperbaharui dan dianggap netral karbon dioksida. Tetapi, jerami padi memiliki sifat intrinsik yang kurang baik sebagai bahan bakar. Selain itu, jerami padi tercecer di lahan mengakibatkan biaya koleksi yang mahal. Berat jenis yang rendah juga mengakibatkan transportasi jerami padi ke lokasi pengguna menjadi mahal. Makalah ini bertujuan untuk menyajikan hasil ulasan (*review*) mendalam mengenai potensi dan tantangan jerami padi sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia.

Sifat Jerami Padi

Sebagai biomassa lignoselulosik, jerami tersusun atas tiga komponen, yaitu: lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Hal ini membuka peluang bagi pemanfaatan jerami sebagai sumber energi melalui berbagai rute konversi. Jerami memiliki massa jenis yang rendah, yaitu 70–80 kg/m^3 pada kadar air 15–18%. Tabel 1 memberikan sifat dan komposisi beberapa jenis jerami. Dua hal yang menyolok dari jerami padi dibandingkan jerami lain adalah kadar abu yang tinggi (hingga 22.1%) dan nilai kalori (HHV) yang rendah (kurang dari 15 MJ/kg). Efek negatif dari kandungan abu yang tinggi dan komposisi mineralnya akan dibahas lebih rinci di bagian selanjutnya.

Teknologi Konversi Energi Jerami

Jerami padi dapat digunakan sebagai sumber energi untuk menghasilkan bahan bakar, panas, atau listrik melalui proses-proses termal-kimia, fisika, atau biologi (Gambar 1). Hingga saat ini konversi termal jerami padi yang paling umum adalah pembakaran langsung terbuka di lahan. Samuel (2013) menyatakan bahwa 61% dari potensi jerami dibakar di lahan. Alasan utama pembakaran jerami padi adalah murah dan kurangnya tenaga kerja. Pembakaran juga dipicu oleh aplikasi mesin pemanen *combine* yang mengakibatkan jerami berceceran dan sulit dikumpulkan. Pembakaran jerami dapat membantu mengendalikan gulma, hama dan penyakit. Efek negatif pembakaran meliputi kehilangan unsur hara, penipisan bahan organik tanah, dan pengurangan biota tanah (Mandal *et al*., 2004). Jerami yang terbakar di lahan juga menyebabkan emisi gas rumah kaca (GRK) dan polutan seperti CH_4, SO_2, NO_x, HCl, dioksin, dan furan (Jenkins *et al*., 2003) hingga debu kasar (PM10) dan debu halus (PM2.5) (Chang *et al*., 2013), yang mempengaruhi kualitas udara regional.

Densifikasi

Keterbatasan utama jerami padi adalah kerapatan curah yang rendah (antara 80–100 kg/m^3) sehingga menyulitkan penanganan, penyimpanan, dan transportasi. Densifikasi dapat menghasilkan bahan bakar yang homogen dan densitas hingga 10 kali sehingga menurunkan biaya transportasi serta ruang penyimpanan (Tumuluru *et al*., 2011). Densifikasi menghasilkan dua jenis produk, yaitu pelet dan briket (Gambar 2). Pelet berbentuk silinder dengan diameter 6-12 mm, panjang <10 cm, densitas satuan 1000–1400 kg/m^3 dan densitas kamba sekitar 700 kg/m^3 (Stelte *et al*., 2011). Pelet dapat digunakan untuk aplikasi rumah tangga maupun industri (*boiler*). Untuk menghasilkan pelet, jerami padi digiling menjadi partikel halus lalu dipres dengan tekanan tinggi (> 50 MPa). Tekanan sangat menentukan kualitas pelet, tetapi di atas 200 MPa tidak berpengaruh signifikan terhadap densitas pelet (Stelte *et al*., 2011). Ukuran partikel jerami mempengaruhi tekanan kerja (makin kecil partikel, makin besar tekanan). Pelet dibuat dengan menambahkan uap tanpa perekat. Pelet yang berkualitas dibuat dengan suhu 60–80ºC dan kadar air bahan 13–20% (Ishii 2014). Jika jerami terlalu kering, permukaan pelet bisa menjadi arang dan terbakar sebelum proses selesai. Jika terlalu basah, uap air tidak bisa lepas pada saat pengepresan sehingga menghasilkan pelet yang lemah secara mekanis. Pengembangan pelet jerami padi menarik secara komersial, meningkatkan nilai tambah rantai proses padi, dan dapat membuka kesempatan kerja di wilayah pedesaan.

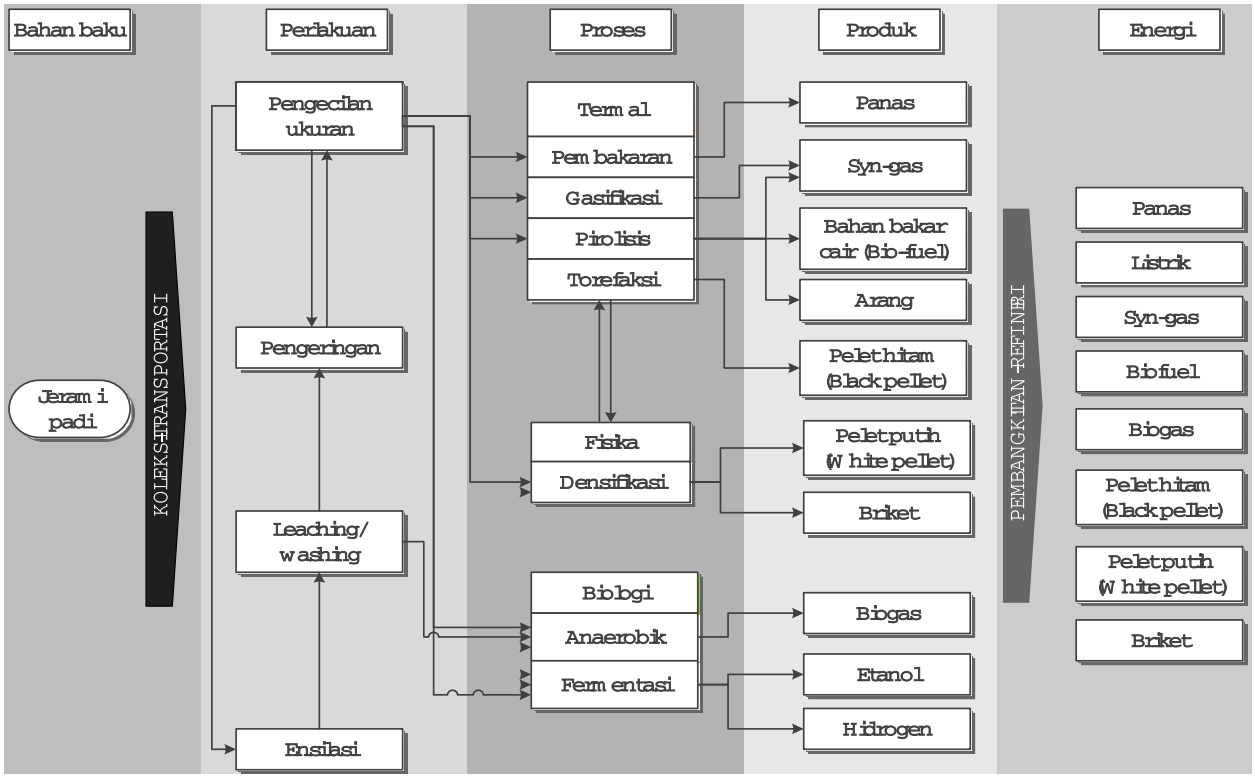
Briket berbentuk silinder atau balok dengan ukuran 60-100 mm dan panjang 60-150 mm. Briket dipakai untuk bahan bakar boiler dan kurang sesuai

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

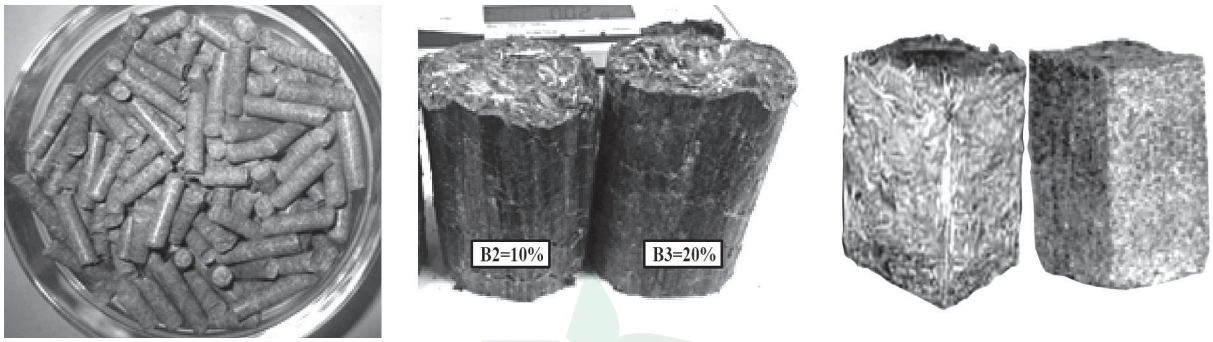
Table 1. Sifat-sifat jerami padi dan bahan sejenisnya.

Jenis Jerami	Uji Proksimat (%, bk)			Uji Ultima (%, bk)			Komposisi Ab (%, abu)			HHV (MJ/kg)	Ref.
	Fix C	Abu	C	H	N	O	Si	Na	K		
Padi	17.82	20.15	49.15	6.23	1.59	42.13	80.68	0.74	5.72	14.74	*
Padi	15.86	18.67	38.24	5.20	0.87	36.84	74.67	0.96	12.30	15.08	**
Gandum (*wheat*)	14.87	3.89	47.55	5.86	0.59	42.02	55.32	1.51	12.90	18.38	**
Gandum (*oat*)	14.55	8.20	50.58	6.16	0.53	46.23	31.43	0.55	22.37	18.94	*
Alfalfa (rumput)	15.81	5.27	47.17	5.99	2.68	38.69	5.79	1.10	28.10	18.66	**
Miscanthus	12.55	3.05	47.29	5.75	0.33	43.52	61.84	0.33	11.60	18.72	**
Switchgraas	14.34	8.97	46.68	5.82	0.77	37.57	65.18	0.58	11.60	18.06	**
Jerami jagung	14.83	5.06	49.31	6.04	0.70	43.56	54.04	0.15	20.67	19.06	*
Bagas tebu	11.95	2.44	48.64	5.87	0.14	38.39	46.61	0.79	4.15	18.99	**

Keterangan: *) https://phyllis.nl ; **) Jenkins *et al*. (1998)



Gambar 1. Potensi proses konversi energi jerami padi (adaptasi dari IRRI, 2018).



(a) (b) (c)

Gambar 2. Bahan bakar padat dari jerami: (a) pelet (Said *et al*., 2015), (b) briket silinder (Gill *et al*., 2017), (c) briket balok (Chou *et al*., 2009).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

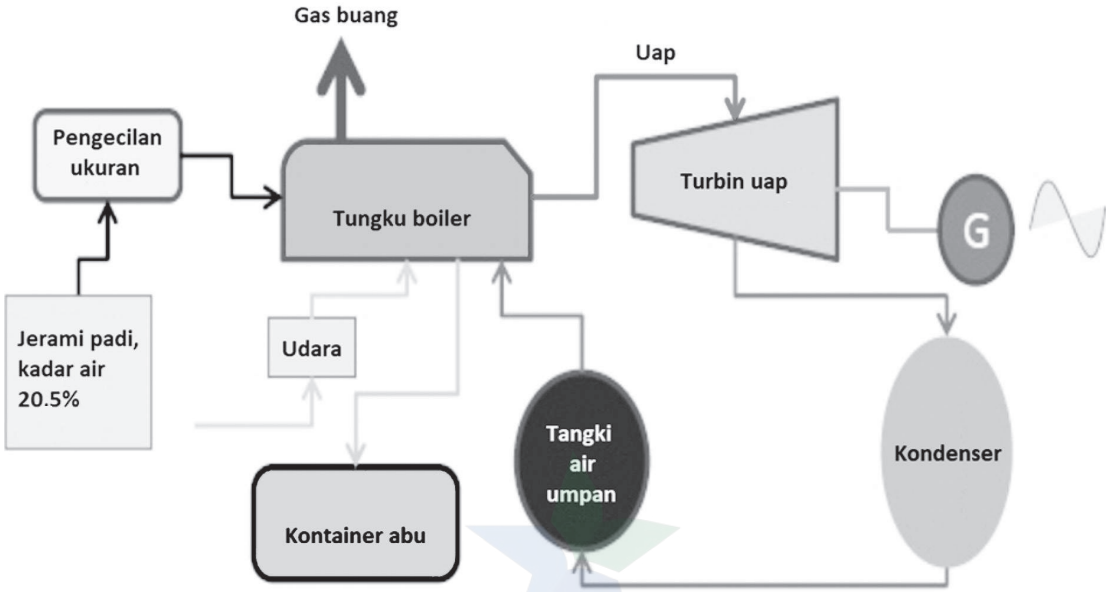
untuk aplikasi rumah tangga. Untuk menghasilkan briket, jerami cukup dipotong-potong lalu dipres dengan mesin kempa. Briket yang baik dihasilkan dari tekanan kerja sekitar 30 MPa (Singh and Singh, 1982). Kondisi optimum pembuatan briket jerami adalah kadar air bahan 12–14%, ukuran partikel 14–16 mm, dan perekat 20%. Pada kapasitas 1200 kg/jam, pembuatan briket memerlukan daya minimum (36.60 kW) dan menghasilkan briket dengan densitas tinggi (1030.38–1159.22 kg/m^3) dan nilai kalori tinggi (15.61 MJ/kg) (Gill *et al*., 2017). Jenkins *et al*. (2000) mencatat konsumsi energi pada proses densifikasi dan penggilingan jerami padi berturut-turut mencapai 16 kWh/ton atau 2% dan 30 kWh/ton atau 4% dari daya yang dihasilkan pembangkit listrik jerami padi. Briket jerami untuk bahan bakar pembangkit listrik di daerah terpencil atau untuk mengoperasikan mesin penggiling gabah lebih berpeluang untuk dikembangkan karena tidak memerlukan energi untuk penggilingan dan biaya transportasi dapat ditekan.

Pembakaran Langsung

Jerami masih digunakan sebagai sumber bahan bakar bagi masyarakat di berbagai negara dan mencakup 14% dari konsumsi energi total di dunia (Matsumura *et al*., 2005). Pembakaran langsung merupakan proses termal yang paling banyak dipilih untuk keperluan industri kecil (pembakaran batubara, genteng) hingga pengoperasian turbin uap skala kecil. Pemanfaatan jerami untuk bahan bakar pembangkit dapat mengatasi masalah kelangkaan listrik di Indonesia (Makhrani, 2014). Pembakaran langsung merupakan teknologi pembangkit listrik dari jerami yang paling menjanjikan (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010).

Sistem pembangkit listrik dengan pembakaran langsung merupakan cara yang paling sederhana dan paling tua untuk membangkitkan listrik dari biomasa. Sistem pembangkit listrik jerami (Gambar 3) terdiri dari komponen unit pengelolaan jerami (penyimpanan, pengecilan ukuran), tungku, boiler, kondenser, tangki air umpan, dan kontainer abu (Abdelhady *et al*., 2014). Dalam pembangkit ini jerami dibakar di dalam tungku dan memanaskan boiler untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Bal jerami dikirim dari bin penyimpanan dan diumpankan ke tungku boiler. Di dalam boiler, sebagian jerami dibakar di atas sarangan (*grate*) dan sebagian lainnya tertunda dan terbakar di dalam tungku. Uap bersuhu dan bertekanan tinggi yang dihasilkan boiler memutar turbin yang dihubungkan dengan generator. Ketika turbin berputar maka generator juga berputar sehingga menghasilkan listrik yang kemudian ditransmisikan ke jaringan.

Pembangkit listrik berbahan bakar jerami padi berpotensi menurunkan emisi GRK sebesar 1.79 kg CO_2-eq/kWh jika dibandingkan dengan pembangkit batubara, dan 1.05 kg CO_2-eq/kWh jika dibandingkan dengan pembangkit gas alam (Shafie *et al*., 2014). Di India, Soam *et al*. (2017) menyimpulkan tiap ton jerami padi kering yang dipakai untuk membangkitkan listrik dapat mereduksi emisi GRK 1.47 ton CO_2-eq. Tetapi, Jenkins *et al*. (2000) mencatat bahwa pencampuran jerami padi sebanyak 20% pada pembangkit listrik berbahan bakar kayu justru meningkatkan biaya bahan bakar sebesar 25% (dari $20 menjadi $24.80 per ton). Studi di Thailand juga menunjukkan biaya bahan bakar pembangkit listrik jerami (0.38–0.61 Baht/MJ) belum kompetitif dibandingkan dengan batubara (0.30 Baht/MJ), tetapi masih sebanding dengan biomassa lain (0.35–0.53 Baht/MJ) (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010). Untuk *boiler* industri, pemanfaatan jerami lebih kompetitif dan fleksibel dengan dua opsi, yaitu (1) menginstal *boiler* khusus berbahan bakar jerami; atau (2) jika memakai boiler batubara, maka penggantian bahan bakar dari batubara ke jerami akan memberikan penghematan biaya penyediaan bahan bakar sebesar 0.01 Baht/MJ panas. Berdasarkan hal ini, pembangkit listrik tenaga jerami perlu diupayakan



Gambar 3. Komponen sistem pembangkit listrik pembakaran langsung berbahan bakar jerami (Abdelhady *et al*., 2014).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

terutama untuk masyarakat yang tidak terjangkau PLN atau untuk mengoperasikan pabrik penggiling padi sehingga dapat mengurangi konsumsi listrik konvensional.

Pembakaran Langsung

Jerami masih digunakan sebagai sumber bahan bakar bagi masyarakat di berbagai negara dan mencakup 14% dari konsumsi energi total di dunia (Matsumura *et al*., 2005). Pembakaran langsung merupakan proses termal yang paling banyak dipilih untuk keperluan industri kecil (pembakaran batubara, genteng) hingga pengoperasian turbin uap skala kecil. Pemanfaatan jerami untuk bahan bakar pembangkit dapat mengatasi masalah kelangkaan listrik di Indonesia (Makhrani, 2014). Pembakaran langsung merupakan teknologi pembangkit listrik dari jerami yang paling menjanjikan (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010).

Sistem pembangkit listrik dengan pembakaran langsung merupakan cara yang paling sederhana dan paling tua untuk membangkitkan listrik dari biomasa. Sistem pembangkit listrik jerami (Gambar 3) terdiri dari komponen unit pengelolaan jerami (penyimpanan, pengecilan ukuran), tungku, boiler, kondenser, tangki air umpan, dan kontainer abu (Abdelhady *et al*., 2014). Dalam pembangkit ini jerami dibakar di dalam tungku dan memanaskan boiler untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Bal jerami dikirim dari bin penyimpanan dan diumpankan ke tungku boiler. Di dalam boiler, sebagian jerami dibakar di atas sarangan (*grate*) dan sebagian lainnya tertunda dan terbakar di dalam tungku. Uap bersuhu dan bertekanan tinggi yang dihasilkan boiler memutar turbin yang dihubungkan dengan generator. Ketika turbin berputar maka generator juga berputar sehingga menghasilkan listrik yang kemudian ditransmisikan ke jaringan.

Pembangkit listrik berbahan bakar jerami padi berpotensi menurunkan emisi GRK sebesar 1.79 kg CO_2-eq/kWh jika dibandingkan dengan pembangkit batubara, dan 1.05 kg CO_2-eq/kWh jika dibandingkan dengan pembangkit gas alam (Shafie *et al*., 2014). Di India, Soam *et al*. (2017) menyimpulkan tiap ton jerami padi kering yang dipakai untuk membangkitkan listrik dapat mereduksi emisi GRK 1.47 ton CO_2-eq. Tetapi, Jenkins *et al*. (2000) mencatat bahwa pencampuran jerami padi sebanyak 20% pada pembangkit listrik berbahan bakar kayu justru meningkatkan biaya bahan bakar sebesar 25% (dari $20 menjadi $24.80 per ton). Studi di Thailand juga menunjukkan biaya bahan bakar pembangkit listrik jerami (0.38–0.61 Baht/MJ) belum kompetitif dibandingkan dengan batubara (0.30 Baht/MJ), tetapi masih sebanding dengan biomassa lain (0.35–0.53 Baht/MJ) (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010). Untuk *boiler* industri, pemanfaatan jerami lebih kompetitif dan fleksibel dengan dua opsi, yaitu (1) menginstal *boiler* khusus berbahan bakar jerami; atau (2) jika memakai boiler batubara, maka penggantian bahan bakar dari batubara ke jerami akan memberikan penghematan biaya penyediaan bahan bakar sebesar 0.01 Baht/MJ panas. Berdasarkan hal ini, pembangkit listrik tenaga jerami perlu diupayakan terutama untuk masyarakat yang tidak terjangkau PLN atau untuk mengoperasikan pabrik penggiling padi sehingga dapat mengurangi konsumsi listrik konvensional.

Gasifikasi Jerami

Gasifikasi merupakan teknologi konversi energi jerami yang menjanjikan untuk menghasilkan daya listrik atau panas (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010). Gasifikasi adalah proses termokimia dimana biomassa dikonversi menjadi syngas yang terdiri dari CO, H_2, CH_4, dan sedikit gas lain. Syngas dapat digunakan sebagai bahan bakar maupun feedstock industri. Gasifikasi jerami dapat mengurangi polusi dan memperbaiki kualitas udara rumah tangga. Delivand *et al*. (2011) menyimpulkan gasifikasi kapasitas pembangkit 8-10 MW lebih praktis dan memenuhi kriteria keekonomian. Studi di Pakistan menyimpulkan gasifikasi biomassa layak diimplementasikan di wilayah pedesaan dengan populasi sekitar 200 keluarga atau untuk industri kecil (Khan, 2015). Sistem pembangkitan listrik jerami dapat ditingkatkan efisiensinya hingga 43% dengan mengintegrasikan semua komponen sistem, yaitu torefaksi, gasifikasi, pembersihan gas, dan pembangkit siklus kombinasi (Darmawan *et al*., 2017).

Sistem gasifikasi *fluidized bed* sesuai untuk jerami padi, tetapi sistem ini terkendala karena tidak bisa bekerja pada skala kecil. Sistem gasifikasi *downdraft* atau *updraft* skala kecil dengan pelet atau briket jerami dapat dikembangkan di pedesaan atau untuk menjalankan penggilingan padi. Tetapi, aplikasi gasifikasi jerami padi masih akan lambat karena kadar abu dan kalium yang tinggi yang akan dibahas di bagian selanjutnya.

Pirolisis Jerami

Pirolisis merupakan proses dekomposisi termokimia dari biomasa pada kondisi tanpa oksigen (anaerob) atau dengan sedikit oksigen dalam kisaran suhu relatif rendah 300–700°C. Selama pirolisis, molekul-molekul hidrokarbon kompleks dan besar pecah menjadi molekul-molekul gas, cairan, dan arang yang lebih sederhana. Pirolisis diklasifikasikan menjadi pirolisis lambat dengan produk utama arang, dan pirolisis cepat dengan produk utama bio-oil atau minyak pirolisis. Pütün et al. (2004) melaporkan bahwa bio-oil dari jerami padi mencapai nilai maksimum 35,86% pada proses dengan uap air. Yang et al. (2011) melaporkan suhu pirolisis optimum 450°C dengan aliran gas carrier 10 L/menit. Pada penelitian ini produk bio-oil mencapai 41.3% (w/w) dengan nilai pH sekitar 4.1 dan viscositas pada 25°C sekitar 9 cSt. Jung et al. (2008) melaporkan suhu reaksi optimal untuk produksi bio-oil dari jerami padi adalah antara 440 hingga 500°C dengan produksi bio-oil mencapai 69%.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Hingga kini pirolisis jerami masih dalam tahap pengembangan untuk menghasilkan produk bernilai tinggi, yaitu minyak pirolisis yang merupakan bahan dasar (*building block*) bagi proses lebih lanjut. Pirolisis lambat dengan produk cair, arang, dan gas yang seimbang lebih berpeluang untuk dikembangkan karena tidak memerlukan perkakas yang rumit.

Etanol Jerami

Karena kaya akan selulosa dan hemiselulosa dan tidak bersaingan dengan bahan makanan, jerami padi juga menjadi bahan baku yang menjanjikan untuk produksi etanol generasi kedua. Ada dua platform teknologi konversi yang tengah dikembangkan, yaitu platform syngas dan platform gula. Dalam platform syngas, jerami digasifikasi untuk menghasilkan syngas yang kemudian difermentasi atau diproses secara katalitik untuk menghasilkan etanol (Drapcho *et al*., 2008). Dalam platform gula, selulosa dan hemiselulosa dihidrolisis dengan bantuan asam atau enzim menjadi gula (seperti glukosa, xylosa, arabinosa, dan galaktosa), lalu difermentasi untuk menghasilkan etanol. Platform gula hanya dapat memanfaatkan selulosa dan hemiselulosa. Tetapi, selulosa dan hemiselulosa terikat oleh lapisan lignin yang susah terhidrolisis. Kehadiran abu dan kandungan silika yang tinggi menimbulkan masalah dalam produksi etanol dari jerami padi. *Pretreatment* merupakan tahap yang paling mahal (Mosier *et al*., 2005), sehingga pemilihan metode *pretreatment* yang tepat menjadi tantangan utama dalam pengembangan teknologi konversi jerami padi menjadi etanol yang efisien sehingga layak secara ekonomi (Binod *et al*., 2010).

Rute konversi jerami ke etanol adalah yang paling lambat perkembangannya di Indonesia. Belum ada tanda-tanda bahwa teknologi ini akan teraplikasi dalam waktu dekat. Salah satu kendalanya adalah biaya proses produksi bahan bakar etanol yang tidak kompetitif. Jangankan bahan bakar etanol generasi kedua yang berbasis serat, etanol generasi pertama pun belum terjangkau harga keekonomiannya. Sebuah industri etanol berbahan baku singkong di Lampung Utara sudah berhenti beberapa tahun lalu akibat harga bahan baku yang mahal.

Biogas Jerami

Produksi biogas diakui sebagai salah satu proses konversi biomassa menjadi energi terbarukan yang paling ramah lingkungan (Mussoline *et al*., 2013). Banyak penelitian yang membuktikan vialibilitas produksi biogas dari campuran jerami padi dan limbah organik lainnya. Kalra dan Panwar (1986) melaporkan setiap kilogram jerami padi dapat menghasilkan sekitar 220 L biogas. Campuran jerami padi dan kotoran sapi (perbandingan berat kering 3:1) dapat meningkatkan produksi biogas hingga 434.2 L/gVS yang terdegradasi dengan kandungan metana mencapai 50.12% (Haryanto *et al*., 2018). Kotoran hewan yang umum digunakan sebagai sumber bakteri meliputi kotoran babi, kotoran sapi, dan kotoran ayam. Kotoran sapi yang dicampur kotoran ayam dapat meningkatkan kapasitas *buffering* dan menghasilkan efek sinergis (Wang *et al*., 2014). Mussoline *et al*. (2013) melaporkan kondisi optimal adalah pH (6.5–8.0), suhu (35–40°C) dan rasio C/N 25–35 dan dari digester 1-m^3 berisi campuran 50 kg jerami padi dengan air limbah babi dapat diperoleh biogas total 22.859 L selama 189 hari (231 L CH_4/kgVS). Jika sistem diperluas untuk pertanian padi 100-ha, maka skenario ini dapat menghasilkan 100,000 m^3CH_4 per tahun, setara 328 MWh. Biogas dapat digunakan untuk membangkitkan daya listrik melalui mesin pembakaran internal maupun melalui boiler. Hibukawa *et al*. (2014) melaporkan bahwa Nagaoka Wastewater Treatment Plant di kota Niigata, Jepang, memerlukan 1916 ton jerami padi (kadar air, 20%) untuk dicampurkan dengan lumpur air limbah guna menghasilkan biogas. Hal ini merupakan merupakan motivasi bahwa jerami padi memiliki prospek yang baik untuk digunakan sebagai substrat dalam proses produksi biogas.

Meskipun demikian, suatu perlakuan awal (*pretreatment*) diperlukan untuk jerami padi karena dinding lignin pada jerami menghambat kecernaan (*digestibility*), yang mengurangi efisiensi konversi menjadi biogas. Berbagai metode pretreatment jerami padi dapat dipilih, seperti perlakuan mekanis (pengecilan ukuran), bahan kimia, termal, dan enzim (Bruni *et al*., 2010). Perlakuan menggunakan alkali merupakan yang sangat efektif mengurangi lignin sehingga meningkatkan proses dekomposisi anaerobik. Produksi biogas dari jerami padi dengan perlakuan NaOH meningkat antara 27.3–64.5% (He *et al*., 2008). Pretreatment dengan 0.5 M Na_2CO_3 pada 110°C selama 2 jam menghasilkan 292 L CH_4/kgVS, sedangkan jerami tanpa diolah hanya memproduksi 130 L CH_4/kgVS (Dehghani *et al*., 2015).

Tantangan

Tantangan pemanfaatan jerami padi meliputi persoalan sosial-ekonomi terkait dengan praktek budidaya padi di lahan basah yang berakibat pada mahalnya biaya pengumpulan dan transportasi, serta persoalan teknis yang meliputi karakteristik intrinsik dari jerami itu sendiri.

Pengumpulan dan Transportasi

Pengumpulan jerami masih menjadi tantangan utama dalam rantai penyediaan jerami untuk penggunaan lebih lanjut. Jerami perlu dikumpulkan dan diikat agar lebih kompak dan mudah diangkut. Kebiasaan petani Indonesia yang memanen padi ketika kondisi lahan masih basah menyulitkan proses koleksi sehingga menjadi mahal. Pada pemanenan tradisional dengan sabit, proses perontokan (baik menggunakan thresher maupun dibanting pada gebot) akan meninggalkan jerami yang terkumpul dalam satu area. Persoalan juga dihadapi pada proses

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

transportasi yang biasanya dilakukan menggunakan truk. Demi penghematan, sopir cenderung untuk mengangkut jerami sebanyak mungkin. Dengan kondisi yang terurai, maka pemuatan dilakukan dengan menumpuk dan mengikat jerami sampai tinggi. Hal ini membahayakan pengguna jalan lainnya karena selain menghalangi jarak pandang, muatan yang tinggi juga rawan mengakibatkan truk terguling.

Jika kondisi tanah pada saat panen cukup kering, maka pengumpulan dapat dilakukan secara mekanis. Studi di Vietnam menunjukkan pengumpulan jerami secara mekanis berkapasitas 0.87–2.47 ton/jam dapat menekan kebutuhan tenaga kerja hingga 90% dengan biaya pengumpulan jerami antara 12–18 US$/ton (Nguyen *et al*., 2016). Biaya pengumpulan jerami padi di Taiwan 31.66 US$/ton dan biaya transportasi 20.7 US$/ton (Chiu *et al*., 2016). Pengumpulan jerami padi secara mekanis dapat mencegah pembakaran di lahan, menjamin kelangsungan pasokan feedstock untuk penggunaan lebih lanjut, dan memberikan nilai tambah bagi budidaya padi. Oleh karena itu, kajian menyeluruh sistem koleksi dan transportasi perlu dilakukan untuk mempertimbangkan jerami padi sebagai sumber energi. Hambatan utama pemanfaatan jerami padi untuk energi adalah biaya yang tinggi untuk logistik pengumpulan, pengangkutan, penanganan dan penyimpanan. Biaya transportasi jerami padi dipengaruhi oleh jarak tempuh. Pada jarak tempuh antara 12–20 km, biaya transportasi jerami padi 5.40–6.40 $/ton dan peningkatan 0.12 $/ton per km (Jenkins *et al*., 2000).

Kini, pemanenan padi banyak dilakukan menggunakan mesin pemanen kombinasi (*combine harvester*). Dengan mesin combine harvester, proses pengumpulan jerami padi menjadi makin sulit dan mahal karena jerami tercecer dan tersebar di lahan (Samuel, 2013). Logistik penyediaan bahan bakar sangat berpengaruh terhadap ekonomi permbangkit listrik biomassa, khususnya jerami padi. Salah satu gagasan menarik adalah mengoptimalkan mesin combine agar mampu memanen padi, merontok dan mengepak gabah, serta menggulung jerami padi *in situ* menjadi bal (Gambar 4). Analisis penggunaan mesin baler di Thailand (Delivand *et al*., 2011) menunjukkan biaya total operasi logistik bervariasi dari 18.75 hingga 19.89 US$/t. Menyatukan proses pemanenan hingga penggulungan jerami padi dalam sekali kerja menjadi penting karena biaya untuk koleksi jerami cukup besar. Dengan cara ini proses pemanenan jerami hanya menyisakan bongkar-muat dan transportasi.

Karakteristik Intrinsik Jerami Padi

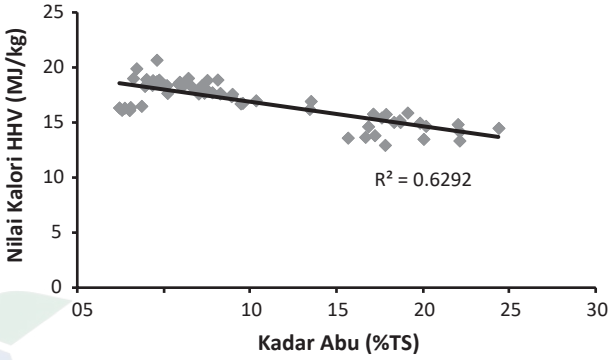
Jerami padi merupakan bahan bakar yang buruk, terutama untuk sistem yang beroperasi pada suhu tinggi. Hal ini disebabkan oleh karakteristik intrinsik dari jerami padi itu sendiri, seperti kadar abu yang tinggi dan kandungan elemen-elemen (Si, K, Na, S, Cl, P, Mg, dan Fe) yang tinggi. Kandungan abu yang tinggi menurunkan nilai energi (Gambar 5). Abu yang tinggi juga mengakibatkan tambahan biaya 0.5 $/MWh pada biaya total pembangkitan untuk menangani masalah yang terkait dengan abu dan ammonia (Jenkins *et al*., 2000).

Komposisi kimia abu jerami padi yang terdiri dari logam alkali dan alkali tanah (Si, Ca, Mg, Na dan K) bertanggung jawab pada berbagai reaksi yang tidak diinginkan dalam sistem pembakaran. Konsentrasi abu dan kandungan silika serta logam alkali yang tinggi pada jerami padi mengakibatkan aglomerasi, fouling, slagging pada komponen boiler (Jenkins *et al*., 1998) yang berdampak pada menurunnya efisiensi sistem (Jenkin *et al*., 2000) dan kegagalan pada sebagian besar tanur dan boiler. Kegagalan ini telah menghambat pemanfaatan jerami untuk boiler skala besar, bahkan di wilayah dimana boiler berdekatan dengan sumber jerami. Kandungan silika yang tinggi pada jerami padi menyebabkan komponen mesin pencacah atau penggiling cepat aus. Jerami padi juga sangat sulit dibakar, terutama pada tungku pembakaran yang dirancang untuk pembangkit akibat terbentuknya deposit. Deposit ini menghambat laju perpindahan panas, memicu pembentukan kerak dalam tungku dan pada sarangan sehingga mempersulit pengumpanan bahan bakar dan pembuangan abu (Jenkins *et al*, 1998). Hal ini meningkatkan biaya pembangkitan listrik karena rendahnya efisiensi.

Salah satu upaya menurunkan K dan Cl adalah pelindian (*leaching*). Pelindian dengan air dapat menghilangkan 80% K dan 90% Cl. Pelindian



Gambar 4. Sebuah mesin pemanen padi *combine harvester-baler* (www.youtube.com).



Gambar 5. Pengaruh kadar abu biomasa terhadap nilai kalori (data dari https://phyllis.nl).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dapat dilakukan secara alami dengan membiarkan jerami terkena hujan lalu memanennya, atau merendam jerami setelah dipanen. Pelindian jerami menggunakan air limbah tahu dapat menurunkan K hingga 93.75% hanya dalam waktu 3.75 menit (Zubaidah, 2019). Pencampuran 20-25% jerami yang sudah terlindi dengan kayu bakar atau sekam padi dapat menurunkan resiko akibat kerak (Baker, 2000).

Simpulan

Jerami padi berpotensi besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan. Potensi tahunan jerami padi di Indonesia mencapai 48.39 juta ton yang setara dengan 693 PJ. Teknologi konversi jerami menjadi energi terbarukan yang tersedia meliputi pembakaran terkontrol, densifikasi untuk menghasilkan pelet maupun briket, gasifikasi, pirolisis, fermentasi, dan dekomposisi anaerobik (biogas). Tantangan utama pemanfaatan jerami padi meliputi kadar abu dan kadar logam alkali yang tinggi yang mengakibatkan aglomerasi pada sistem konversi dengan suhu tinggi. Perlakuan *leaching* (pelindihan) menggunakan air bisa mengurangi kandungan logam alkali secara signifikan. Tantangan lain adalah proses koleksi dan transportasi yang secara ekonomi masih mahal. Sifat jerami yang lepas mengakibatkan rumitnya proses pengumpulan dan transportasi. Salah satu solusinya adalah densifikasi *in situ* yang disatukan dengan proses pemanenan menggunakan mesin combine harvester. Sejauh ini pembakaran langsung, densifikasi, dan biogas merupakan teknologi konversi jerami padi yang sudah diaplikasikan, sedangkan teknologi lainnya (gasifikasi, pirolisis, fermentasi etanol) masih dalam tahap pengembangan.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Penelitian Terapan Unggulan BLU Universitas Lampung tahun 2018 dengan nomor kontrak 1459/UN26.21/PN/2018. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada dua orang reviewer yang telah memberikan saran dan masukan berharga.

Daftar Pustaka

Abdelhady, S., D. Borello, S. Shaban and F. Rispoli. 2014. Viability Study of Biomass Power Plant Fired with Rice Straw in Egypt. *Energy Procedia* Vol. 61: 211-215.

Abraham, A., A.K. Mathew, R. Sindhu, A. Pandey and P. Binod. 2016. Potential of rice straw for bio-refining: An overview. *Bioresource Technology* Vol. 215: 29-36.

Baker, R. 2000. Biomass fuel leaching for the control of fouling, slagging, and agglomeration in biomass power generation. *PhD Dissertation*, University of Califonia.

Binod, P., R. Sindhu, R.R. Singhania, S. Vikram, L. Devi, S. Nagalakshmi, N. Kurien, R.K. Sukumaran, A. Pandey. 2010. Bioethanol production from rice straw: An overview. *Bioresource Technology* Vol. 101: 4767–4774.

BPS. 2018. Statistik Indonesia 2018. Badan Pusat Statistik, Jakarta.

Bruni, E., A.P. Jensen and I. Angelidaki. 2010. Comparative study of mechanical, hydro-thermal, chemical and enzymatic treatments of digested biofibers to improve biogas production. *Bioresource Technology* Vol. 101: 8713–8717.

Chang, C.H., C.C. Liu and P.Y. Tseng. 2013. Emissions inventory for rice straw open burning in Taiwan based on burned area classification and mapping using Formosat-2 satellite imagery. *Aerosol Air Qual. Res*. Vol. 13: 474–87.

Chiu, Y.-C., S.-J. Guo, S. Chen, C.-Y. Tsai and J.-M. Tsai. 2016. Planning the collection and transportation of rice straw in Nantou County, Taiwan. *Applied Engineering in Agriculture* Vol. 32(5): 1–8.

Chou, C.-S, S.-H. Lin, and W.-C. Lu. 2009. Preparation and characterization of solid biomass fuel made from rice straw and rice bran. *Fuel Processing Technology* Vol. 90, p. 980–987.

Darmawan, A., A.C. Fitrianto, M. Aziz, and K. Tokimatsu. 2017. Enhanced electricity production from rice straw. *Energy Procedia* Vol. 142: 271–277.

Dehghani, M., K. Karimi and M. Sadeghi. 2015. Pretreatment of rice straw for the improvement of biogas production. *Energy Fuels* Vol. 29(6): 3770–3775.

Delivand, M.K., M. Barz, S.H. Gheewala and B. Sajjakulnukit. 2011. Economic feasibility assessment of rice straw utilization for electricity generating through combustion in Thailand. *Applied Energy* Vol. 88: 3651–3658.

Djajanegara, A. and M. Rangkuti. 1983. Residues of importance as potential animal feeds in Indonesia, in edited by Shacklady, C.A. (Ed). *The Use of Organic Residues in Rural Communities*, United Nations University Press, Tokyo: 3–10.

Drapcho, C.M., N.P. Nhuan, T.H. Walker. 2008. *Biofuels Engineering Process Technology*. Mc Graw Hill Companies, Inc., New York : 133–134.

Gill, N., R. Dogra and B. Dogra. 2017. Influence of moisture content, particle size, and binder ratio on quality and economics of rice straw briquettes. *Bioenergy Research*. DOI: 10.1007/s12155-017-9877-9.

Haryanto, A., B.P. Sugara, M. Telaumbanuwa, and R.A.B. Rosadi. 2018. Anaerobic co-digestion of cow dung and rice straw to produce biogas using semi-continuous flow digester: Effect of urea addition. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* Vol. 147(1): 012032.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Hibukawa, H.S., A.I. Noue, S.H. Imeno and T.K. Omatsu. 2014. Examination of rice straw collection and transportation systems for the production of biogas by co-digestion with sewage sludge: A case study of the Nagaoka region in Niigata Prefecture. *Japanese Journal of FarmWork Research* Vol. 49(2): 69-78.

IRRI (International Rice Research Institute). 2018. Rice Straw (Rice Knowledge Bank). http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/rice-by-products/rice-straw (visited February 10, 2018).

Ishii, K. and T. Furuichi. 2014. Influence of moisture content, particle size and forming temperature on productivity and quality of rice straw pellets. *Waste Management* Vol. 34(12): 2621-2626.

Jenkins, B.M. 1998. Physical properties of biomass, in Kitani, O. and C.W. Hall (Eds). *Biomass Handbook*. Gordon and Breach, New York, p.

Jenkins, B.M., R.R. Bakker, R.B. Williams, R. Bakker-Dhaliwal, M.D. Summers, H. Lee, L.G. Bernheim, W. Huisman, L.L. Yan, P. Andrade-Sanchez and M. Yore. 2000. Commercial feasibility of utilizing rice straw in power generation. *Proceedings Bioenergy 2000,* Buffalo, New York.

Jenkins, B.M., J.J. Mehlschau, R.B. Williams, C. Solomon, J. Balmes, M. Kleinman and N. Smith. 2003. Rice straw smoke generation system for controlled human inhalation exposures. *Aerosol Sci. Technol*. Vol. 37(5): 437–454.

Jung, S-H., Kang, B-S. and Kim, J-S. 2008. Production of bio-oil from rice straw and bamboo sawdust under various reaction conditions in a fast pyrolysis plant equipped with a fluidized bed and a char separation system. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* Vol. 82(2): 240–247.

Kalra, M.S. and J.S. Panwar. 1986. Anaerobic digestion of rice crop residues. *Agricultural Wastes* Vol. 17: 263–269.

Khan, A. 2015. Economic feasibility of biomass gasification for electricity generation in Pakistan. *Global Journal of Science Frontier Research: E Interdiciplinary* Vol.15 (1): 19-23.

Makhrani. 2014. Potential analysis of rice straw as an alternative energy source for substitute coal in Indonesia. *Applied Mechanics and Materials* Vol. 554: 276–280

Mandal, K.G., A.K. Misra, K.M. Hati, K.K. Bandyopadhyay, P.K. Ghosh and M. Mohanty. 2004. Rice residue management options and effects on soil properties and crop productivity. *Food Agric. Environ*. Vol. 2: 224–231.

Marsetyo. 2008. Strategi pemenuhan pakan untuk peningkatan produktivitas dan populasi sapi potong. *Seminar Nasional Pengembangan Sapi Potong Untuk Mendukung Percepatan Pencapaian Swasembada Daging Sapi 2008-2010*. Kerjasama Universitas Tadulako dan Subdinas Peternakan Distanbunak, Palu : 94–103.

Matsumura, Y., T. Minowa and H. Yamamoto. 2005. Amount, availability, and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan. *Biomass and Bioenergy* Vol. 29: 347–354

Mosier, N., C. Wyman, D. Dale, R. Elander, Y.Y. Lee, M. Holtzapple. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresour. Technol*. Vol. 96: 673–686.

Mussoline, W., G. Esposito, A. Giordano and P. Lens. 2013. The anaerobic digestion of rice straw: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* Vol. 43: 895–915.

Nguyen, H.V., C.D. Nguyen, T.V. Tran, H.D. Hau, N.T. Nguyen and M. Gummert. 2016. Energy efficiency, greenhouse gas emissions, and cost of rice straw collection in the Mekong river delta of Vietnam. *Field Crops Research* 198: 16–22.

Nurhayati, T., Y. Waridi and H. Roliadi. 2006. Progress in the technology of energy conversion from woody biomass in Indonesia. *Forestry Studies in China* Vol. 8(3), p. 1–8.

Pütün, A.E., E. Apaydın, and E. Pütün. 2004. Rice straw as a bio-oil source via pyrolysis and steam pyrolysis. *Energy* Vol. 29(12–15): 2171–2180.

Said, N., M.M. Abdel daiem, A. García-Maraver, and N. Zamorano. 2015. Influence of densification parameters on quality properties of rice straw pellets. *Fuel Processing Technology* Vol. 138: 56–64.

Samuel, V. 2013. Environmental and socioeconomic assessment of rice straw conversion to ethanol in Indonesia: the case of Bali. *Thesis.* KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology, Stockholm, Sweden.

Shafi, S.M., H.H. Masjuki and T.M.I. Mahlia. 2014. Life cycle assessment of rice straw-based power generation in Malaysia. *Energy* Vol. 70: 401-410.

Singh, A. and Y. Singh. 1982. Briquetting of paddy straw. *Agric Mech Asia Africa Latin Am*. Vol. 13(4): 42–44.

Soam, S., P. Borjesson, P.K. Sharma, R.P. Gupta, D.K. Tuli and R. Kumar. 2017. Life cycle assessment of rice straw utilization practices in India. *Bioresource Technology* Vol. 228: 89-98.

Stelte, W., J.K. Holm, A.R. Sanadi, S. Barsberg, J. Ahrenfeldt and U.B. Henriksen. 2011. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel* Vol. 90: 3285–3290.

Suramaythangkoor, T. and S.H. Gheewala. 2010. Potential alternatives of heat and power technology application using rice straw in Thailand. *Applied Energy* Vol. 87: 128-133.

Tumuluru, J.S., C.T. Wright, J.R. Hess and K.L. Kenney., 2011. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels, Bioprod. Bioref*. Vol. 5: 683–707.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Wang, X.X., Lu, F. Li and G. Yang. 2014. Effects of temperature and Carbon-Nitrogen (C/N) ratio on the performance of anaerobic co-digestion of dairy manure, chicken manure and rice straw: Focusing on ammonia inhibition. *PLOS ONE* Vol. 9(5): e97265.

Yang, S.Y., Zhang, C. and Chen, Z. 2011. The physical characteristics of bio-oil from fast pyrolysis of rice straw. *Advanced Materials Research* Vol. 328-330: 881–886.

Zubaidah, U. 2019. Pencucian (*Leaching*) Kadar Kalium (K) Jerami Padi (*Oryza sativa*) Menggunakan Limbah Cair Industri Tahu untuk Meningkatkan Mutu Bahan Bakar. *Skripsi*. Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN, Agustus 2019
Vol. 7 No. 2, p 147-154
P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Tersedia online OJS pada:
http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep
DOI: 10.19028/jtep.07.2.147-154

Technical Paper

Pengembangan Prototipe dan Pengujian Traktor Satu Roda untuk Pemeliharaan Tanaman Padi

Prototyping and Performance Test of Single Wheel Tractor for Rice Plants Maintenance

Jusran, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor.
Email: jusranrinding3@gmail.com
Radite Praeko Agus Setiawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem. Institut Pertanian Bogor.
Email: raditepas@gmail.com
I Dewa Made Subrata, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem. Institut Pertanian Bogor.
Email: dewamadesubrata.ipb@gmail.com

Abstract

Most of paddy fields in Indonesia are not consolidated, therefore, soil hardpan usually not exist. With no soil hardpan, mobility of any machine for crop maintenance is very difficult even in some places is almost impossible. Until now crop maintenance such as weeding, spraying and spreading fertilizer was done manually by labor. Then mechanization is required to replace the labour which is not available or very expensive. Hence, this study conducted with objective to make a prototype II of a single wheel tractor for crop maintenance operated in deep mud field or in an unconsolidated paddy field. The study also did performance test of a single wheel tractor to measure the tractor speed, traction, sinkage, and slip of wheel when operated in rice plants field. The results of performance test showed that the speed average of wheels with straight lug and curved lug respectively were 1.15 km/hour and 0.97 km/hour. The average of sinkage and slip of wheels with straight lug and curved lug respectively were 24.8 cm, 25.9 cm and 38.7%, 26.12%. The results of performance test olso showed that the traction average of wheel with straight lug and curved lug respectively were 45.8 kg and 41.5 kg.

Keywords : *Single wheel tractor, paddy field, traction, sinkage, slip*

Abstrak

Umumnya lahan persawahan di Indonesia tidak terkonsolidasi, sehingga tidak memiliki lapisan tanah yang keras pada kedalaman tertentu. Kondisi tersebut menyebabkan mobilitas mesin untuk pemeliharaan tanaman menjadi sangat sulit bahkan dibeberapa tempat hampir tidak memungkinkan. Sampai sekarang pemeliharaan tanaman seperti penyiangan, penyemprotan dan pemupukan dilakukan secara manual sehingga biaya produksi menjadi mahal. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka diperlukan mekanisasi pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk membuat *prototype* II traktor satu roda untuk pemeliharaan tanaman pada lahan sawah berlumpur dalam atau tidak terkonsolidasi. Parameter kinerja traktor satu roda yang diuji meliputi: kecepatan maju, traksi, *sinkage* dan slip pada roda ketika beroperasi di lahan padi sawah. Pengujian dilakukan menggunakan dua perlakuan bentuk sirip roda yaitu sirip lurus dan sirip kurva. Hasil uji kinerja menunjukkan bahwa rataan kecepatan roda sirip lurus dan sirip kurva adalah 1.15 km/jam dan 0.97 km/jam. Rataan *sinkage* dan slip kedua roda sirip lurus dan sirip kurva berturut-turut 24.8 cm, 25.9 cm dan 38.7%, 26.12%. Uji kinerja juga menunjukkan bahwa rataan traksi roda sirip lurus dan sirip kurva adalah 45.8 kg dan 41.5 kg.

Kata Kunci : traktor satu roda, lahan sawah, traksi*, sinkage,* slip

Diterima: 12 Maret 2019; Disetujui: 18 Juni 2019

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Latar Belakang

Pada umumnya lahan persawahan di Indonesia memiliki lapisan tanah permukaan yang dalam, tidak memiliki lapisan yang padat (*hardpan*), bahkan kedalamannya cenderung meningkat dari tahun ke tahun akibat endapan lumpur yang dibawa oleh aliran air irigasi. Tidak terbentuknya *hardpan* mengakibatkan lalu lintas roda traktor atau mesin pemeliharaan tanaman padi menjadi sangat sulit karena roda tenggelam terlalu dalam.

Usaha untuk mengkonversi lahan persawahan yang tidak terkonsolidasi menjadi lahan terkonsolidasi belum banyak dilakukan di Indonesia karena membutuhkan biaya yang besar sehingga belum menjadi opsi bagi para petani. Disisi lain, penggunaan mekanisasi pada lahan persawahan yang tidak terkonsolidasi menimbulkan inefisiensi yang besar pada performansi mesin.

Penelitian yang dilakukan oleh Ubaidillah (2016) yang menguji kinerja traksi roda ramping menggunakan traktor tangan dan Taufiq *et al.* (2017) yang menguji roda sangkar dengan beberapa variasi sudut sirip pada lahan yang tidak terkonsolidasi menunjukkan bahwa efisiensi traksi tertinggi yang diperoleh secara berurutan yaitu 27.18% dengan sudut sirip 30° dan 47.81% dengan sudut sirip 30°. Hasil penelitian tersebut mengkonfirmasi inefisiensi performansi traktor pada lahan yang tidak terkonsolidasi yang cukup besar. Setiawan *et al.* (2013) membuat disain traktor ringan (*light tractor*) untuk kegiatan pemeliharaan tanaman padi seperti: pemupukan, penyemprotan dan penyiangan. Traktor menggunakan roda traksi tunggal sebagai alat penggerak traktor. Roda traksi didisain untuk dapat beroperasi pada lahan persawahan dengan kedalaman 20-30 cm. Diameter luar roda traksi 740 mm dan dilengkapi dengan delapan sirip. Roda traksi didisain ramping dan disesuaikan dengan jarak tanam agar dapat bergerak diantara barisan tanaman padi tanpa merusak tanaman. Untuk memudahkan mobilitas traktor, pada bagian belakang dilengkapi dengan *slider* yang juga berfungsi untuk menopang *body* traktor.

Disain traktor ringan beroda satu untuk kegiatan pemeliharaan tanaman padi dipilih karena konstruksinya yang lebih mudah dan sederhana. Selain itu, dengan bobot yang ringan, traktor bisa diangkat oleh operatornya ketika roda traktor tenggelam dan macet akibat lumpur yang terlalu dalam. Disain traktor kemudian dibuat dalam bentuk prototipe dan dilanjutkan dengan pengujian fungsional untuk mengetahui apakah semua komponen utama dari traktor berfungsi dengan baik atau tidak.

Hasil pengamatan uji fungsional prototipe traktor ringan beroda satu yang telah dibuat menunjukkan beberapa komponen utama traktor tidak berfungsi dengan baik yakni: roda traksi, sistem kopling dan sistem transmisi. Letak mesin dan *gearbox* yang tidak tepat menghasilkan ketidakseimbangan dan *ground clearance* yang terlalu rendah pada traktor satu roda. Untuk memperbaiki permasalahan pada traktor, maka diperlukan perubahan disain traktor ringan beroda satu dengan cara memodifikasi disain traktor satu roda.

Tujuan penelitian ini adalah membuat pengembangan prototipe dan menguji kinerja traktor satu roda yang dapat digunakan untuk pemeliharaan tanaman padi sawah.

Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan mulai Desember 2016 sampai Januari 2018. Pembuatan dan perakitan prototipe II traktor satu roda dilaksanakan di bengkel Metanium Siswadi Soepardjo, Fateta – IPB sedangkan uji kinerja dilakukan di lahan sawah laboratorium Lapangan Siswadi Soepardjo, Fateta – IPB.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dikelompokkan ke dalam 2 bagian besar, yaitu: (1). Pada tahap disain gambar dan pabrikasi menggunakan *software solid works, excel* dan berbagai bahan konstruksi (besi plat, holo, silinder, sproket, *gearbox*, *chain*, puli, sabuk, dan peralatan perbengkelan lainnya), (2). Pada tahap pengujian menggunakan prototipe traktor satu roda, 1 unit laptop, kamera, beberapa instrumen alat ukur dan sensor (meteran, *strain gauge, strain amplifier, handy strain, data logger, tachometer, potensiometer*). Satu unit mesin honda GX 160 4 tak digunakan sebagai tenaga penggerak prototipe traktor satu roda.

Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan dalam 2 tahapan, yaitu: 1. Tahap modifikasi gambar disain dan pembuatan prototipe II traktor satu roda. 2. Tahap pengujian.

Modifikasi Gambar Disain dan Pembuatan Prototipe II Traktor Satu Roda

Tahapan modifikasi gambar disain dan pembuatan protipe II traktor satu roda dimulai dengan melakukan evaluasi terhadap konsep disain traktor satu roda yang telah ada. Beberapa bagian yang dievaluasi yakni posisi komponen utama seperti enjin, *gearbox dan slider*. Berikutnya yakni sistem keseimbangan traktor, sistem transmisi, kopling, disain roda dan *ground clearance* traktor. Hasil evaluasi kemudian dijadikan sebagai bahan analisis untuk melakukan modifikasi disain.

Tahapan selanjutnya yaitu membuat analisis disain. Untuk memperbaiki keseimbangan traktor maka dilakukan perubahan posisi pada *gearbox* dengan cara menempatkan *gearbox* sejajar dengan enjin sehingga posisi *gearbox* dan enjin berada diatas roda traksi. Perubahan posisi *gearbox* juga membuat *ground clearance* traktor menjadi lebih baik, karena *gearbox* yang sebelumnya terhubung langsung dengan poros roda, digantikan dengan *pillow block bearing* yang ukurannya jauh lebih kecil dan tidak memerlukan dudukan yang besar sebagaimana dudukan *gearbox*. Sistem transmisi daya dari enjin

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ke poros roda ditransmisikan dari enjin ke *gearbox* melaui sabuk dan puli, kemudian dari *gearbox* daya ditransmisikan ke poros roda melalui rantai dan sproket. Penggunaan rantai dan sproket untuk transmisi daya bertujuan untuk meminimalkan *slip* yang terjadi pada sistem trasmisi. Sirip roda didisain lebih tinggi untuk menghasilkan cengkraman yang lebih baik, disain *slider* lebih panjang dan kopling lebih disederhanakan.

Tahap selanjutnya yaitu dengan membuat gambar kerja menggunakan perangkat *solid works*, kemudian pembuatan prototipe dan pengujian traktor. Jika kinerja traktor belum baik maka kembali ketahap analisis disain untuk melakukan perbaikan disain traktor satu roda.

Rancangan Fungsional

Roda pada traktor satu roda berfungsi untuk menghasilkan gaya traksi. Karena roda akan beroperasi pada lahan padi sawah yang berlumpur, maka disain roda perlu dilengkapi dengan sirip besi untuk menghasilkan traksi. Desain sirip roda akan disesuaikan dengan jarak tanam padi sehingga memungkinkan roda mampu melintas disela-sela tanaman padi tanpa merusak fisik tanaman padi, sedangkan ukuran roda terkait dengan tinggi *ground clearance* alat. Ukuran roda didasarkan pada pengukuran *sinkage* roda dan tinggi tanaman pada saat operasi.

Mesin honda GX 160 berdaya 4.8 HP/3600 rpm, digunakan sebagai tenaga penggerak untuk menggerakkan traktor satu roda. Untuk mentransmisikan daya mesin ke roda traktor maka digunakan sabuk - puli yang terhubung ke *gear box*. Selanjutkan daya ditransmisikan dari *gear box* ke roda menggunakan rantai-sproket untuk meminimalisir slip. Reduksi kecepatan putaran enjin juga terjadi dalam proses transmisi daya di puli, *gear box* dan sproket, sehingga menghasilkan putaran yang rendah pada roda bersirip.

Traktor yang dibuat pada penelitian ini merupakan jenis traktor beroda satu, dimana roda penggerak hanya terpasang pada bagian depan, sedangkan pada bagian belakang berupa *slider* yang akan menghasilkan gaya luncuran ketika mendapat gaya tarik. Ukuran *slider* disesuaikan dengan jarak tanam padi sehingga tidak merusak tanaman padi dan diharapkan mampu menopang bobot traktor antara 40% - 70% dari total bobot traktor.

Sistem kendali traktor satu roda menggunakan setir untuk mengendalikan arah gerakan maju traktor. Untuk mengendalikan tenaga enjin, maka digunakan kopling sabuk tipe tegangan *idler*. Sebagai sistem kendali yang berfungsi menyalurkan tenaga dengan tanpa kejutan dan melepaskan tenaga dengan cepat dari seluruh bagian mesin, kopling juga berfungsi sebagai rem pada traktor satu roda.

Analisis Teknik

1. Kecepatan maju

Kisaran kecepatan maju traktor dalam berbagai kerja lapang berkisar antara 0.5–0.7 m/s atau 1.8–2.5 km/jam (Sakai *et al.* 1998). Untuk menghitung besaran kecepatan maju traktor digunakan persamaan:

$$s = \frac{v}{t} \quad (1)$$

Dimana : v = kecepatan maju traktor (m/s)
s = jarak tempuh (m)
t = waktu (s)

2. Slip roda traksi, secara matematis dapat dihitung dengan persamaan:

$$S = (1 - \frac{S_b}{S_0}) \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:
S = slip roda traksi (%)
S_b = jarak yang ditempuh putaran roda dengan beban (m)
S_0 = jarak yang ditempuh putaran roda tanpa beban (m)

3. Diameter Roda

Roda pada traktor satu roda diharapkan mampu menopang beban hingga 30–40% total berat traktor, slip antara 30–50% dan ketenggelaman roda antara 20–30 cm. Ukuran diameter roda minimum ditentukan dengan persamaan:

$$R_w = H_t + H_c + Z \quad (3)$$

Dimana : R_w = jari-jari luar roda (cm)
H_t = jari-jari gear box (cm)
H_c = *ground clearance*
Z = ketenggelaman roda (*sinkage*) (cm)

4. Jumlah Sirip

Menurut Sakai *et al.* (1998), jumlah sirip minimum untuk lahan sawah antara 8–12 buah, sedangkan berdasarkan nilai slip lahan berkisar antara 9–20 buah. Menurut Setiawan *et al.* (2013), jumlah sirip dengan slip 30% berjumlah 8, sedangkan pada kondisi ekstrim dimana slip 50%, maka jumlah sirip menjadi 6. Penentuan jumlah sirip roda menggunakan persamaan:

$$N_i \geq \frac{2\pi}{cos^{-1}(1 - S)} \quad (4)$$

N_I = jumlah sirip
S = slip (%)

5. Lebar sirip

Untuk merencanakan luas penampang sirip roda harus dipertimbangkan besar spasi antara sirip dan spasi horizontal antar sirip dengan menggunakan persamaan:

$$S_{as} = 2R_w \sin\left[\frac{180}{J_s}\right] \quad (5)$$

$$S_{hs} = \frac{(1 - S)\pi D_w}{J_s} \quad (6)$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dimana: S_{as} = jarak spasi antar sirip (cm)
S_{hs} = jarak spasi horizontal antar sirip (cm)
J_s = jumlah sirip roda
S = slip roda
Lebar sirip efisien adalah ≤ $0.75S_{hs}$

6. Koefisien traksi (C_t)

Koefisien traksi adalah perbandingan antara gaya tarik pada batang penarik traktor dengan berat dinamis yang membebani roda penggerak, dirumuskan dalam persamaan:

$$C_t = \frac{DBP}{W} \quad (7)$$

Dimana:
Ct = koefisien traksi (*coefficient of traction*)
DBP = gaya tarik pada batang penarik (*drawbar pull*), (kg)
W = berat dinamis yang membebani roda penggerak, (kg)

Pengujian Fungsional Prototipe II Traktor Satu Roda

Prototipe II traktor satu roda dari hasil modifikasi perancangan kemudian diuji untuk melihat kinerja fungsional dari masing-masing komponennya. Pengujian awal dilakukan pada lahan kering tanpa beban, kemudian dilanjutkan dengan pengujian dengan beban. Jika pengujian pada lahan kering tidak memberikan hasil yang baik, maka dilakukan modifikasi dan perbaikan desain. Jika memberikan kinerja yang baik, maka dilakukan pengujian pada lahan sawah berlumpur tanpa genangan air untuk memudahkan pengamatan baik tanpa beban maupun dengan beban. Selama pengujian, parameter kerja fungsional yang diamati dan menjadi ukuran keberhasilan pengujian meliputi: kinerja roda, kopling, rantai-sproket, sabuk-puli, slider, kecepatan maju dan keseimbangan traktor saat beroperasi.

Pengujian pada Lahan Sawah

Pengujian pada tahapan ini dilakukan mengunakan dua perlakuan roda dengan sirip berbeda (lurus dan kurva) yang dilakukan secara bergantian, dimana setiap pengujian dilakukan dengan 2 kali pengulangan. Pengujian dilakukan pada saat umur tanam padi mencapai satu bulan setelah tanam.

Parameter yang Diukur dalam Pengujian pada Lahan Sawah

Selama pengujian, parameter yang diukur sebagai tolak ukur keberhasilan adalah kinerja traksi. Kinerja traksi diperoleh dengan mengukur parameter-parameter seperti: 1) kecepatan maju traktor, 2) torsi pada poros roda, 3) kecepatan putar roda, 4) ketenggelaman roda (*sinkage*), 5) slip roda, 6) traksi, 7) koefisien traksi (CT). Pengukuran parameter-parameter tersebut dapat dilakukan dengan membuat instrumen pengujinya.

a. Pengukuran Kecepatan Maju Traktor

Kecepatan maju traktor diukur dengan menggunakan kamera dan meteran berdasarkan jarak lintasan yang telah ditentukan. Pengukuran dilakukan pada tiga lajur lintasan dengan jarak lintasan masing-masing 10 meter. Cara pengukuran kecepatan maju traktor adalah dengan merekam pergerakan maju traktor sejak dari titik awal hingga titik akhir lintasan. Berdasarkan hasil rekaman kamera, maka dapat diketahui waktu yang dibutuhkan oleh traktor satu roda untuk menempuh jarak pada setiap lajur lintasan.

b. Pengukuran Torsi Poros Penggerak Roda

Nilai torsi pada poros penggerak roda saat uji kinerja traktor satu roda diukur dengan sebuah unit sensor *strain gauge* yang dipasang pada poros *gearbox* dan terhubung dengan slip ring pada ujung *gearbox*. Sensor *strain gauge* bekerja dengan mengukur regangan yang terjadi ketika poros mendapatkan beban. Nilai torsi diperoleh setelah nilai regangan yang diukur oleh sensor *strain gauge* yang terjadi pada poros *gearbox* masuk ke *strain amplifier*, diteruskan ke data logger dan ke PC.

Flens poros berfungsi menghubungkan poros *gearbox* dengan slip ring. Flens akan berputar mengikuti putaran poros, sedangkan slip ring dipertahankan dalam kondisi diam sehingga memungkinkan sambungan kabel dari sensor *strain gauge* tidak ikut berputar searah putaran poros.

c. Pengukuran Kecepatan Putar Roda

Kecepatan putar roda traktor diukur dengan cara merekam putaran roda menggunakan video kamera ketika traktor bergerak maju diatas lintasan lahan sawah yang telah ditentukan. Pada salah satu bagian lingkaran roda ditandai dengan ikatan tali rapiah untuk memudahkan pengamatan. Hasil kecepatan putar roda diperoleh dengan mengamati waktu (s) yang dibutuhkan roda dalam 1 kali putaran roda traktor satu roda, kemudian dikonversi kedalam rotasi per menit (RPM).

d. Pengukuran Ketenggelaman Roda (Sinkage)

Ketenggelaman roda traktor dapat diukur dengan menggunakan sebuah sensor *potentiometer* yang terpasang pada sebuah mekanisme menyerupai papan ski. Mekanisme papan ski dilengkapi lengan yang berengsel dan terhubung ke poros roda sehingga memudahkan manuver papan ski diatas permukaan lahan sawah mengikuti pergerakan roda traktor.

Sensor potensiometer menghasilkan data gerakan naik dan turun papan ski mengikuti pola gerakan roda. Data dari potensiometer tersebut direkam dan dikirim ke *data logger* yang langsung terhubung pada sebuah unit laptop yang terpasang pada traktor yang sedang berjalan tersebut. Pembacaan data tegangan (*voltase*) dari *data logger* selanjutnya dikonversi kedalam satuan meter (m) sehingga dapat memberikan informasi ketenggelaman roda traktor satu roda pada saat pengujian. Skema rancangan pengukur ketenggelaman roda (*sinkage*) ditunjukkan pada Gambar 1.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

e. Pengukuran Slip Roda

Slip roda merupakan perbandingan antara selisih jarak tempuh aktual dan jarak tempuh teoritis. Jarak tempuh teoritis diperoleh dengan cara mengukur jarak tempuh traktor dalam 5 kali putaran maju roda tanpa diberikan beban. jarak tempuh aktual, pengukuran dilakukan dengan cara mengukur jarak tempuh traktor dalam 5 kali putaran maju roda yang diberikan beban. Slip roda traksi akan terukur dalam persen (%).

Kalibrasi Instrumentasi Pengukuran dan Sistem Akuisisi Data

Kalibrasi instrumentasi pengukuran untuk mendapatkan nilai torsi terukur pada poros, dilakukan dengan dua tahap yaitu; kalibrasi *strain–torsi* dan kalibrasi *strain*–tegangan. Kalibrasi *strain–torsi* menggunakan perangkat ukur *strain gouge, handy strain meter, bridge box*, poros, timbangan digital, beban, lengan beban. Kalibrasi *strain*–tegangan menggunakan perangkat ukur *strain gauge*, *dynamic strain amplifier*, *brigde box*, *slip ring* dan laptop.

Tujuan dari kalibrasi *strain–torsi* dan kalibrasi *strain*–tegangan adalah untuk mendapatkan persamaan regresi *strain–torsi* dan *strain*–tegangan. Skema kalibrasi instrumentasi pengukuran ditunjukkan pada Gambar 3.

Persamaan torsi terukur dapat diperoleh dari kalibrasi *strain*-torsi dan kalibrasi *strain*–tegangan masing-masing akan menghasilkan suatu persamaan regresi. Persamaan *strain*-tegangan yang diperoleh kemudian disubsitusi ke dalam persamaan *strain*-torsi sehingga diperoleh persamaan torsi terukur.

Data hasil pengukuran selanjutnya diolah untuk memperoleh grafik torsi pengujian. Adapun cara pengolahan data hasil pengukuran adalah mencari tegangan maksimum, tegangan minimum, rata-rata tegangan sebelum traktor maju (pada saat mesin hidup tanpa gerakan maju), dan rata-rata tegangan ketika traktor bergerak maju.

Voltase pengujian (V*p*) yang digunakan untuk perhitungan torsi diperoleh dari persamaan berikut:

$$VP = Vb - Vtb \quad (8)$$

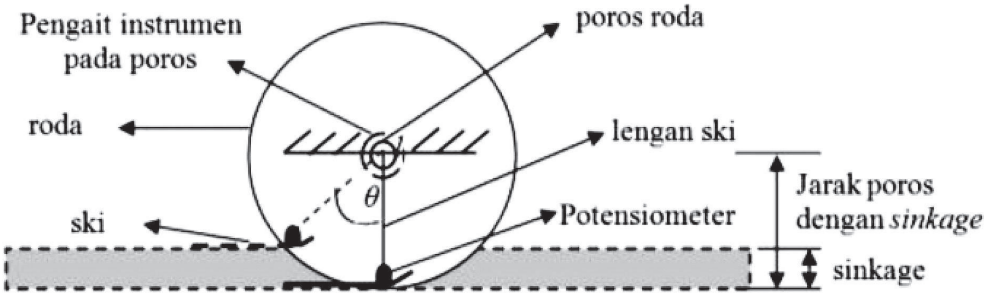
Dimana:
Vp = voltase pengujian (Volt)
Vb = voltase mesin traktor menyala (Volt)
Vtb = voltase traktor bergerak maju (Volt)

Torsi pengujian diperoleh dengan mensubsitusikan V*p* ke persamaan yang diperoleh dari hasil kalibrasi.

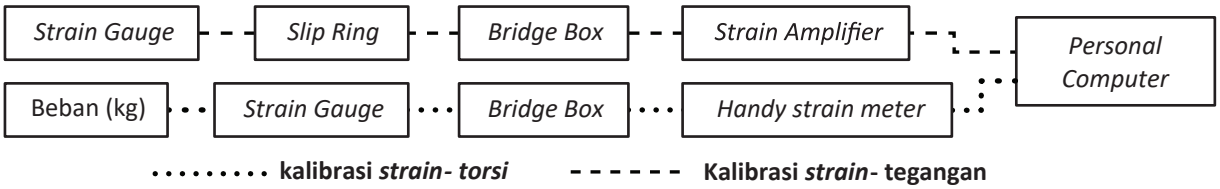
$$T = Vp \times d \times b \quad (9)$$

Dimana :
T = torsi terukur (Nm)
V = voltase pengujian (Volt)
d = gradien kurva hasil kalibrasi *strain*-tegangan (µs/Volt)
b = gradien kurva hasil kalibrasi *strain*-torsi (Nm/µs)

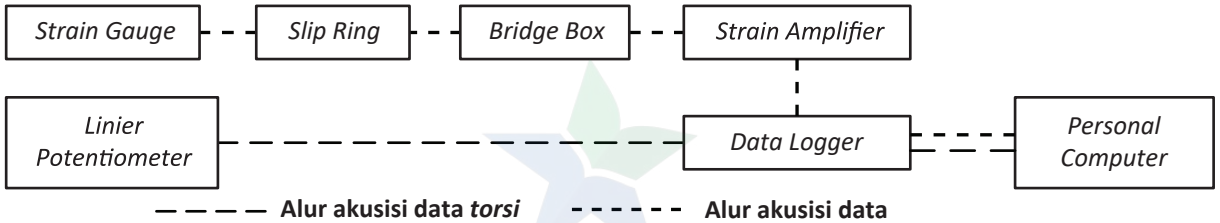
Akuisisi data pengukuran torsi dan *sinkage* ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 1. Skema rancangan pengukur ketenggelaman roda (*sinkage*).



Gambar 2. Skema kalibrasi pengukuran torsi.



Gambar 3. Skema akuisisi data pengukuran torsi dan data *sinkage*.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

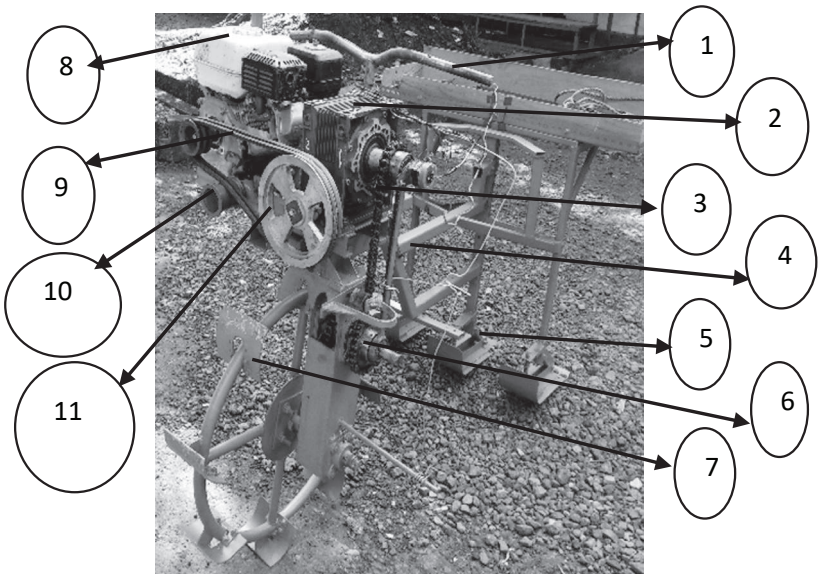
Hasil dan Pembahasan

Prototipe II Traktor Satu Roda

Beberapa bagian utama traktor roda satu yang telah berhasil dimodifikasi yaitu: posisi *gearbox*, rantai, puli, sabuk puli, sproket, kopling, *slider*, rangka utama, dudukan enjin dan *gearbox*, roda bersirip. Pengujian fungsional traktor roda satu pada lahan kering dan lahan sawah menunjukkan bahwa setiap komponen traktor yang dimodifikasi dapat bekerja dengan baik. Hasil modifikasi traktor roda satu ditunjukkan pada Gambar 4.

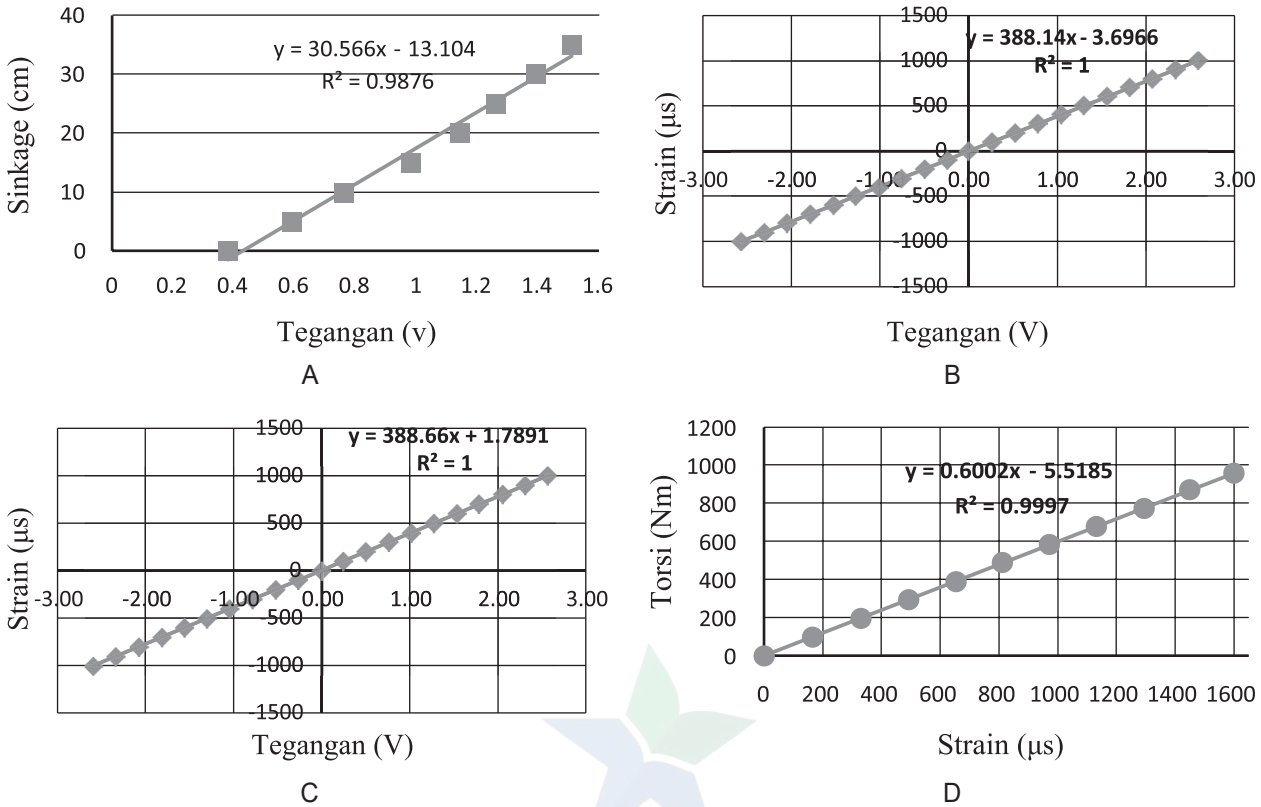
Hasil Kalibrasi Torsi dan *Sinkage*

Hasil kalibrasi pengukuran instrumentasi menunjukkan hubungan yang linier antara berbagai variable yang dikalibrasi yaitu hubungan antara *strain* – tegangan dan *strain* – torsi untuk mengukur nilai torsi serta *sinkage* – tegangan untuk mengukur ketenggelaman roda. Dengan demikian hasil pengukuran kalibrasi tersebut cukup akurat yang ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi yang baik, di mana nilai R^2 *strain*-tegangan, *strain*-torsi dan *sinkage* secara berurutan adalah 1, 0.999 dan 0.987. Pengukuran kalibrasi torsi dan *sinkage* dalam bentuk grafik ditunjukkan pada gambar 5.



1. Kemudi
2. *Gearbox*
3. Rantai
4. Rangka utama
5. *Slider*
6. Sproket
7. Roda traksi
8. Enjin
9. Sabuk puli
10. Kopling
11. Puli

Gambar 4. Bentuk traktor roda satu setelah modifikasi.



Gambar 5. Hasil kalibrasi pengukuran torsi dan *sinkage*.

Tabel 1. Hasil pengukuran kecepatan, slip dan *sinkage*.

Sirip	Kecepatan Traktor			Slip %	Sinkage (cm)
	v (km/jam)	n (rpm)	ω(rad/s)		
Lurus 30°					
L1	1.29	12.0	1.3	24.93	23.2
L2	0.92	12.5	1.3	50.00	28.8
L3	1.20	12.5	1.3	41.18	22.5
Kurva 80°					
L1	0.90	12.5	1.3	41.59	26.7
L2	1.13	12.5	1.3	11.41	24.4
L3	0.92	12.5	1.3	27.09	26.6

Keterangan : v = Kecepatan maju, n = Rotasi, ω = Kecepatan sudut, L=lintasan

Tabel 2. Hasil pengujian kinerja roda traksi sirip lurus dengan sudut 30°.

Sirip 30°	Torsi			Kec. Traktor	F	Z	Slip	CT
	(Nm)	v(km/jam)	ω(rad/s)	n(rpm)	(kg)	(cm)	(%)	
L1	146.89	1.29	1.3	12.0	52.71	23.2	24.93	0.51
L2	81.61	0.92	1.3	12.5	40.79	28.8	50.00	0.39
L3	114.25	1.20	1.3	12.5	43.93	22.5	41.18	0.42

Keterangan: L= Lintasan, F= Traksi, Z= *Sinkage*, CT= Koefisien traksi

Pengendalian Traktor Satu Roda di Lahan Sawah

Sistem kemudi traktor menggunakan stang sepeda motor yang terhubung ke tungkai roda untuk mengendalikan arah gerakan traktor sesuai dengan keinginan operator. Untuk mengendalikan gerak maju dan berhenti traktor, maka traktor dilengkapi dengan kopling sabuk tipe tegangan *idler*, dioperasikan secara manual dan sekaligus berfungsi sebagai rem. Untuk menjaga keseimbangan traktor ketika beroperasi, maka traktor dilengkapi dengan tiga buah *slider* yang menopang bagian belakang traktor. Kelemahan dari sistem pengendalian traktor adalah pada saat traktor berbelok, operator harus memiliki tenaga yang prima untuk mengatasi gaya tolak dari roda ketika traktor berbelok arah dan juga beban pada roda yang berat.

Pengaruh Bentuk Sirip Roda Terhadap Kecepatan, Slip dan Sinkage Traktor Satu Roda

Kecepatan maju traktor untuk kegiatan pemeliharaan tanaman padi seperti pemupukan, penyiangan dan penyemprotan berkisar antara 1.8–2.5 km/jam (Sakai *et al.* 1998). Kecepatan maju untuk traktor satu roda diharapkan 1.8 km/jam dengan perkiraan slip antara 30-50% dan *sinkage* 20-30 cm (Setiawan *et al.* 2013). Hasil pengujian kecepatan, slip dan *sinkage* disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil uji kinerja traktor satu roda yang telah dilakukan, roda bersirip lurus dengan sudut 30° menghasilkan kecepatan maju tertinggi, slip dan *singkage* terkecil pada L1, berikutnya L3 dan L2. Tren yang sama juga nampak pada roda sirip kurva sudut 80° dimana kecepatan maju tertinggi, slip dan *sinkage* terkecil secara berurutan yaitu L2, L3 dan L1. Kecepatan maju traktor sangat dipengaruhi oleh faktor slip dan s*inkage*. Semakin kecil nilai slip dan *sinkage* maka nilai kecepatan maju traktor semakin baik, sebaliknya semakin besar nilai slip dan *sinkage* roda, semakin memperkecil nilai kecepatan maju traktor satu roda.

Bentuk roda sirip lurus dengan sudut 30° menghasilkan nilai rataan kecepatan maju sebesar 1.15 km/jam, lebih tinggi dibandingkan nilai rataan kecepatan maju roda sirip kurva dengan sudut 80° sebesar 0.97 km/jam. Nilai rataan slip dan *sinkage* roda sirip lurus dengan sudut 30° dan sirip kurva dengan sudut 80°. berturut-turut sebesar 38.7%, 26.12% dan 24.8 cm, 25.9 cm.

Kinerja Traksi Traktor Satu Roda

Beberapa parameter yang umum digunakan untuk menilai kinerja traksi yakni: slip, rasio traksi bersih (koefisien traksi), efisiensi traksi, rasio traksi kotor dan rasio tahanan gerak. Namun demikian, penelitian ini hanya menggunakan parameter slip dan koefisien traksi dalam menilai kinerja roda traksi. Kinerja roda traksi disajikan dalam Tabel 2.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2 tampak bahwa kenaikan nilai torsi searah dengan kenaikan nilai beban traksi sedangkan nilai slip cenderung kecil seperti yang terlihat pada L1, sebaliknya pada saat nilai slip besar, maka nilai torsi dan traksi akan menurun sebagaimana ditunjukkan L2 dan L3. Nilai slip yang besar menyebabkan menurunnya nilai torsi, traksi dan koefisien traksi karena sebagian tenaga terpakai untuk mengatasi tahanan guling roda.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 3. Hasil pengujian kinerja roda traksi sirip kurva dengan sudut 80°

Sirip 30°	Torsi			Kec. Traktor	F	Z	Slip	CT
	(Nm)	v(km/jam)	ω(rad/s)	n(rpm)	(kg)	(cm)	(%)	
L1	65.28	0.90	1.3	12.5	33.47	26.7	41.59	0.32
L2	102.59	1.13	1.3	12.5	42.07	24.4	11.41	0.41
L3	97.93	0.92	1.3	12.5	48.95	26.6	27.09	0.47

Keterangan: L= Lintasan, F= Traksi, Z= *Sinkage*, CT= Koefisien traksi

Nilai koefisien traksi tertinggi diperoleh ketika persentase nilai slip kecil, sebaliknya nilai koefisien traksi cenderung menurun pada saat persentase nilai slip meningkat. Semakin besar nilai koefisien traksi menunjukkan kinerja roda traksi yang semakin baik. Kinerja roda traksi sirip kurva ditunjukkan pada Tabel 3.

Hasil uji kinerja roda traksi sirip kurva dengan sudut 80° menunjukkan performa yang lebih rendah dibandingkan dengan performa roda traksi sirip lurus dengan sudut 30°. Berbagai parameter yang digunakan sebagai ukuran kinerja seperti torsi, traksi, *sinkage* dan koefisien traksi rata-rata nilainya lebih kecil. Namun demikian, nilai rataan slip roda traksi sirip kurva dengan sudut 80° menunjukkan kinerja yang lebih baik dari roda traksi sirip lurus dengan sudut 30°. Roda dengan sirip lurus menghasilkan traksi yang lebih besar dibandingkan dengan roda dengan sirip kurva. Rataan nilai traksi kedua roda tersebut yakni 45.8 kg dan 41.5 kg. Triratanasirichai *et al.* (1990) mengatakan bahwa sudut sirip yang lebih kecil (45° dan 30°) menghasilkan tenaga tarik yang lebih besar jika dibandingkan dengan dengan sudut sirip yang lebih besar (60°). Penelitian lainnya Ubaidillah *et al.* (2017) yang melakukan pengujian roda ramping mengatakan bahwa roda dengan sudut sirip 30° merupakan roda dengan spesifikasi terbaik dibandingkan dengan roda sudut sirip berturut – turut 45° dan 60°

Simpulan

Hasil kalibrasi pengukuran torsi dan *sinkage* menunjukkan nilai R^2 yang cukup baik. Mekanisme pengendalian arah gerak maju traktor masih kaku. Kinerja roda sirip lurus dengan sudut 30° lebih baik dari kinerja sirip kurva dengan sudut 80°. Namun demikian, hasil pengujian kecepatan maju kedua roda traksi tersebut, yakni roda traksi sirip lurus dan roda traksi sirip kurva belum mencapai standar kecepatan maju traktor atau mesin pertanian untuk kegiatan pemeliharaan tanaman padi yakni antara 1.8 - 2.5 km/jam, di mana nilai rataan kecepatan maju tertinggi hasil pengujian traktor satu roda adalah 1.15 km/jam.

Daftar Pustaka

Sakai, J., R.G. Sitompul, E.N. Sembiring, R.P.A. Setiawan, I.N. Suastawa, T. Mandang. 1998. *Traktor 2-Roda*. Bogor (ID): Laboratorium Alat dan Mesin Budidaya Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian.

Setiawan, R.P.A., I.W. Astika, D.M. Subrata, A. Azis. Design of iron wheel of a light tractor for crop maintenance in unconsolidated paddy field. Di dalam: Sutiarso L, *et al*., editor. [Internet]. *The International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering (ISABE);* August 28-29 2013; Yogyakarta, Indonesia: Departement of Agricultural Engineering Faculty of Agricultural Technology UGM.

Taufiq, M., T. Mandang, W. Hermawan. 2017. Analisis Kinerja Traksi Roda Besi Bersirip di Lahan Sawah. Jurnal Keteknikan Pertanian Vol.5(1): 23-32.

Triratanasirichai, K., A. Oida, M. Honda. 1990. The performance of cage wheels for small power tillers in agricultural soil. *Journal of Terramechanics* 27(3):193-205.

Ubaidillah. 2016. Analisis Empiris Kinerja Traksi Roda Ramping Bersirip Di Lahan Basah [Thesis]. Bogor (ID): Bogor Agricultral University (IPB).

Ubaidillah., W. Hermawan, R.P.A. Setiawan. 2017. Kinerja Traksi Roda Ramping Bersirip pada Berbagai Kombinasi Jumlah dan Sudut Sirip di Tanah Sawah Berlumpur. Jurnal Keteknikan Pertanian Vol.5(1): 15-22.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JTEP Jurnal Keteknikan Pertanian, Agustus 2019
Vol. 7 No. 2, p 155-162
P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Tersedia online OJS pada:
http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep
DOI: 10.19028/jtep.07.2.155-162

Technical Paper

Rancangan Kemasan dengan Indikator Warna untuk Deteksi Tingkat Kematangan Buah Alpukat

Packaging Design with Color Indicator to Detect Ripeness Levels of Avocado Fruit

Meika Wahyuni Azrita, Program Studi Teknologi Pascapanen, Institut Pertanian Bogor.
Email: meikaazrita@gmail.com
Usman Ahmad*, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: uahmad2010@gmail.com
Emmy Darmawati, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email:emi_handono@yahoo.com

Abstract

Determining the ripeness levels of avocados is still having difficulties because the fruit does not change color when ripe. Smart labels based on color indicators of ammonium molybdate with potassium permanganate can be used to detect the maturity of avocados by detecting ethylene gas (C_2H_4) produced during the ripening process. This study aims to examine the physiological and physicochemical changes that occur in avocados during the ripening process, design packaging of color indicator labels to determine the level of maturity of avocados and changes in color indicators to the maturity level of avocados. Parameters measured were respiration rate and ethylene production, hardness, total dissolved solids and color change. The data obtained were tested using ANOVA and Duncan's further test to obtain the best treatment. The best performance was obtained from label composed by 2 grams ammonium molibdat and 3 grams potassium permanganate with a good and even color gradation as responses to different level of ripeness by detecting the presence of ethylene in packaging.

Keywords*: color indicator label, avocado, ammonium molybdate, potassium permanganate, ethylene*

Abstrak

Penentuan kematangan buah alpukat masih mengalami kesulitan karena buah tidak mengalami perubahan warna saat matang. Label cerdas berbasis indikator warna amonium molibdat dengan kalium permanganat dapat digunakan untuk mendeteksi kematangan buah alpukat dengan mendeteksi gas etilen (C_2H_4) yang dihasilkan selama proses pematangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan fisiologi dan fisiko kimia yang terjadi pada buah alpukat selama proses pematangan, perancangan kemasan label indikator warna untuk mengetahui tingkat kematangan buah alpukat dan perubahan indikator warna terhadap tingkat kematangan buah alpukat. Parameter yang diukur adalah laju respirasi dan pembentukan etilen, kekerasan, total padatan terlarut dan uji warna. Data yang diperoleh diuji dengan ANOVA dan dilakukan uji lanjut Duncan untuk mendapatkan perlakuan terbaik. Kinerja terbaik diperoleh dari label yang disusun oleh 2 gram amonium molibdat dan 3 gram kalium permanganat dengan respon gradasi warna yang baik dan merata terhadap tingkat kematangan yang berbeda dengan mendeteksi keberadaan etilen dalam kemasan.

Kata kunci: label indikator warna, buah alpukat, amonium molibdat, kalium permanganat, etilen

Diterima: 15 April 2019; Disetujui: 22 Juni 2019

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pendahuluan

Alpukat merupakan salah satu buah tropis yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat karena banyak mengandung lemak dan protein yang baik untuk tubuh. Buah alpukat termasuk satu komoditas utama mendapat prioritas dibidang penelitian dan perdagangan selain jeruk, pisang, nanas dan mangga. Pada tahun 2013 produksi alpukat yaitu 289,893 ton, tahun 2014 sebesar 307,318 ton, tahun 2015 sebesar 382,537 ton, tahun 2016 yaitu 304,932 ton dan pada tahun 2017 produksi alpukat mencapai 363,148 ton (BPS 2019).

Alpukat adalah buah klimaterik yang mengalami lonjakan respirasi dan produksi etilen setelah dipanen, yang mempengaruhi perubahan fisiologis dan biokimia yang terjadi selama pematangan (Giovannoni 2001). Dibandingkan dengan buah-buahan klimakterik lainnya, alpukat menghasilkan jumlah etilen yang tinggi (80−100 $\mu Lkg^{-1}jam^{-1}$ pada 20°C) saat pematangan (Seymour dan Tucker 1993). Tingkat kematangan alpukat mempengaruhi mutu dan kualitas buah. Mengetahui tingkat kematangan tidaklah mudah, terutama jika buah tidak mengalami perubahan warna kulit setelah proses kematangan. Namun demikian, seiring waktu, buah akan melunak karena penurunan tekanan turgor pada dinding sel. Dalam menduga tingkat kematangan, konsumen sering melakukannya dengan menekan buah untuk memastikan tingkat kekerasan buah. Praktik ini akan meninggalkan memar pada buah kemudian akan merusak kualitasnya.

Label indikator kematangan dapat memudahkan konsumen dalam menduga tingkat kematangan buah alpukat tanpa menekannya. Label ini bekerja berdasarkan pada perubahan warna sehingga dapat dengan mudah dilihat biasanya dikenal dengan istilah kemasan cerdas. Kemasan cerdas adalah sistem melekat sebagai label, yang dimasukan ke dalam kemasan, atau dicetak ke bahan kemasan untuk memantau kualitas produk (Kerry dan Butler 2008). Syamsu *et al*. (2016) meneliti label indikator menggunakan nano zeolit sebagai penyerap etilen. Hasil penelitiannya, nano zeolit berpotensi dikembangkan untuk indikator kematangan. Nano zeolit dipilih sebagai matriks penyerap amonium molibdat sehingga akan dihasilkan label indikator kematangan yang dapat berubah warna yang dapat menginformasikan jika terjadi peningkatan etilen. Reaksi yang terjadi antara senyawa yang dihasilkan produk selama proses penyimpanan dengan label indikator akan menghasilkan perubahan warna pada label indikator yang merupakan prinsip kerja label indikator sebagai kemasan cerdas.

Penelitian ini bertujuan untuk 1) mengkaji perubahan fisiologi dan fisiko-kimia yang terjadi pada buah alpukat mentega selama proses pematangan, 2) perancangan kemasan dengan label indikator warna untuk mengetahui tingkat kematangan buah alpukat selama penyimpanan.

Bahan dan Metode

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah buah alpukat mentega dari petani Depok. Bahan kimia lain berupa gas etilen dan gas oksigen, bahan penyerap kalium permanganat ($KMnO_4$), ammonium molibdat [$(NH_4)_6MO_7O_{24.4}H_2O$], hidrogen peroksida (H_2O_2), dan polivinil alkohol (PVA). Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah gas kromatografi, *chromameter*, wadah polypropylene (PP) dimensi 17 x 9 x 11.5 cm, karet *stopper*, refraktometer dan *rheometer.*

Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri atas tiga tahapan yaitu 1) formulasi bahan dan pembuatan indikator warna, 2) menentukan parameter kematangan buah alpukat berdasarkan karakteristik fisiologisnya, dan 3) perancangan kemasan dan pengujian buah alpukat dengan indikator warna untuk deteksi tingkat kematangan buah.

1. Formulasi Bahan dan Pembuatan Indikator Warna

Langkah awal dalam pembuatan label indikator kematangan adalah untuk menghasilkan formulasi bahan pewarna yang berfungsi sebagai indikator. Tujuannya adalah menghasilkan larutan pewarna yang sensitif terhadap senyawa etilen. Berdasarkan hasil dari pra penelitian didapatkan hasil yaitu larutan dibuat dari ammonium molibdat sebagai zat terlarut dan hidrogen peroksida sebagai pelarut. Ammonium molibdat sebanyak 1, 2 dan 3 gram dilarutkan dalam 10 ml hidrogen peroksida lalu ditambahkan larutan kalium permanganat sebanyak 1, 3 dan 5 ml. Pencampuran ammonium molibdat dengan pelarut hidrogen peroksida dilakukan dengan menuangkan ammonium molibdat kedalam hidrogen peroksida. Jika dilakukan sebaliknya akan menyebabkan kehilangan panas yang berlebihan dan bisa berbahaya. Pencampuran larutan kalium permanganat dilakukan setelah semua ammonium molibdat terlarut secara rata pada hidrogen peroksida ditandai dengan warna larutan berubah menjadi kuning. Ammonium molibdat adalah senyawa kristal berwarna kuning transparan dan akan mengalami perubahan warna setelah bereaksi.

2. Menentukan parameter kematangan buah alpukat berdasarkan karakteristik fisiologisnya

Karakteristik fisiologis buah alpukat termasuk laju respirasi dan produksi gas etilen diukur. Pengukuran perubahan fisiologis dilakukan dengan memasukkan buah alpukat ke dalam *chamber* lalu disimpan selama 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 hari pada suhu ruang (26C). Gas kromatografi digunakan untuk menganalisis laju respirasi dengan mengukur penyerapan oksigen. Gas kromatografi dihidupkan kurang lebih selama 45 menit sampai lampu petunjuk *ready* berkedip-kedip kemudian gas kromatografi siap digunakan. Pada saat

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

running selang penyaluran oksigen dari *chamber* etilen dan oksigen ke gas kromatografi dijepit oleh klip agar oksigen yang ada pada *chamber* tidak bocor (tidak ada sirkulasi udara). Pada saat pengukuran oksigen, klip ini dilepas sehingga oksigen yang ada pada ruang penyerapan terhubung dengan gas kromatografi untuk dilakukan pembacaan konsentrasi oksigen.

Analisis sampel etilen buah alpukat dilakukan dengan menggunakan gas kromatografi jenis FID (*Flame Ionization Detektor*). Pengukuran tersebut dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Bangunan Pertanian dengan menggunakan GC tipe D-263-50 Hitachi. Penginjeksian etilen dilakukan dengan cara mengambil sampel etilen dari ruang penyerapan dengan menggunakan *syringe* dan kemudian sampel diinjeksikan kedalam kolom yang terdapat pada gas kromatografi. Kolom yang digunakan untuk etilen analisis didorong dengan gas pendorong N_2 0.5 kgf/ menit dan gas kromatografi dihubungkan dengan rekorder grafik yang diberi kertas (Maicardinal, 1999).

Kemudian tahap selanjutnya dilakukan pengamatan parameter pada tekstur kekerasan, total padatan terlarut buah alpukat dan warna label indikator selama 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 hari.

3. *Perancangan kemasan buah alpukat dengan indikator warna untuk deteksi tingkat kematangan buah.*

Nilai dari hasil perbandingan perubahan fisiologis buah alpukat yaitu laju etilen dan laju respirasi dengan kekerasan dan TPT yang paling berpengaruh dijadikan dasar dalam merancang indikator kematangan.

Kegiatan utama pada perancangan kemasan adalah pengujian konsentrasi minimal gas etilen yang mampu mengubah indikator warna yang digunakan pada label. Percobaan dilakukan dengan menempatkan indikator warna pada salah satu sisi *chamber.* Suhu dan kelembaban ruangan disesuaikan pada 25ºC dan kemudian gas etilen pada berbagai konsentrasi disuntikkan ke dalam *chamber* melalui karet *stopper* yang ditempel pada penutup wadah. Pengujian tahap ini menggunakan komposisi gas etilen yang berbeda untuk setiap *chamber*, seperti 30, 40 dan 50 ppm. *Chamber* yang digunakan dalam pengujian ini memiliki dimensi 17 x 9 x 11.5 cm.

Degradasi warna pada label indikator diamati untuk melihat seberapa sensitif label tersebut pada gas etilen berbagai konsentrasi. Jika warna yang dihasilkan oleh label indikator makin beragam maka daya serap label indikator terhadap etilen semakin banyak. Selanjutnya, untuk membaca perubahan warna secara tepat dapat menggunakan chromameter.

Aplikasi Indikator Kematangan Pada Buah Alpukat

Label indikator kematangan diujicobakan pada alpukat yang dikemas dengan desain kemasan seperti pada tahap sebelumnya. Buah alpukat mengeluarkan etilen selama proses kematangannya dimana jumlah C_2H_4 yang dihasilkan bergantung pada keadaan kematangan buah. Jumlah etilen yang dihasilkan bisa di bawah 1µl kg^{-1} h^{-1}. Perubahan warna indikator seiring dengan hari penyimpanan buah alpukat dilihat secara visual dan dikuantifikasi dengan *chromameter* untuk identifikasi warna yang tepat. Pengukuran warna setiap sampel dilakukan sebanyak 2 kali. Data yang diperoleh digunakan sebagai dasar penentuan umur simpan buah alpukat yang diamati. Hal ini terjadi karena intensitas perubahan warna akan sejalan dengan jumlah etilen yang diproduksi oleh buah alpukat selama penyimpanan. Pada awal masa penyimpanan, produksi etilen buah alpukat relatif sedikit sehingga tingkat oksidasi pun masih rendah, akibatnya warna label indikator belum banyak berubah. Seiring dengan berjalannya waktu penyimpanan hingga waktu klimakterik, dimana produksi etilen semakin tinggi maka reaksi oksidasi akan semakin tinggi pula sehingga warna label indikator akan semakin berubah.

Analisis Data

Analisis statistik menggunakan Rancangan Acak Lengkap 2 faktorial. Kemudian diukur dengan metode eksperimental duplo dimana pelipat gandaan percobaan menjadi dua kali percobaan. Metode ini dilakukan untuk membandingkan nilai hasil pengukuran yang pertama dan kedua agar tidak terjadi kesalahan yang signifikan atau mengurangi faktor kesalahan. Faktor pertama yang digunakan adalah pemberian amonium molibdat (A) sebanyak 1, 2 dan 3 gram selanjutnya faktor kedua adalah pemberian larutan $KMnO_4$ (K) dengan dosis 1, 3 dan 5 ml terhadap lama penyimpanan 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 hari sehingga didapatkan 9 perlakuan yaitu A1K1, A1K3, A1K5, A2K1, A2K3, A2K5, A3K1, A3K3 dan A3K5. Data yang diperoleh akan diuji dengan ANOVA dengan tingkat kepercayaan 95% dan jika antar perlakuan berbeda nyata maka akan dilakuka Uji lanjut Duncan untuk mendapatkan perlakuan terbaik.

Hasil dan Pembahasan

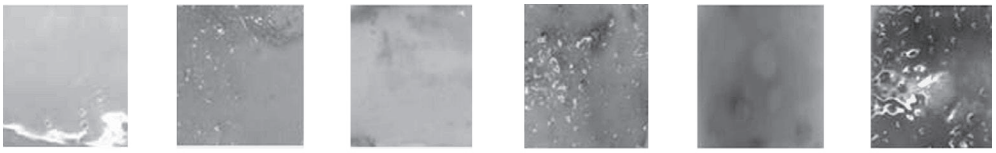
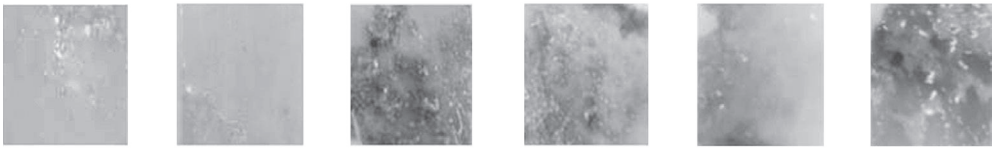
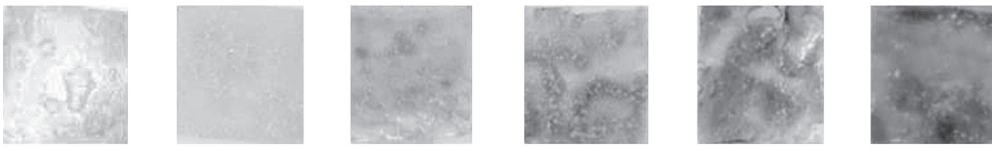
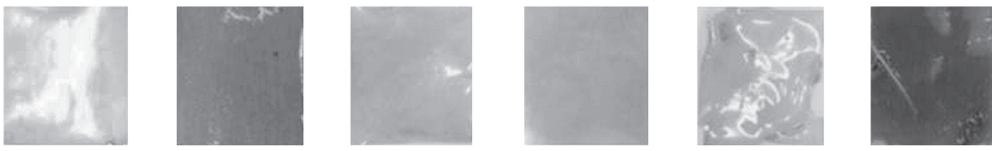
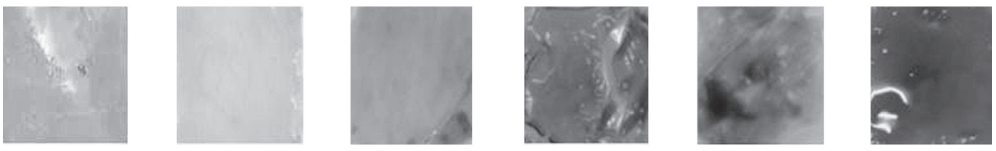
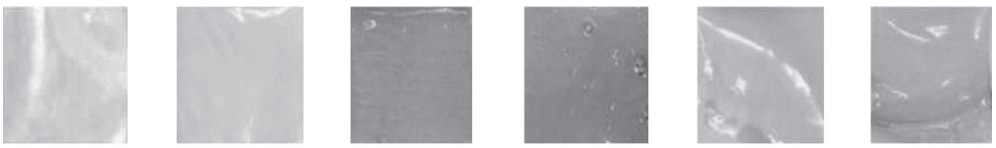
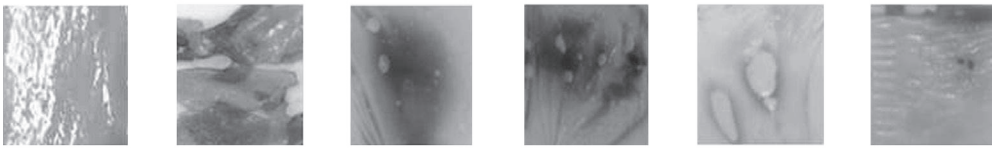
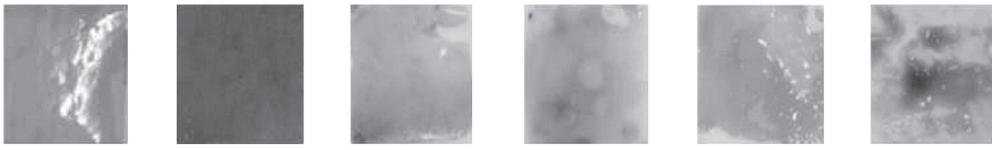
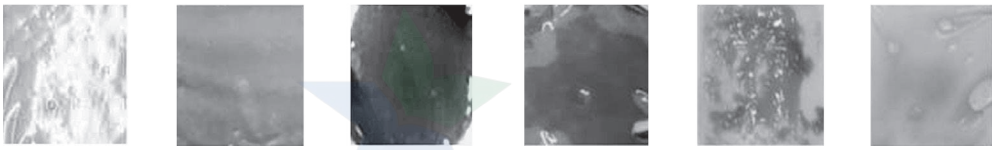
Formulasi Bahan dan Pembuatan Indikator Warna

Indikator label menggunakan ammonium molibdat ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}$) sebagai indikator pewarna, hidrogen peroksida (H_2O_2) sebagai zat pelarut dan larutan $KMnO_4$ sebagai pendeteksi etilen. Amonium molibdat yang lebih tinggi konsentrasi membuat reaksi agresif karena mengandung kandungan logam. Tetapi jika rendah konsentrasi, maka sensitivitas label indikator akan berkurang. Hal ini berarti larutan warna yang kurang terkonsentrasi mengandung lebih sedikit amonium molibdat. Jika mengandung sedikit ammonium molibdat, maka film ini akan mengalami penyerapan etilen yang buruk yang mana perubahan warna pada label tidak muncul dengan jelas.

Tabel 1 menunjukan hasil perubahan indikator warna antara ammonium molibdat dan $KMnO_4$. Pada tahap ini dilakukan pemilihan konsentrasi antara ammonium molibdat dan $KMnO_4$. Hal ini dilakukan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1. Pengaruh konsentrasi ammonium molibdat dan $KMnO_4$ terhadap perubahan warna label.

Perlakuan	Hari					
	0	2	4	6	8	10
A1K1						
Penampakan	Terdapat gelembung-gelembung udara pada indikator					
A1K3						
Penampakan	Terdapat gelembung-gelembung udara pada indikator					
A1K5						
Penampakan	Terdapat gelembung-gelembung udara pada indikator					
A2K1						
Penampakan	Terdapat sedikit gelembung pada indikator					
A2K3						
Penampakan	Terdapat sedikit gelembung pada indikator					
A2K5						
Penampakan	Terdapat sedikit gelembung pada indikator					
A3K1						
Penampakan	Tidak terdapat gelembung namun indikator mudah hancur					
A3K3						
Penampakan	Tidak terdapat gelembung namun indikator mudah hancur					
A3K5						
Penampakan	Tidak terdapat gelembung namun indikator mudah hancur					

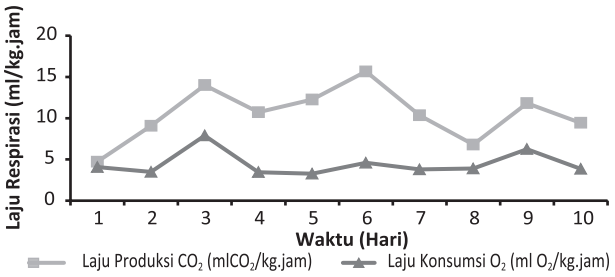
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

untuk mengetahui pengaruh konsentrasi antara ammonium molibdat dan $KMnO_4$ terhadap perubahan warna label. Hasil penelitian menunjukan bahwa konsentrasi terbaik antara ammonium molibdat dan $KMnO_4$ yaitu A2K3. Perubahan indikator warna A2K3 dari kuning menjadi warna hijau dimulai dari hari ke 2 secara merata dan konsisten. Hasil tersebut sesuai dengan Harmaji (2017) yang menghasilkan warna label indikator yang tercampur gas etilen berubah menjadi hijau. Hal tersebut menunjukan semakin rendahnya konsentrasi antara ammonium molibdat dan $KMnO_4$ tidak menghasilkan warna yang maksimal dan merata sedangkan konsentrasi antara ammonium molibdat dan $KMnO_4$ yang tinggi menghasilkan warna yang terlalu pekat.

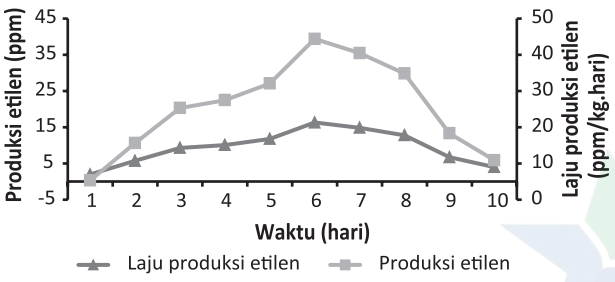
Perubahan Fisiologi Buah Alpukat

Laju Respirasi Buah Alpukat

Setelah dilakukan pengukuran laju respirasi (Gambar 1), diketahui bahwa laju produksi CO_2 memiliki nilai tertinggi pada hari ke 6 sebesar 15.66 ml/kg.jam kemudian mengalami penurunan pada hari berikutnya dan nilai terendah pada hari ke 1 sebesar 4.72 ml/kg.jam. Selanjutnya, pada laju konsumsi O_2 nilai tertinggi sebesar 7.89 ml/kg.jam pada hari ke 3 dan nilai terendah pada hari ke 5 sebesar 3.26 ml/kg.jam. Menurut Winarno dan Aman (1979), rasio antara CO_2 yang dihasilkan buah dengan O_2 yang dikonsumsi buah disebut RQ (*Respiratory Quotient*). Apabila nilai RQ adalah 1.0 kemungkinan besar bahan yang dioksidasi seluruhnya adalah karbohidrat (gula), sedangkan jika nilai RQ sebesar 0.80 maka bahan yang dioksidasi adalah lemak, lalu untuk RQ sebesar 0.71 berarti respirasi dilangsungkan dengan hanya mengoksidasi protein saja, dan bila RQ berkisar antara 0.71-1.0 maka bahan yang dioksidasi adalah campuran. Nilai RQ buah alpukat selama penyimpanan berkisar antara 0.71-1.0 maka bahan yang dioksidasi alpukat selama respirasi adalah campuran antara lemak, protein, dan karbohidrat.



Gambar 1. Laju respirasi buah alpukat.



Gambar 2. Laju produksi etilen dan produksi etilen buah alpukat.

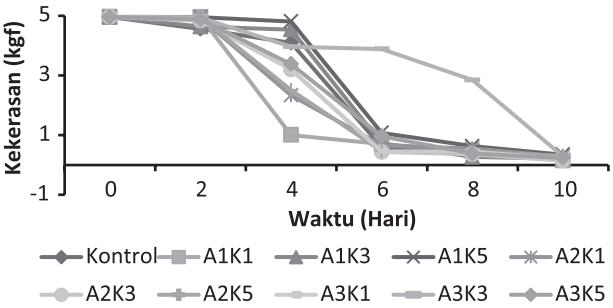
Laju dan Produksi Etilen Buah Alpukat

Dalam pengamatan ini, hasil penelitian laju dan produksi etilen (Gambar 2) diketahui bahwa laju dan produksi etilen mengalami puncak pada hari ke 6 masing-masing sebesar 16.28 ppm/kg.hari dan 44.37 ppm yang terus mengalami penurunan pada hari selanjutnya sampai buah mengalami kerusakkan. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Nurjanah (2002), bahwa proses pematangan buah akan memperlihatkan terjadinya peningkatan produksi gas etilen hingga mencapai puncak tertentu, setelah itu jumlahnya akan mengalami penurunan seiring dengan berakhirnya proses kematangan buah alpukat.

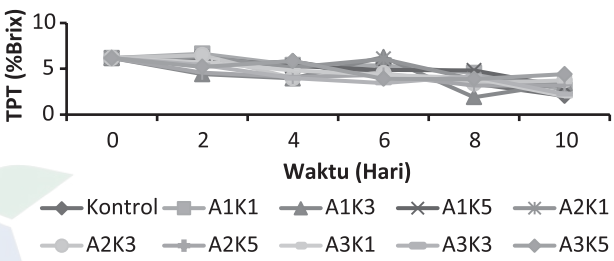
Pengamatan Parameter Buah Alpukat

Kekerasan Buah Alpukat

Terjadinya penurunan kekerasan merupakan akibat dari reaksi laju respirasi alpukat, terlihat dari Gambar 1 dan Gambar 3 yang menunjukan saat laju respirasi meningkat maka besar penurunan nilai kekerasan alpukat juga meningkat, namun setelah mencapai puncak klimakterik meskipun laju respirasi menurunan tetapi tidak diikuti dengan meningkatnya nilai kekerasan, hal ini disebabkan karena telah terjadi perombakan protopektin selama penurunan nilai kekerasan sebelumnya. Menurut Syafutri et al. (2006) menurunnya tingkat kekerasan dapat disebabkan oleh proses respirasi. Pada proses respirasi, terjadi pecahnya karbohidrat menjadi senyawa-senyawa



Gambar 3. Kekerasan Buah Alpukat.



Gambar 4. Total padatan terlarut buah alpukat.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

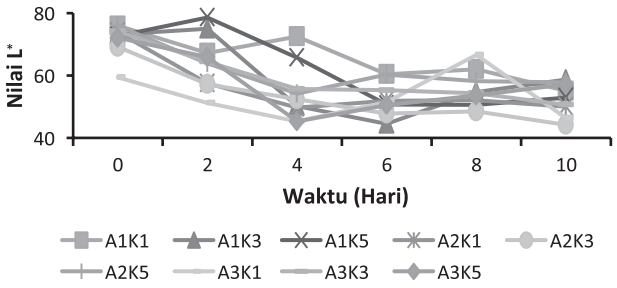
yang lebih sederhana sehingga jaringan pada komoditi menjadi lunak. Berdasarkan Gambar 11 terlihat grafik kekerasan buah alpukat mengalami penurunan di semua perlakuan dan kontrol.

Total Padatan Terlarut Buah Alpukat

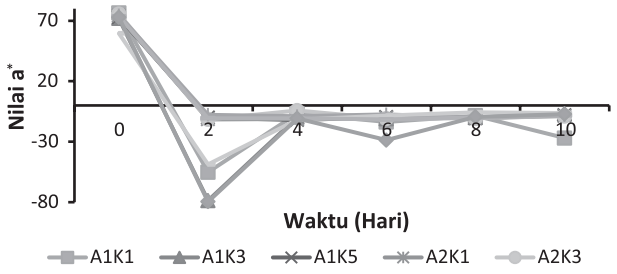
Bila merujuk pada laju respirasi maka terlihat ada keterkaitan dengan nilai total padatan terlarut, terlihat saat laju respirasi meningkat maka nilai total padatan terlarut juga meningkat, namun kondisi tersebut tidak pasti terjadi. Selama proses pematangan buah menghasilkan gas etilen yang terakumulasi selama proses pematangan dan mengakibatkan proses metabolisme yang berlangsung secara terus-menerus sehingga perombakan pati menjadi glukosa berlangsung dengan cepat. Menurut Pantastico (1989) menyatakan bahwa semakin banyak total padatan terlarut pada buah alpukat maka semakin banyak pula yang terlarut didalamnya, dan sebaliknya semakin sedikit total padatan terlarut maka semakin sedikit pula pula yang terlarut didalamnya. Hasil uji total padatan terlarut dapat dilihat pada Gambar 4.

Perubahan Warna Label Indikator

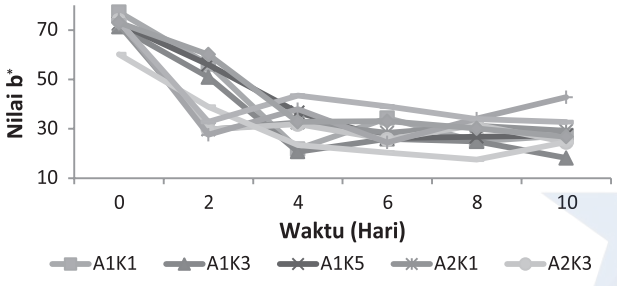
Ruang warna L*a*b* adalah teori yang menyatakan bahwa dua warna tidak bisa merah dan hijau pada waktu yang sama atau kuning dan biru pada saat waktu yang sama. Nilai L* menunjukan light/ terang, a* menunjukan koordinat warna merah/ hijau dan b* adalah koordinat warna biru/ kuning.



Gambar 5. Nilai L* label indikator warna.



Gambar 6. Nilai a* label indikator warna.



Gambar 7. Nilai b* label indikator warna

Nilai L*

Nilai L* berdasarkan perlakuan A1K1 menunjukan perngaruh berbeda nyata pada dengan semua perlakuan. Sementara perlakuan A1K5 menunjukan perngaruh tidak berbeda nyata pada dengan perlakuan A2K5. Selanjutnya, berdasarkan lama penyimpanan pada hari ke 4 menunjukan perngaruh tidak berbeda nyata pada hari ke 6, 8 dam 10 namun menunjukan perngaruh berbeda nyata pada hari ke 0 dan 2. Hasil pengukuran perubahan warna nilai L* label indikator warna dapat dilihat pada Gambar 5.

Nilai a*

Nilai a* berdasarkan perlakuan A1K1 tidak menunjukan perngaruh berbeda nyata pada dengan A1K3 dan A3K5. Sementara perlakuan A2K5 menunjukan perngaruh berbeda nyata pada dengan perlakuan A3K3, A3K1 dan A1K1. Selanjutnya, berdasarkan lama penyimpanan pada hari ke 4 menunjukan perngaruh tidak berbeda nyata pada hari ke 6, 8 dam 10 namun menunjukan perngaruh berbeda nyata pada hari ke 0 dan 2. Pada Gambar 6 dijelaskan bahwa nilai a* pada label indikator warna mengalami penurunan selama masa penyimpanan. Hal itu menunjukan warna pada label indikator cenderung berwarna hijau dari hari ke hari.

Nilai b*

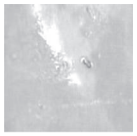
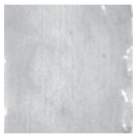
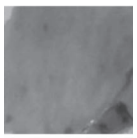
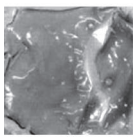
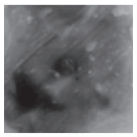
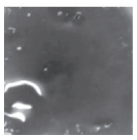
Nilai b* berdasarkan perlakuan A3K1 menunjukan perngaruh berbeda nyata pada dengan semua perlakuan. Sementara perlakuan A1K1 menunjukan perngaruh tidak berbeda nyata pada dengan perlakuan A2K5. Selanjutnya, berdasarkan lama penyimpanan pada hari ke 4 menunjukan perngaruh tidak berbeda nyata pada hari ke 6, 8 dam 10 namun menunjukan perngaruh berbeda nyata pada hari ke 0 dan 2. Hasil pengukuran perubahan warna nilai b* label indikator warna dapat dilihat pada Gambar 7.

Hubungan Warna Label sebagai Parameter Kematangan Buah Alpukat

Hubungan respon perubahan warna label dengan nilai hasil pengujian parameter kematangan buah alpukat seperti kekerasan, total padatan terlarut dan indikator perubahan warna nilai L*, a* dan b* sangat penting dilakukan untuk mengetahui tingkat sensitivitas label dalam mendeteksi kesegaran buah alpukat. Hasil penelitian menunjukan bahwa konsentrasi terbaik dari A2K3. Hubungan kematangan buah alpukat dengan warna label dapat dilihat pada Tabel 2. Perubahan warna yang terjadi yaitu dari kuning terang menjadi hijau gelap. Semakin lama waktu penyimpanan buah alpukat maka mengalami penurunan nilai kekerasan dan TPT yang berarti mutu buah alpukat semakin menurun. Label indikator warna menunjukan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 2. Hubungan kematangan buah alpukat dengan warna label indicator.

Lama penyimpanan (hari)	Parameter Kematangan buah alpukat					Warna Label Indikator
	Kekerasan (kgf)	TPT (%Brix)	Nilai L*	Nilai a*	Nilai b*	
0	4.95	6.17	69.12	75.60	73.82	
2	4.83	6.47	57.22	-11.50	29.72	
4	3.19	3.97	52.36	-4.25	31.84	
6	0.43	4.50	47.77	-10.93	25.60	
8	0.35	3.40	48.46	-10.64	31.65	
10	0.14	3.73	44.15	-8.76	24.60	

perubahan warna pada hari ke 0 sampai hari ke 10 menjadi hijau gelap dengan nilai L*, a* dan b* masing-masing sebesar 44.15, -8.76 dan 24.60 yang berarti buah alpukat sudah mengalami kerusakan atau tidak layak dikonsumsi (busuk). Perubahan warna ini sesuai dengan keadaan visual dari indikator label yang telah mengalami perubahan kematangan buah alpukat dengan buah yang telah lunak teksturnya dan juga mengeluarkan bau busuk.

Simpulan

Label indikator perubahan warna ammonium molibdat–kalium permanganat terbaik adalah perlakuan 2 gram ammonium molibdat and 3 gram kalium permanganate karena memiliki respon gradasi warna yang baik dan merata sehingga berpotensi sebagai pendeteksi keberadaan etilen dalam kemasan. Respon label indikator warna dalam mendeteksi etilen ditandai dengan perubahan warna dari kuning terang menjadi hijau gelap. Nilai L*, a* dan b* indikator tersebut menunjukan perubahan yang signifikan selama penyimpanan.

Daftar Pustaka

Badan Pusat Statistik. 2019. Produksi Buah-Buahan. www.bps.go.id . Diakses tanggal 21 Juli 2019.

Giovannoni, J. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. Annu.Rev.Plant Physiol. 52:725-749.

Harmaji, D.D. 2017. Label cerdas pendeteksi kematangan buah klimaterik berbahan PVA (polivinil alkohol). (Skripsi). IPB. Bogor

Kerry, J. and P. Butler. 2008. Smart packaging technologies for fast moving consumer goods. John wiley & sons, Ltd. England

Maicardinal. 1999. Mempelajari Efektivitas Sistem Penyerap Etilen dengan Kalium Permanganat ($KMnO_4$) dan Pengaruhnya terhadap Konsentrasi CO_2 pada Penyimpanan Buah Segar. (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor

Nurjanah, S. 2002. Kajian laju respirasi dan produksi etilen sebagai dasar penentuan waktu simpan sayuran dan buah-buahan. J Bionatura. 4(3):148-156

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Pantastico, E.R.B. 1989. Fisologi pascapanen, penanganan dan pemanfaatan buah-buahan dan sayur-sayuran tropika dan sub tropika. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta

Seymour, G. dan G. Tucker. 1993. Avocado, in: biochemistry of fruit ripening, Chapman and Hall, London, UK, Vol. 1: 53−81

Syafutri, M.I., F. Pratama dan D. Saputra. 2006. Sifat fisik dan kimia buah mangga (Mangifera indica L.) selama penyimpanan dengan berbagai metode pengemasan. J Teknol dan Indust Pangan. 17(1)

Winarno, F.G., dan M. Aman. 1979. Fisiologi Lepas Panen. Jakarta (ID). Sastra Hudaya.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PEDOMAN PENULISAN

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan media publikasi untuk tulisan asli yang belum pernah diterbitkan di dalam jurnal ilmiah nasional maupun internasional, dan berkaitan dengan teknik pertanian (*Agricultural Engineering*) secara luas.

1. Pedoman Umum

Naskah termasuk *Abstract* diketik menggunakan program *Microsoft Word* huruf *Times New Roman* 12 point (font 12), ukuran kertas A4 (21x29.5cm). Pias 3 cm, spasi 1.5, maksimum 15 halaman termasuk tabel dan gambar serta diberi nomor halaman pada sudut bawah sebelah kanan. Tabel dan gambar diletakkan pada akhir naskah atau pada lembar dan *file* terpisah. Tambahkan nomor baris dan nomor halaman pada naskah. Pengiriman naskah dilakukan melalui *Online Submission* pada *Open Journal Syatem* (OJS) pada website http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep.

Naskah diunggah dengan tanpa menyertakan nama penulis dan isntasinya. Apabila mengalami kesulitan dalam melakukan *online submission* dapat menghubungi redaksi JTEP pada alamat:

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Dramaga, Bogor 16690.
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Telepon: 0251-8624503 HP: 0815 1044 0804

2. Susunan Naskah

Naskah disusun dalam urutan Judul, Penulis dan alamat instansinya, *Abstract*, Pendahuluan, Bahan dan Metode, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terima Kasih, Daftar Pustaka, Tabel dan Gambar. Naskah undangan tidak harus mempunyai susunan seperti tersebut di atas.

3. Judul

Judul memberikan subyek penelitian dengan ringkas dan dicetak tebal (*bold*) dengan huruf kapital pada setiap awal kata, kecuali untuk kata depan dan kata sambung. Untuk naskah dalam Bahasa Indonesia harus disertai judul dalam Bahasa Inggris yang dicetak miring (*italic*). Judul dalam Bahasa Indonesia tidak lebih dari 14 kata dan dalam Bahasa Inggris tidak lebih dari 10 kata. Nama lengkap, nama lembaga afiliasi serta alamat para penulis, ditulis secara berurutan di bawah Judul. Tambahkan alamat email pada nama penulis untuk korespondensi.

Contoh Penulisan Judul:

Pemodelan Sistem Filtrasi Terkendali pada Sistem Resikulasi Pembenihan Ikan
Modeling Controlled Filtration System in Fish Hatchery Recirculation System

Alfin Najwan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor,
Email: najwan@yahoo.com
Ikhlasul Amal, Departemen Budidaya Perairan, Institut Pertanian Bogor.

4. Abstract dan Kata Kunci

Abstract menggambarkan esensi isi keseluruhan tulisan dan di dalamnya tidak terdapat kutipan pustaka. *Abstract* ditulis dalam bahasa Inggris dan bahasa Indonesia dalam satu paragraf tidak lebih dari **200** kata. Kata kunci ditulis setelah *Abstarct* maksimum 5 kata, masing-masing dalam bahasa Inggris dan Indonesia. Kata kunci yang ditulis pertama merupakan kata kunci yang terpenting.

5. Naskah Utama

Penulisan sub judul utama (Pendahuluan, Bahan dan Metode, Hasil dan Pembahasan, Simpulan dan Ucapan Terima Kasih) menggunakan huruf kapital pada setiap awal kata, tanpa nomor, dicetak tebal dan posisi di tengah.

Pendahuluan menjelaskan alasan mengapa penelitian dilakukan, perumusan dan pemecahan masalah, status ilmiah (*state of the art*) penelitian-penelitian terdahulu serta tujuan dan hasil penelitian yang diharapkan.

Bahan dan Metode menjelaskan bagaimana penelitian dilakukan atau cara-cara untuk mencapai tujuan penelitian.

Hasil dan Pembahasan mencantumkan data yang diperoleh, analisis data, temuan-temuan yang spesifik serta perbandingannya dengan penelitian-penelitian terdahulu secara berurutan sesuai dengan urutan dalam tujuan. Hindari penyajian tabel dan gambar dari data yang sama.

Simpulan harus mengacu pada tujuan penelitian

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dan berisi simpulan hasil penelitian secara umum bukan mengulang abstrak.

Sub-sub judul ditulis dengan huruf kapital pada setiap awal kata, tanpa nomor, dicetak tebal dan posisi di sebelah kiri. Kata/kalimat dalam bahasa asing ditulis miring. Nama organisma harus diikuti dengan nama ilmiahnya secara lengkap pada pengungkapan pertama. Singkatan pertama kali ditulis di dalam kurung setelah kata-kata yang disingkatnya. Penulisan angka mengggunakan US System seperti: 1,000,000 menyatakan satu juta dan 2.5 menyatakan dua lima per sepuluh. Sistem satuan yang digunakan adalah SI Unit: cgs (centimeter, gram, second/detik). Simbol/notasi ditulis menggunakan huruf miring dan disertai keterangannya pada pengungkapan pertama. Persamaan diberi nomor urut yang dituliskan di belakang persamaan dan di dalam tanda kurung.

6. Tabel dan Gambar

Tabel ditulis dalam halaman terpisah setelah halaman terakhir dari naskah. Di dalam naskah cantumkan nomor dan judul tabel pada paragraf dimana tabel tersebut akan ditempatkan.

Contoh pada naskah:

…...Sifat fisik bahan pada masing-masing kadar air ditunjukkan pada Tabel 1.

[Tabel 1. Berat jenis lada berdasarkan kadar air]

Contoh pada halaman tabel:

Tabel 1. Berat jenis lada berdasarkan kadar air

Kadar Air (%)	Bulk density (g/cm^3)	Seed density (g/cm^3)
10.84	0.6423	11.492
17.80	0.6043	10.868

Gambar dibuat hitam putih (B/W) atau *greyscale* dalam lembaran terpisah pada halaman terakhir setelah halaman tabel. Apabila ukurannya besar, gambar dapat disimpan dalam file terpisah yang lain (*.jpg, *.gif,*.wmf atau *.emf). Di dalam naskah cantumkan nomor dan nama gambar pada paragraf dimana gambar tersebut akan diletakkan.

Contoh pada naskah:

…..(paragraf sebelumnya)

[Gambar 1. Perubahan suhu dengan waktu proses pengendalian]

…..(paragraf sesudahnya)

7. Daftar Pustaka

Daftar pustaka mencantumkan pustaka-pustaka bermutu (primer, mutakhir dan relevan) yang dirujuk saja. Pustaka diketik berdasarkan urutan alfabet dari nama akhir (nama keluarga) penulis pertama dan tahun. Apabila terdapat beberapa pustaka yang ditulis yang sama, tambahkan huruf ‘a’,’b’ dan seterusnya di belakang tahun. Pustaka dari internet hanya boleh di lakukan bila berasal dari lembaga yang resmi.

Berikut beberapa contoh penulisan pustaka :

Jurnal :

Suhardiyanto, H., M.M. Fuad dan Y. Widiningrum. 2007. Analisis pindah panas pada pendinginan dalam tanah untuk sistem hidroponik. Jurnal Keteknikan Pertanian Vol.21 (4):355-362.

Prosiding :

Fukuda, T., Y. Nakano, Kuroda, S. Takeuchi, B.I. Setiawan, A. Sapei and F. Nurrochmad. 2001. Water manajemen and water quality of paddyarea in Cidanau watershed at West Java. Proceedings of the 1st Seminar: Toward Harmonization between Development and Environmental Conservation in Biological Production, Tokyo, February 21-23, 2001. p 201-205.

Buku :

Morga, R.P.C. 1996. Soil Erosion and Conservation. 2ndEd. Longman. Harlow

Bab dalam buku :

Howell, T.A., F.K. Alijiburi, H.M. Gitlin, I. Pai Wu, A.W. Warrick dan P.A.C. Raats. 1980. Design and operation of trickle (drip) irrigation, in Jensen, M.E.(Ed.). Design and Operation of Farm Irrigation System. ASAE. Michigan. p 663-717.

Skripsi/Tesisi/Disertasi :

Arifanto, T. 2002. Teknik perbaikan filter fisik dan filter kimia pada sistem resirkulasi pembenihan ikan patin. (Skripsi). Departemen Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

FORMULIR PEMESANAN JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN[1]

Kepada Yth.
Sekertariat Jurnal Keteknikan Pertanian,
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
Tel: 0251-8624503 ; Fax: 0251-8623026
Email: jtep@ipb.ac.id & jurnaltep@yahoo.com; Website: http://web.ipb.ac.id/~jtep/

Bersama ini, saya

Nama	
Alamat	
Telp.	
HP	
Email	

1. Memesan Jurnal Keteknikan Pertanian: (*Harga Rp 150.000,- per eksemplar, belum termasuk ongkos kemas dan kirim*)

Vol/No/Tahun	
Jumlah	

2. Berlangganan Jurnal Keteknikan Pertanian: (*Harga Rp 400.000,- per volume, belum termasuk ongkos kemas dan kirim*)

Mulai Tahun	
Sampai Tahun	
Jumlah	

Pembayaran kami lakukan melalui wesel pos ke alamat redaksi/transfer, ke Rekening No.0595-01003461-50-9, BRI KPC IPB, a/n Jurnal Keteknikan Pertanian[2]. Bersama ini disampaikan bukti pembayarannya[3].

Pemesan,

[ ]

[1] Formulir pemesanan ini dapat di-download di http://web.ipb.ac.id/`jtep/
[2] Coret yang salah satu
[3] Pengiriman hanya dilakukan setelah Seketariat menerima bukti pembayaran

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

Vol. 7, No. 2, Agutus 2019

DAFTAR ISI

Review

137

Energi Terbarukan dari Jerami Padi : Review Potensi dan Tantangan Bagi Indonesia
Renewable Energy from Rice Straw: Review on Pontential and Challenges for Indonesia
Agus Haryanto, Siti Suharyatun, WindaRahmawati, Sugeng Triyono

Technical Paper

121

Pendugaan Emisi CO_2 dariLahan Gambut dengan Menggunakan Mode *Artificial Neural Network* (ANN)
Prediction ofPeatland's CO_2 Emissions Using Artificial NeuralNetwork (ANN) Model
Satyanto KridoSaptomo, Anna Farida, Yudi Chadirin, Budi Indra Setiawan, Kazutoshi Osawa

129

Desain dan Kinerja Mesin Ekstruder *Twin Screw* untuk Pembuatan Pakan Ikan Terapung
Design and Performance of Twin Screw Extruders for Producing Floating Fish Feed
Arif Rahman Hakim, Wahyu Tri Handoyo, Ahmat Fauzi, Widiarto Sarwono

147

Pengembangan Prototipe dan Pengujian Traktor Satu Roda untuk Pemeliharaan Tanaman Padi
Prototyping and Performance Test of Single Wheel Tractor for Rice Plants Maintenance
Jusran, Radite Praeko Agus Setiawan, I Dewa Made Subrata

155

Rancangan Kemasan dengan Indikator Warna untuk Deteksi Tingkat Kematangan Buah Alpukat
Packaging Design with Color Indicator to Detect Ripeness Levels of Avocado Fruit
Meika Wahyuni Azrita, Usman Ahmad, Emmy Darmawati

Penerbit:
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor
d/a Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
Email: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com, Website: http://web.ipb.ac.id/~jtep

9 772407 047070

EVALUASI DAN USULAN PENGEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN UNTUK KEBERLANGSUNGAN ENERGI NASIONAL

Dino Caesaron[1], Yona Maimury
E-mail: dino.caesaron@gmail.com[1]

Penulis

Dino Caesaron adalah dosen tetap sekaligus sekretaris program studi Teknik Industri Universitas Bunda Mulia. Menyelesaikan gelar sarjana Teknik Industri dilanjutkan dengan magister Teknik Industri di Universitas Indonesia, Depok. Bidang Peminatan: *Human Factors and Ergonomics*, Manajemen Kualitas

Abstract

Indonesian people currently consume non renewable energy as their primary energy. It makes Indonesia running out of inventory energy raw materials especially non renewable energy. Therefore, energy management and conservation is very needed. This study was aimed to define and analyze what become a constraint of renewable energy development, how to socialize renewable energy program to community and another management program to solve the problems. Fishbone diagram was used to identify the cause problems from the main effect and 5W1H methodology was used to define the proposed improvement.

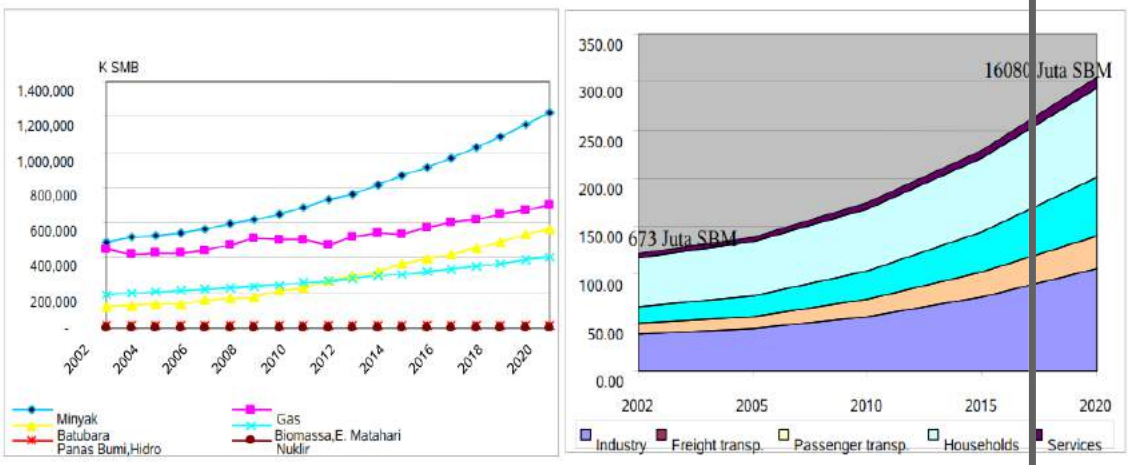
Keywords

Non renewable energy, renewable energy, energy conservation, fishbone diagram, 5W1H.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

1. Pendahuluan

Energi merupakan salah satu unsur yang diperlukan untuk mewujudkan negara yang sejahtera dan makmur. Energi juga merupakan penentu pembangunan suatu bangsa yang terus berlangsung mengikuti arus perkembangan jaman dan IPTEK (Ilmu Pengetahuan dan Teknologi). Oleh karenanya, kebutuhan akan energi merupakan suatu keharusan dan keberlanjutannya harus terus dipelihara. Namun, energi utama yang saat ini digunakan oleh bangsa Indonesia sendiri, kebanyakan merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui. Pertumbuhan yang semakin pesat di Indonesia, tidak dapat diimbangi dengan ketersediaan energi yang justru semakin menipis. Salah satu solusi terbaik untuk mengatasi hal ini adalah dengan melakukan konservasi energi, sementara para praktisi mulai mengimplementasikan energi
yang terbarukan ke dalam sistem pembangunan bangsa ini. Untuk merefleksikan sudah sampai sejauh mana Indonesia menyediakan energi terbarukan tersebut, dapat kita lihat pada grafik penyediaan energi nasional dan kebutuhan energi nasional berikut.



Gambar 1. Grafik Penyediaan dan Kebutuhan Energi Nasional
Sumber: Kusmayanto, 2006

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Indonesia kaya akan sumber daya alam yang melimpah, meliputi sumber daya fosil dan non fosil. Sumber daya fosil seperti BBM, saat ini merupakan kebutuhan utama untuk melakukan semua aktivitas dalam pembangunan negara, terutama aktivitas transportasi, yang sulit untuk digantikan dengan jenis energi lainnya. Sayangnya sumber daya fosil ini merupakan energi yang terbatas. Namun bukan suatu hal yang tidak mungkin apabila suatu saat bangsa ini dapat mandiri tanpa bergantungan dengan energi yang terbatas ini. Seperti yang kita ketahui juga, para ahli energi di berbagai dunia, sudah mulai mencari pengganti energi yang terbatas ini, yaitu dengan menggunakan sumber daya non fosil. Beberapa energi yang sudah diketemukan dan ternyata dapat menggantikan beberapa fungsi energi terbatas yaitu, energi hidro (pemanfaatan debit air), *solar energy*, bio-diesel, nuklir, air laut, dan angin.

Energi terbarukan tidak dapat begitu saja diaplikasikan. Hal ini memang terhalang berbagai faktor, dari pembiayaan modal awal pengembangan yang sangat mahal, kurangnya sumber daya manusia yang mampu dan mengerti mengenai implementasi energi terbarukan, sampai dengan teknologi yang kurang memadai. Namun seharusnya Indonesia dapat memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan, karena Indonesia memiliki potensi yang besar, sebagai contoh yaitu energi berasal dari energi air (hidro) sebesar 75.670 MW, tetapi justru hingga tahun 2008, pemanfaatannya hanya sebesar 4.200 MW saja.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini akan memberikan gambaran singkat keadaan energi terbarukan yang ada, serta memberikan analisis permasalahan dalam pengembangan energi terbarukan dan usulan pengembangan energi terbarukan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif deskriptif yang didukung dengan analisa SWOT (*strength, weakness, opportunity, and threat*) dan diagram tulang ikan (*Fishbone Diagram*).

3. Telaah Pustaka

Energi terbarukan merupakan energi yang jumlah ketersediaannya tidak terbatas dan dapat diperbaharui secara terus menerus. Energi ini berasal dari sumber daya non fosil. Contoh-contoh dari energi terbarukan, di antaranya (Lubis, 2007):

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

1. Energi Matahari
   Energi ini telah ada sejak lama dirasakan manusia. Disamping untuk mengeringkan sesuatu, pada jaman romawi kuno energi matahari yang dipusatkan pada cermin digunakan untuk membakar kapal-kapal.
2. Energi Laut
   Terdapat tiga macam energi dari laut, yaitu energi ombak, energi pasang surut, dan energi panas laut. Kenyataannya, yang paling mudah dimanfaatkan dan yang paling banyak jenisnya adalah pembangkit listrik tenaga ombak
3. Energi Angin
   Energi Kinetik dari angin dapat Digunakan untuk Menjalankan Turbin angin, Beberapa mampu memproduksi tenaga 5 MW. Keluaran tenaga Kubus adalah fungsi dari kecepatan angin, maka Turbin tersebut paling tidak membutuhkan angin dalam kisaran 5,5 m / d (20 km / j), dan dalam praktek sangat sedikit wilayah yang memiliki angin yang bertiup terus menerus.
4. Energi Air
   Pembangkit hidro adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi air untuk menghasilkan listrik.Energi mekanik yang dihasilkan turbin berasal dari energi kinetik air.
5. Energi Panas
   Energi panas bumi adalah energi yang diekstraksi dari panas yang tersimpan di dalam bumi. Energi panas bumi ini berasal dari aktivitas tektonik di dalam bumi yang terjadi sejak planet ini diciptakan. Panas ini juga berasal dari panas matahari yang diserap oleh permukaan bumi. Sekitar 10 Giga Watt pembangkit listrik tenaga panas bumi telah dipasang di seluruh dunia pada tahun 2007, dan menyumbang sekitar 0.3% total energi listrik dunia.
6. Bio-diesel
   Energi yang dihasilkan oleh biodiesel serupa dengan solar, sehingga engine torque dan tenaga kuda yang dihasilkan juga serupa. Selain itu biodiesel menghasilkan tingkat pelumasan mesin yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar.

Analisis SWOT adalah metode perencanaan strategis yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan (*strengths*), kelemahan (*weaknesses*), peluang (*opportunities*), dan ancaman (*threats*)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dalam suatu proyek atau suatu spekulasi bisnis. Keempat faktor itulah yang membentuk akronim SWOT (*strengths*, *weaknesses*, *opportunities*, dan *threats*). *Fishbone diagram* (diagram tulang ikan) sering juga disebut *Cause-and-Effect Diagram* atau *Ishikawa Diagram* diperkenalkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa, seorang ahli pengendalian kualitas dari Jepang, sebagai satu dari tujuh alat kualitas dasar (*7 basic quality tools*). *Fishbone diagram* digunakan ketika kita ingin mengidentifikasi kemungkinan penyebab (Tague, 2005, p. 247).

4. Analisis Dan Sintesis

Analisis Menggunakan SWOT

1. Kekuatan (*Strength*)

   Energi yang terbarukan merupakan energi yang tidak terbatas jumlahnya dan dapat diperbaharui, sehingga ketergantungan pada energi ini tidak menimbulkan resiko kelangkaan. Jika ditinjau dari segi harga, maka ketika energi terbarukan ini dijadikan proyek berjangka panjang, harganya akan jauh lebih murah dibanding dengan energi konvensional (fosil). Kemudian, energi terbarukan ini tidak melepaskan emisi karbon seperti pada energi berbahan dasar fosil, misalnya BBM, sehingga lebih ramah lingkungan. Indonesia pun mempunyai potensi yang besar untuk dapat mengembangkan energi terbarukan ini, dikarenakan sumber dayanya yang kaya berbasis non fosil (air, tumbuhan, panas matahari, dll).

2. Kelemahan (*Weakness*)

   Energi yang dihasilkan oleh energi terbarukan ini, hasilnya akan lebih sedikit dibanding dengan energi konvensional sehingga dikhawatirkan tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan penggunaan energi masyarakat kedepannya. Energi ini pun tidak dapat diandalkan setiap saat dikarenakan sifatnya yang berubah-berubah sesuai dengan cuaca, misalnya energi dari angin dan matahari. Lalu, untuk mengimplementasikan energi terbarukan ini juga tentunya memiliki biaya awal yang besar.

3. Peluang (*Opportunity*)

   Peluang yang dimiliki dari pengembangan energi terbarukan ini yaitu, membantu mendorong perekonomian negara dan banyak membuka peluang kerja yang baru; implementasinya bisa dilakukan di berbagai tempat (tidak tersentralisasi) sehingga untuk di daerah-daerah terpencil,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

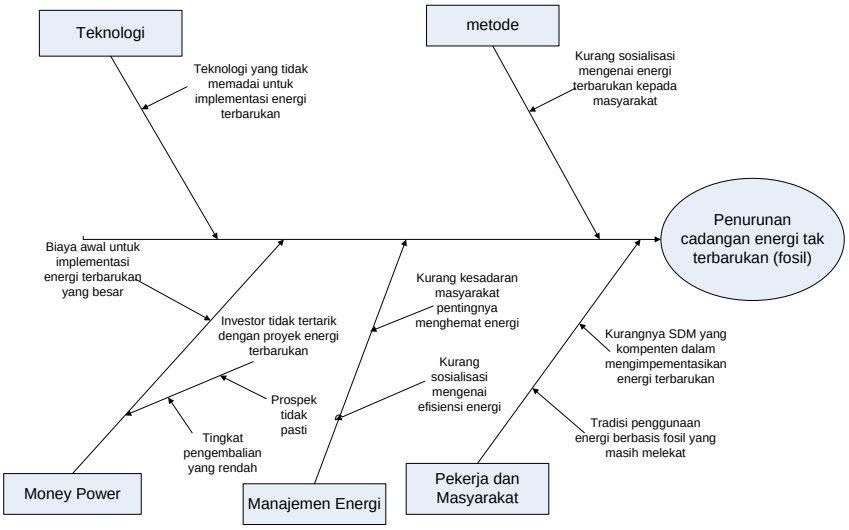
tidak akan kekurangan pasokkan energi; dapat mengurangi efek rumah kaca dikarenakan pengembangan energi terbarukan tidak melepaskan gas emisi karbon yang berbahaya; serta dapat menciptakan sumber daya manusia yang kompeten menangani masalah energi terbarukan.

4. Ancaman (*Threat*)

   Ancaman yang dirasa akan muncul ketika dilakukan pengembangan energi terbarukan ini yaitu, Sumber daya manusia dan teknologi yang belum memadai untuk proyek energi terbarukan ini, khususnya di daerah; tradisi penggunaan bahan bakar berdasar fosil yang tidak bisa begitu saja dihilangkan, yang bahkan sudah merasuki sisi politik dunia dan perekonomian negara; kurangnya minat investor untuk terjun dalam proyek tersebut dikarenakan proyek ini memiliki tingkat pengembalian rendah dan tidak pasti.

Analisis Menggunakan *Fishbone Diagram*

Permasalahan penurunan cadangan energi tak terbarukan ini, dibagi oleh beberapa sebab, yaitu.



Gambar 2. Diagram Sebab Akibat Penurunan Cadangan Energi Tak Terbarukan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Permasalahan penurunan cadangan energi tak terbarukan ini, dibagi oleh beberapa sebab, yaitu :

a. Pertama dari segi teknologi, belum adanya teknologi yang sesuai, yang mampu menopang proyek energi terbarukan ini.
b. Kedua dari segi metode, yaitu kurangnya sosialisasi dari pemerintah mengenai energi terbarukan ini kepada masyarakat, agar masyarakat mengetahui pentingnya implementasi energi terbarukan ini.
c. Ketiga dari sisi pekerja dan masyarakat yaitu, kurangnya sumber daya manusia yang kompeten untuk menangani masalah energi terbarukan ini dan tradisi penggunaan energi berbasis fosil yang masih melekat kuat pada masyarakat.
d. Keempat dari segi manajemen energi, merupakan sebab langsung cepatnya penurunan energi tak terbarukan (fosil), yaitu kurangnya kesadaran masyarakat mengenai pentingnya efisiensi energi dan menggunakan energi sebijak mungkin, lalu juga dikarenakan kurangnya sosialisasi dari pemerintah mengenai efisiensi energi.
e. Kelima dari segi pembiayaan, instalasi awal proyek ini membutuhkan biaya yang besar, selain itu kurangnya minat investor untuk terjun dalam proyek ini, yang juga disebabkan oleh prospek yang tidak pasti dan tingkat pengembalian yang rendah

5. Simpulan Dan Rekomendasi

Simpulan

Pengembangan energi terbarukan membutuhkan program yang terstruktur meliputi pendanaan yang jelas, teknologi dan SDM yang memadai, dan pembiasaan melalui sosialisasi kepada masyarakat mengenai energi terbarukan. Sementara pengembangan berada dalam proses, maka pemerintah juga patut memberitahukan masyarakat melalui sosialisasi, untuk mengefektifkan penggunaan energi.

Rekomendasi

Adapun beberapa rekomendasi yang disarankan oleh penulis berdasarkan kasus ini ialah:

1. Untuk mensukseskan proyek pengembangan energi terbarukan, harus dibentuk komite khusus yang terstruktur

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dan berisikan pula orang-orang berpengalaman dan kompeten dibidangnya.

2. Sosialisasi manajemen energi dapat dilakukan dengan hal-hal kecil seperti misalnya menghimbau masyarakat untuk menggunakan lampu LED. Agar sosialisasi diminati masyarakat, sebaiknya dengan menawarkan harga awal produk hemat energi yang terjangkau serta bergaransi (artinya tidak kalah dengan produk konvensional).
3. Pemerintah dan investor harus saling bekerja sama mewujudkan pengembangan proyek ini agar dapat sukses, yaitu dengan pemerintah memberikan subsidi untuk awal pengembangan proyek tersebut dan mengurangi subsidi untuk sektor energi fosil.
4. Pembangunan proyek energi terbarukan harus dilakukan serentak sampai ke daerah-daerah.
5. Persiapan sumber daya manusia untuk proyek energi terbarukan ini dapat dilakukan dengan pemberian pelatihan kepada orang yang menekuni bidang keenergian dan pengarahan terhadap instituisi pendidikan divisi bidang keenergian untuk kemudian lulusannya dapat disiapkan ke proyek tersebut.
6. Pemerintah disarankan meninjau ke negara lain yang sudah menjalankan proyek semacam ini, agar mendapatkan informasi mengenai teknologi yang dipakai dan biaya yang harus dikeluarkan untuk membiayai teknologi tersebut. Kemudian pemerintah dapat mensosialisasikan dengan investor mengenai berapa persen tanggung jawab pembiayaan masing-masing pihak

DAFTAR PUSTAKA

Jurnal Kajian LEMHANNAS RI. 2012. Pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT). Edisi 14.

Kadiman, Kusmayanto. 2006. *Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025*. Kementerian Negara Riset dan Teknologi RI, Jakarta.

Lubis, Abubakar. 2007. Energi Terbarukan dalam pembangunan berkelanjutan. Jurnal Teknik Lingkungan. Vol.8 Bulan Mei No 2. Jakarta.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JIUBJ
Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi, 19(3), Oktober 2019, pp.462
DOI 10.33087/jiubj.v19i3.7
ISSN 1411-8939 (Online) | ISSN 2549-4236 (Print)
Ahmad Rahma Wardhana, Wening Hapsari Ma'rifatullah

Evaluasi Kebijakan: Pembangunan Desa melalui Energi Terbarukan (Studi Kasus Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Desa Rawasari, Jambi)

Ahmad Rahma Wardhana[1,2], Wening Hapsari Ma'rifatullah[3]
[1]Green Technology Manager Konsorsium Energi Mandiri dan Lestari (2016-2018)
[2]Peneliti Pusat Studi Energi Universitas Gadjah Mada
[3]Peneliti Lepas dengan Minat Studi Politik dan Pemerintahan; Analis Politik, Hukum, dan Keamanan pada Sekretariat Kabinet Republik Indonesia
Correspondence e-mail: wardhanahmad@mail.ugm.ac.id

Abstrak. Energi fosil (minyak bumi, batu bara, gas alam) adalah pedang bermata dua; di satu sisi tenaganya merupakan bahan bakar bagi pembangunan, namun di sisi lain residunya berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Energi terbarukan sebagai antitesis energi fosil adalah alternatif untuk menjawab problematika penggunaan energi fosil yang dianggap tidak ramah bagi bumi. Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki kelimpahan sumber daya energi terbarukan yang siap dikembangkan potensinya dalam rangka melaksanakan kebijakan pembangunan yang sensitif lingkungan. Pada tahun 2016, LAKPESDAM-PBNU, Pusat Studi Energi UGM, Pusat Studi Ekonomi Kerakyatan UGM dan *Center for Civic Engagement Studies* berkesempatan mengembangkan sistem energi terbarukan di tiga lokasi, salah satunya adalah Desa Rawasari, di Jambi. Tulisan ini bertujuan memberikan evaluasi kebijakan pengembangan sistem energi tersebut yang berisi gambaran dinamika, peluang dan tantangan implementasi energi terbarukan dalam rangka mendorong diversifikasi dan kemandirian energi sebagai bagian mendukung pembangunan Indonesia dari desa.

Kata Kunci: Pembangunan Desa; Diversifikasi Energi; Kemandirian Energi; Energi Terbarukan

Abstract. *Fossil energy (petroleum, coal, natural gas) is a double-edged sword; on the one hand its energy is fuel for development, but on the other hand, its residue contributes to global warming and climate change. Renewable energy as an antithesis of fossil energy is an alternative to answer the problem of the use of fossil energy that is considered unfriendly to the earth. Indonesia as an archipelagic country has an abundance of renewable energy resources that are ready to develop its potential to implement environmentally sensitive development policies. In 2016, LAKPESDAM-PBNU, Center for Energy Studies UGM, Center for Economic Democratic Studies, and Center for Civic Engagement Studies had the opportunity to develop renewable energy systems in three locations, one of which is Rawasari Village, in Jambi. This paper aims to provide an evaluation of the energy system development policy which contains an overview of the dynamics, opportunities, and challenges of the implementation of renewable energy to encourage energy diversification and independence as part of supporting Indonesia's development from the villages.*

Keywords: *Village Development; Energy Diversification; Energy Independence; Renewable energy*

PENDAHULUAN

Energi terbarukan didefinisikan sebagai energi yang berasal dari sumber yang terbarukan secara alami dan berkelanjutan, dengan laju produksi lebih cepat dibandingkan laju konsumsinya, seperti sinar matahari, angin, hujan, pasang-surut, gelombang, dan panas bumi. Energi terbarukan memiliki empat fungsi khas, yaitu menghasilkan energi untuk listrik, pendingin atau pemanas air dan udara, transportasi, dan jasa energi untuk wilayah terpencil (Ellaban dkk, 2014; REN21, 2010; iea.org, 2016; IRENA, 2009). Kesadaran penggunaan energi terbarukan yang meningkat dewasa ini menjadi penting sebagai usaha mitigasi perubahan iklim karena dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan sumber energi lain.

Data tahun 2016 menunjukkan bahwa energi terbarukan –bersama beberapa sumber non-fosil lain– memasok sekitar 19% kebutuhan energi dunia, dengan kontribusi emisi karbon global sebesar 1%. Sementara batu bara, dengan pasokan energinya yang mencapai 27%, justru menyumbang 44% emisi karbon. Bandingkan pula dengan 32% pasokan minyak bumi yang menghasilkan 35% emisi karbon dan 22% pasokan gas alam yang emisinya mencapai 20% dari emisi karbon global (IEA, 2018). Emisi gas rumah kaca (CO_2, CH_4, dan N_2O) karena aktivitas manusia sangat mungkinkan merupakan faktor dominan penyebab terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim (IPCC, 2014).

Sementara itu, Indonesia dikaruniai bentang alam dan sosial yang menjadi faktor pendukung bagi pengembangan potensi energi terbarukan, seperti: 1) matahari bersinar sepanjang tahun; 2) tidak mengalami musim dingin sehingga tidak ada permintaan energi yang besar dalam bentuk panas; 3) wilayah laut yang luas sebagai sumber pengembangan energi kelautan (pasang-surut atau gelombang); 4) terdapat kawasan perkotaan besar yang padat sebagai sumber energi dari sampah dan limbah; 5) negara dengan biodiversitas terbesar ketiga di dunia sebagai sumber diversifikasi energi berbasis makhluk hidup (*biofuel* berbasis ekstraksi tumbuhan atau ganggang); 6) memiliki gunung berapi dan hutan, sebagai potensi energi panas bumi, biomassa, serta fungsi konservasi air dan biodiversitas; 7) negara dengan pantai terpanjang ketiga di dunia sekaligus memiliki pegunungan sebagai sumber energi angin; 8) sungai, pegunungan, dan saluran irigasi sebagai sumber energi air (pikohidro, mikrohidro, minihidro, Pembangkit Listrik Tenaga Air); 9) banyaknya wilayah kepulauan sebagai potensi pengembangan energi dengan sumber daya terbarukan setempat; serta 10) konsumsi protein hewani yang besar (unggas, sapi, kambing, babi), sebagai sumber biogas (diadopsi dari Budiarto, dkk, 2017).

METODE PENELITIAN

Tulisan ini merupakan hasil evaluasi terhadap program implementasi sistem pembangkit listrik energi terbarukan jenis energi surya (pembangkit listrik tenaga surya / PLTS) yang menitikberatkan pada penerapan operasional sesuai dengan spesifikasi teknisnya dan selaras dengan rencana pengembangan fungsinya. Lebih jauh, penelitian dilangsungkan dengan mengajukan pertanyaan, seperti misalnya: 1) apakah PLTS masih berfungsi dengan baik sesuai dengan peruntukannya pasca pelaksanaan proyek; 2) adakah kendala teknis dalam mengoperasikan PLTS; 3) apakah bisnis berbasis PLTS dapat berlangsung sebagaimana desain *business plan;* dan 4) apakah skema pembiayaan pemeliharaan dan penggantian komponen PLTS berbasis bisnis energi terbarukan dan subsidi Desa dapat berjalan.

Pengambilan data dilakukan di lokasi pembangunan PLTS, yaitu Desa Rawasari, Kecamatan Berbak, Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi, sejak bulan September 2016 sampai dengan Februari 2018 serta wawancara maupun interaksi virtual sejak Maret sampai dengan Desember 2018.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Urgensitas Energi

Isu energi mulai dibahas sejak munculnya kesadaran tentang pentingnya panas dari api yang diantaranya berfungsi untuk mengolah pangan dan menghangatkan badan. Pengenalan pada energi panas terus menerus berkembang mengikuti peradaban manusia, dengan penemuan komoditas minyak, gas, batu bara, dan kemudian konversinya ke energi listrik. Kini, terminologi energi tak lagi berkaitan dengan peruntukan pangan saja, tetapi identik pula dengan transportasi (panas), industri (listrik dan panas), komersial (listrik), rumah tangga (listrik dan panas), dan pelayanan publik (listrik) (Wardhana dkk, 2018). Pemanfaatan energi dimaknai sebagai sebuah layanan, yakni manfaat yang dihasilkan oleh pembawa energi untuk kepentingan hidup manusia. Mengolah bahan pangan, memasak, fasilitas pendidikan, kesehatan, bisnis, telekomunikasi, hiburan, dan lain sebagainya, adalah ilustrasi bagaimana energi dapat *melayani* manusia (Modi dkk, 2005).

Pada tahun 2002, dalam *World Summit on Sustainable Development* yang diselenggarakan PBB, sektor energi menjadi salah satu syarat utama yang harus dipenuhi dalam upaya pengentasan kemiskinan. Pertemuan tersebut menekankan pentingnya energi sebagai stimulan untuk meningkatkan produktivitas usaha dan aktivitas ekonomi, menciptakan lapangan kerja dan sumber pendapatan baru, serta memperbaiki kualitas hidup umat manusia, terutama ibu dan anak-anak. Sampai saat ini, isu pemanfaatan energi dalam konteks mengurangi kemiskinan tersebut masih terus relevan, termasuk di Indonesia (Ghazali dkk, 2017).

Dengan kata lain, sektor energi memainkan peran signifikan dalam pembangunan untuk mencapai kesejahteraan yang perlu dijamin ketersediannya oleh negara. Tanggung jawab tersebut merupakan aktualisasi konsep negara kesejahteraan dalam arti negara agar: 1) mengelola kekayaan bersama untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat, 2) mencegah penguasaan kekayaan bersama oleh modal perseorangan asing maupun lokal yang melemahkan sendi ekonomi kolektif, 3) mengembangkan semangat tolong menolong dalam berbagai bentuk badan usaha serta memperkuat badan usaha koperasi sebagai emansipasi golongan ekonomi kecil dan menengah (Latif, 2011). Keberadaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) sebagai pelaku utama dalam produksi dan distribusi energi nasional seperti PT Pertamina (Persero), PT Perusahaan Gas Negara Tbk, dan PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) (Persero) merupakan salah satu bentuk kesungguhan negara dalam menjamin terpenuhinya kebutuhan masyarakat kepada energi.

Kebijakan Energi Nasional

Kebijakan Energi Nasional Indonesia, sebagaimana dijelaskan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 (PP RI No. 79/2014), memiliki tujuan berupa kemandirian energi dan ketahanan energi yang dicapai dengan mewujudkan 8 hal, yang empat diantaranya adalah 1) pengelolaan sumber daya energi secara optimal, terpadu, dan berkelanjutan, 2) akses untuk masyarakat terhadap energi secara adil dan merata, 3) terciptanya lapangan kerja, serta 4) terjaganya fungsi lingkungan hidup. Secara spesifik, PP RI No. 79/2014 juga menargetkan beberapa hal penting seperti tercapainya rasio elektrifikasi sebesar 85% pada tahun 2015 dan mendekati 100% pada tahun 2020 serta peran energi baru dan terbarukan dalam bauran energi primer yang mencapai 23% pada 2025 dan 31% pada 2050 (Pemerintah Republik Indonesia, 2014).

Di lapangan, rasio elektrifikasi nasional pada kuartal ketiga tahun 2018 yang baru mencapai 98,05% (Kementerian ESDM RI, 2018) dan masih terdapat 2.391 desa yang belum berlistrik, dari total 82.190 desa (Dirjen Ketenagalistrikan Kementerian ESDM RI, 2018). Nilai rasio elektrifikasi 98,05% dapat dimaknai bahwa masih ada sekitar 1,95% rumah tangga atau setara jumlah 1.309.881 rumah tangga berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2018), yang belum pernah menikmati listrik dari PLN. Sementara ditinjau dari sumber energinya, pemenuhan listrik nasional masih dikuasai oleh batu bara (59,20%), gas alam (22,30%), energi terbarukan (12,32%), dan bahan bakar minyak, termasuk minyak berbasis bio (6,18%) (Kementerian ESDM RI, 2018).

Beberapa sebab utama belum adanya listrik PLN di daerah-daerah tersebut adalah karena lokasi yang sulit terjangkau akibat kondisi alam atau infrastruktur jalan yang belum terbangun dengan baik, sehingga biaya pembangunan jaringan distribusi listrik menjadi mahal dan tidak layak secara finansial (Wardhana, 2018). Sebagai solusinya, negara melalui kementerian atau lembaga lain dan pemerintah daerah maupun BUMN, badan usaha swasta, atau lembaga donor, melakukan pembangunan infrastruktur energi terbarukan dengan berbagai skema, seperti Dana Alokasi Khusus dari Anggaran dan Pendapatan Belanja Negara (APBN), program beberapa kementerian terkait, dana CSR, atau menerima hibah luar negeri melalui lembaga donor.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pengelolaan Energi Berbasis Masyarakat

Di pulau yang besar dengan persebaran penduduk yang relatif merata seperti Jawa, Sumatera, atau Sulawesi, listrik dipenuhi dengan pembangkit besar serta jaringan distribusi yang panjang serta kompleks. Pengembangan sistem terpusat semacam ini pada mulanya merupakan ikhtiar untuk mencapai nilai ekonomis pembangkitan (Greenius dkk, 2010). Namun demikian, fenomena pemanasasn global dan perubahan iklim menunjukkan betapa lemahnya sistem terpusat tersebut. Greenius dkk (2010) menyatakan empat kelemahan utama pembangkitan energi fosil dengan sistem terpusat selain sebagai sumber emisi: 1) masyarakat yang pasif, 2) adanya jarak spasial dan psikologis yang signifikan antara sisi pembangkitan dan pemakaiannya, 3) tingginya potensi inefisiensi dan disrupsi, serta 4) stabilitas sistem yang rentan mendapatkan gangguan.

Alternatifnya, dibutuhkan sistem pengelolaan energi yang ramah lingkungan, tidak bergantung pada sistem terpusat, melibatkan masyarakat, dan memanfaatkan sumber energi setempat. Di dalam berbagai studi, pengembangan energi terbarukan yang memberdayakan masyarakat dikenal dengan *Community Renewable Energy* atau CRE (Greenius dkk, 2010). CRE tidak dapat dimaknai sebatas tentang pembangkitan energi lokal atau keterlibatan masyarakat saja, tetapi lebih merupakan sebuah proses dan pengaturan sosial yang mewujudkan pembangkitan energi lokal sebagai solusi yang berlanjut, dengan manfaat sosial dan ekonomi yang kembali kepada masyarakat sendiri (Walker dan Devine-Wrights' s, 2008 serta Walker dan Cass, 2007 dalam Greenius dkk, 2010). Sehingga terdapat tiga unsur utama dalam pengembangan CRE: 1) pembangkitan energi terbarukan, 2) keterlibatan masyarakat, 3) manfaat bagi masyarakat.

Lebih jauh, Shoaib dan Ariaratman (2016) merumuskan sedikitnya 8 dampak positif yang timbul dari pengembangan CRE, yaitu: 1) menciptakan ikatan sosial, 2) menguatkan hubungan lintas komunitas, 3) membina rasa kepemilikan bersama dan tanggung jawab kolektif dalam menghadapi masalah yang dihadapi oleh komunitas, 4) membawa keuntungan ekonomi komunitas melalui keterlibatan tenaga kerja lokal, kerja sama dengan entitas bisnis setempat, penggunaan material dari wilayah terdekat, dan meningkatnya peran bank setempat, 5) meningkatkan ketahanan masyarakat melalui pengelolaan dana pembayaran jasa energi terbarukan, termasuk kemandirian dalam memilih prioritas investasi, 6) mengurangi emisi karbon dalam skala kecil, 7) meningkatkan kepedulian masyarakat pada isu-isu lingkungan, dan 8) meningkatkan kapasitas dan pengetahuan teknis masyarakat, karena sifat energi terbarukan yang sensitif pada kondisi lokal, sehingga membutuhkan keterlibatan masyarakat sejak perencanaan hingga pelaksanaan pembangunan (instalasi).

Program Implementasi Energi

Konsorsium Energi Mandiri dan Lestari (selanjutnya disebut KEMALA) adalah konsorsium yang terdiri dari empat lembaga, yakni Lembaga Kajian dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pengurus Besar Nahdlatul 'Ulama (LAKPESDAM-PBNU) sebagai pemimpin konsorsium, dan Pusat Studi Energi Universitas Gadjah Mada (PSE-UGM), Pusat Studi Ekonomi Kerakyatan UGM (PSEK-UGM), dan *Center for Civic Engagement Studies* (CCES) sebagai anggota konsorsium.

KEMALA turut berpartisipasi dalam memenuhi kebutuhan listrik di daerah terpencil melalui program Hibah Pengelolaan Sumber Daya Alam Berbasis Masyarakat (PSDABM) dari *Millenium Challenge Account Indonesia* (MCAI). Pendekatan yang dilakukan bukan hanya menerapkan sistem energi terbarukan berbasis energi surya, tetapi juga menyiapkan masyarakat, kelompok usaha dan pemerintah desa hingga kabupaten, serta membentuk kelembagaan, sehingga diharapkan dapat muncul sistem sosial-institusional yang dapat mendukung beroperasinya pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

Rekayasa sosial-institusional ini dipandang penting mengingat karakteristik sistem PLTS yang membutuhkan pemeliharaan dan penggantian komponen PLTS secara rutin. Komponen utama PLTS sedikitnya terdiri dari panel surya yang usia teknisnya mencapai 20 tahun (dipasang ke arah matahari), serta pengontrol pengisian baterai, komponen baterai, dan inverter yang usia teknisnya hanya 5-6 tahun. Perbedaan usia yang signifikan ini berkonsekuensi pada perlunya penggantian pengontrol, baterai, dan inverter pada tahun ke-6, ke-12, dan ke-18 sejak PLTS pertama kali diinstalasi. Pada akhirnya PLTS menuntut adanya pemeliharaan secara berkala untuk menjamin sistem dapat beroperasi sesuai usia teknisnya dan tersedianya biaya untuk mengganti komponen pada tahun yang dimaksud.

Inilah perbedaan mendasar antara sistem listrik konvensional berbasis sistem PLN dengan sistem listrik CRE. Jika listrik PLN pembayarannya telah mencakup biaya pemeliharaan sumber energi, sistem distribusi, sekaligus sistem lokal di tingkat konsumen, maka sistem CRE memberikan kendali pemeliharaan di semua aspek, sepenuhnya kepada masyarakat. Begitu pula tentang penggantian komponen karena telah habis usianya ataupun karena insiden kerusakan, dalam sistem PLN dibebankan kepada PLN, sementara pada sistem CRE dibebankan kepada masyarakat.

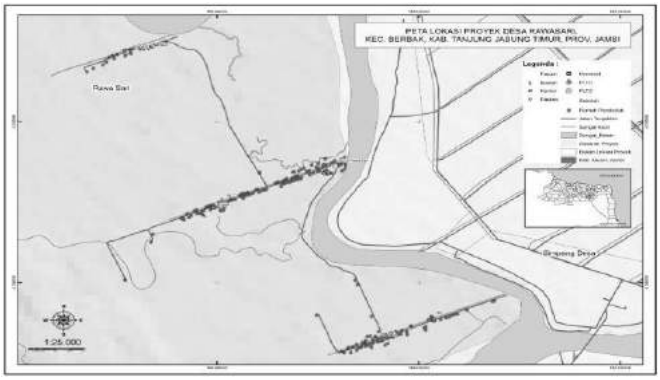
Program implementasi energi terbarukan dalam bentuk CRE bukan hanya sekadar memasang sistem energi, bahkan pemasangan sistem adalah hal yang termudah dan tercepat dibandingkan tahapan lain, tetapi juga membutuhkan peningkatan kapasitas masyarakat dan lembaganya, desain sistem yang menyelesaikan persoalan teknis maupun non-teknis, termasuk sejauh mana dukungan pemerintah di berbagai tingkat, serta bagaimana interaksi antara manusia dan sistem tersebut dapat menjadi budaya yang mampu mendukung kehidupan PLTS. Kasus di Jawa Tengah nampaknya patut menjadi cermin penting dalam mengeksekusi program implementasi energi terbarukan: PLTS jenis *Solar Home System* (SHS, sistem di mana setiap rumah mendapatkan satu sistem PLTS yang tidak terkoneksi dengan rumah lainnya) sejak 2010-2017 telah terbangun

2.566 unit, di mana pada 2017 hanya tinggal 56 unit saja yang masih menyala dengan baik (Rinanda, 2018).

Desa Rawasari sebagai Lokasi Implementasi

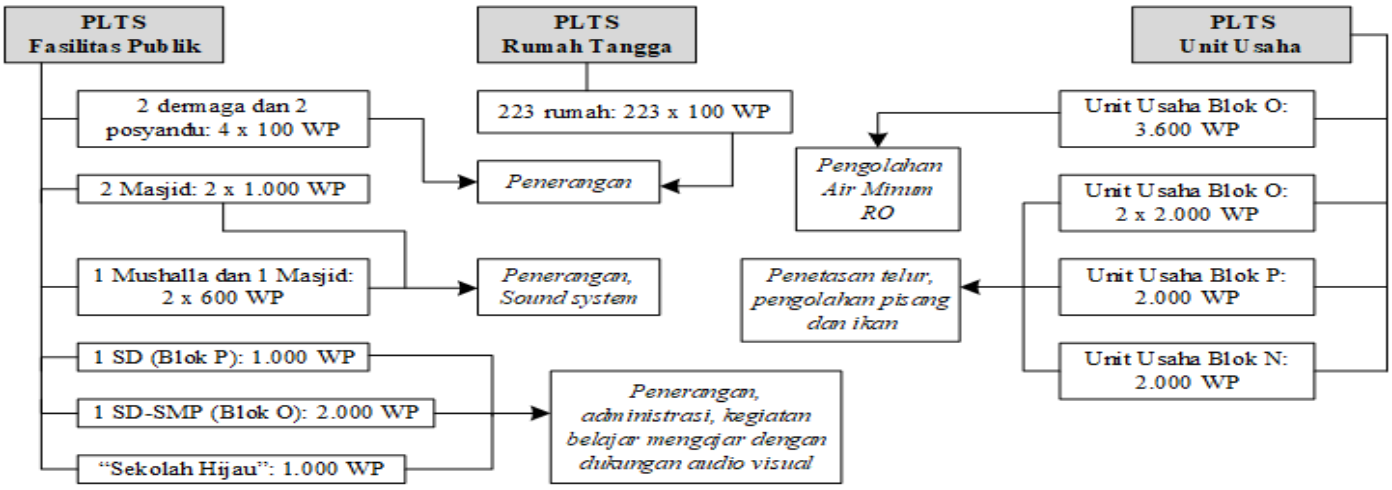
Desa Rawasari dipilih menjadi salah satu sasaran implementasi hibah karena latar belakang, seperti: 1) teknis, yakni belum tersentuh sistem listrik PLN, 2) sosial, yakni terdapat struktur Majelis Wakil Cabang Nahdlatul 'Ulama (MWC NU), 3) potensi sumber daya alam, yakni adanya komoditas lokal yang menjadi sumber pendapatan masyarakat.

Desa Rawasari (Gambar 1) secara fisik terbagi menjadi tiga kelompok pemukiman (dusun), yakni Blok P (79 rumah), Blok O (124 rumah), dan Blok N (21 rumah). Transportasi di masing-masing dusun dan antar-dusun menggunakan sepeda motor atau perahu motor tempel kecil. Kebutuhan sehari-hari masyarakat selain beras dapat dibeli dari toko kecil di masing-masing dusun, namun apabila menginginkan kebutuhan sekunder, masyarakat harus menyeberangkan sepeda motornya ke seberang sungai Batanghari untuk menuju ibukota kecamatan terdekat atau menggunakan perahu tersebut untuk berbelanja ke luar desa.



Gambar 1. Peta Desa Rawasari

Desain utama sistem teknis, sosial, dan institusional untuk mendukung sistem PLTS di Desa Rawasari ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Gambar 2 menggambarkan dukungan PLTS untuk fasilitas publik, rumah tangga, maupun unit usaha. Sebelum hadirnya program, masyarakat menggunakan genset komunal atau genset pribadi untuk memenuhi kebutuhan listrik di malam hari. Setiap malam dibutuhkan sedikitnya 1-2 liter bahan bakar minyak jenis bensin premium atau solar untuk menyalakan genset. Listrik genset digunakan untuk menyalakan lampu, televisi, atau pemasak nasi listrik. Kasus di SD Blok P, kegiatan belajar dan mengajar (KBM) di siang hari tak bisa menggunakan sistem audio-visual, sementara kegiatan administrasi yang berkaitan dengan komputer dan pencetakan harus dilakukan malam hari di rumah guru atau menyeberang ke luar desa jika dibutuhkan di siang hari. Sedangkan SD-SMP di Blok O selama ini memanfaatkan energi dari Kantor Desa yang mempunyai PLTS sistem terpusat berdaya 15 kW.



Gambar 2. Desain pemanfaatan PLTS Rawasari

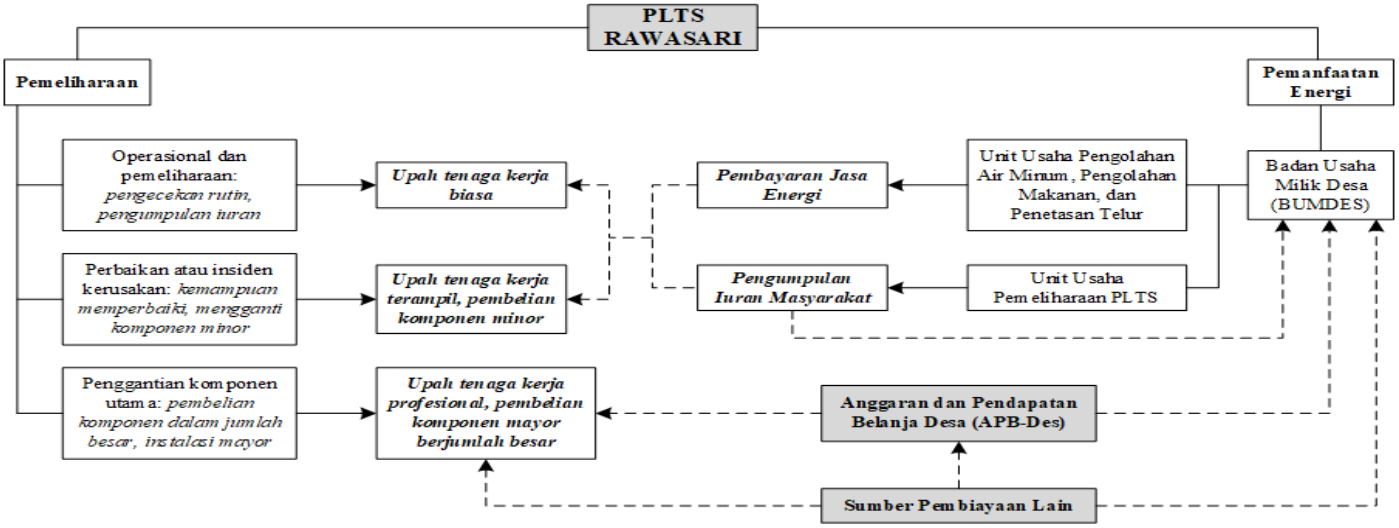
Fasilitas publik masjid juga mendapatkan PLTS karena masyarakat Rawasari memiliki ritual agama rutin, baik siang, sore, maupun malam hari, oleh kelompok pemuda, kelompok ibu, maupun kelompok bapak. Sedangkan unit usaha dikelompokkan menjadi tiga, yakni usaha penetasan telur unggas, pengolahan makanan, utamanya produk pisang dan ikan, serta usaha pengolahan air minum. Ketiga usaha ini dipilih berdasarkan pilihan masyarakat. Untuk penetasan unggas misalnya, dipilih karena sering ada permintaan daging bebek dan ayam dari luar desa namun masyarakat Rawasari tidak mampu memenuhinya. Sementara usaha air minum dikembangkan karena kebutuhan air minum Rawasari dipenuhi dari luar desa melalui toko di tiap dusun, dengan harga Rp 8.000 per galon air minum.

Bisnis pisang dan ikan menjadi komoditas menarik karena ketersediaannya yang melimpah secara berkala setiap tahunnya. Pisang lazimnya dijual apa adanya sebagai buah pisang, sedangkan ikan telah

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

menjadi lauk utama masyarakat Rawasari. Hasil panen keduanya yang sering melebihi kebutuhan pokok dapat menjadi sumber pendapatan baru ketika diolah menjadi produk olahan seperti keripik pisang, bolu pisang, kerupuk ikan, bahkan bukan tidak mungkin produk tepung ikan dan tepung pisang yang memiliki daya jual tidak murah.

Sementara itu Gambar 3 merupakan ilustrasi alur kebutuhan pembiayaan PLTS dan bagaimana skema bisnis berbasis energi terbarukan, subsidi APB-Des, dan pembiayaan lain seperti *corporate social responbility* atau dana hibah penelitian dan pengabdian dapat menjadi *support system*. Tanda panah putus menunjukkan arah pembiayaaan yang berpeluang dimanfaatkan untuk mendukung pemeliharaan, perbaikan, dan pergantian komponen PLTS.



Gambar 3. Desain sistem pendukung pembiayaan pemeliharaan PLTS

Baik Gambar 2 maupun Gambar 3 membawa konsekuensi tentang bagaimana peningkatan kapasitas masyarakat diarahkan untuk dapat menjalankan desain tersebut sebisa mungkin mendekati ideal. Unit usaha penetasan telur misalnya, membutuhkan kepastian pasar, tentang kepada siapa unggas yang telah menetas dan tumbuh hingga usia pantas akan dijual. Hal yang sama berlaku pada produk olahan pisang dan ikan, kepada siapa produk tersebut dijual? Peningkatan kapasitas kemudian mengambil tema bagaimana menyusun *business plan* serta pemahaman mendasar bahwa bisnis baru keuntungannya belum tentu sesuai harapan, karena masih membutuhkan banyak eksperimen.

Pada kegiatan pengumpulan iuran dan pembayaran jasa energi diperlukan perhitungan yang tertib dan mendetail agar tidak terjadi keliru perhitungan. Khusus untuk unit usaha, pembayaran jasa energi harus menjadi bagian dari biaya produksi yang dihitung dalam harga jual produk akhir. Peningkatan kapasitas bukan lagi hanya soal rencana bisnis dan pengembangan pasar, tetapi juga tentang manajemen usaha serta *reward and punishment* bagi mereka yang berkenan membayar lebih atau justru sebaliknya, alpa membayar jasa energi, baik warga masyarakat maupun unit usaha. Dalam konteks masyarakat, langkah mendasar sejak awal sosialisasi program adalah bagaimana *willingness to pay* dapat muncul dari masyarakat sendiri. Dan iuran masyarakat yang sebenarnya adalah tabungan pembelian baterai di tahun ke-6 dan seterusnya, untuk sementara dapat dipergunakan oleh BUMDES untuk kegiatan usaha yang berisiko kecil, seperti membiayai unit usaha pengolahan makanan dan penetasan telur.

Sedangkan pembiayaan APB-Des, penyertaan modal ke BUMDES, maupun pembiayaan lain, membutuhkan pendampingan institusional, advokasi kepada masyarakat, serta bagaimana membentuk jejaring. Pembiayaan APB-Des dan penyertaan modal ke BUMDES akan dituangkan ke dalam Peraturan Desa lewat Musyawarah Desa. Sebuah Musyawarah Desa dapat berlangsung demokratis apabila komunikasi Pemerintah Desa dan warganya berjalan secara produktif.

Berdasarkan desain tersebut, pemasangan PLTS dilaksanakan pada bulan Desember 2017, setelah sejak September 2016-November 2017 dilakukan tahapan persiapan dan peningkatan kapasitas masyarakat Rawasari, yang di antaranya adalah: 1) penyatuan visi dan pembentukan kelompok relawan, 2) studi kelayakan teknis; 3) pengembangan desain teknis detail; 4) pelatihan tingkat dasar tentang nilai voluntarisme dan wawasan lingkungan; 5) pelatihan menengah tentang kelembagaan, peningkatan nilai tambah komoditas lokal, manajemen usaha, dan pengorganisasian; 6) pelatihan tingkat lanjut tentang teknis PLTS dan perencanaan bisnis; 7) pendampingan penyusunan kebijakan di tingkat desa, dan 8) pemasangan PLTS.

Evaluasi Pascaprogram

Pembangunan adalah isu yang selalu aktual dalam penyelenggaraan pemerintahan. Meskipun demikian, kultus bahwa pembangunan adalah domain negara sebenarnya sudah runtuh tiga dekade lalu ketika Bank Dunia mengemukakan tesis bahwa negara telah gagal menyediakan kebutuhan warganya di awal '90-an (Frederickson, 1980; Abrahamsen, 2004). Kegagalan tersebut mengubah cara pandang para *scholar* dan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pegiat pembangunan terhadap negara dengan kemunculan istilah "governance" atau governability" yang mengisyaratkan bahwa proses pengambilan kebijakan bukanlah monopoli elit pemerintah, melainkan hasil interaksi antar pemangku kepentingan (Brunsson, 1994; Howlett & Ramesh, 1998; Pierre & Peters, 2000). Hari ini gairah pembangunan untuk menyediakan kebutuhan dasar tidak hanya menjadi milik negara, melainkan seluruh pemangku kepentingan. Kelompok bisnis boleh membangun atas nama tanggung jawab sosial. Kelompok masyarakat sipil menjangkau lokasi yang tidak terjamah negara atas nama membangun keberadaban. Kemala mencoba memainkan peran sebagai katalis bagi negara dengan menjangkau lokasi yang tak mampu terjamah pemerintah untuk membangun sistem energi terbarukan berbasis partisipasi masyarakat.

Evaluasi terhadap proyek tersebut bermuara pada penemuan data menarik terkait pembangunan dan implikasinya terhadap struktur sosial-ekonomi masyarakat Desa Rawasari yang menjadi subjek pembangunan. Secara teknis, seluruh sistem PLTS masih beroperasi secara normal tanpa ada kerusakan yang berarti. Memang terjadi kerusakan kecil, namun masih dapat ditangani secara teknis oleh pengelola di Rawasari, sebagai hasil dari pelatihan dan pendampingan pada masa instalasi PLTS, tepat setahun yang lalu.

Terjadi perubahan konsumsi energi di Rawasari pasca-instalasi PLTS. Bahkan dapat dikatakan terdapat pengurangan signifikan konsumsi bahan bakar minyak di Rawasari. Kebutuhan pokok masyarakat Rawasari di malam hari adalah penerangan untuk aktifitas malam hari, baik di tingkat rumah tangga (memasak, makan, belajar, dan kegiatan rumah tangga lainnya) maupun di tingkat komunitas (kegiatan rutin seperti arisan, pengajian, ibadah di masjid atau mushalla). Beberapa masyarakat merasa penerangan tersebut sudah cukup, sehingga tidak lagi setiap malam menyalakan genset untuk menonton televisi. Bukan tidak mungkin, dampak positif sebagaimana disampaikan Shoaib dan Ariaratman (2016) telah terjadi di Rawasari: menciptakan ikatan sosial, menguatkan hubungan lintas komunitas, dan membina rasa kepemilikan bersama dan tanggung jawab kolektif dalam menghadapi masalah yang dihadapi oleh komunitas. Lebih dari itu, pengurangan emisi karbon sebagai salah satu dampak utama penggunaan energi terbarukan, secara riil telah terwujud Rawasari.

Pembangunan Berbasis Konteks

Pembangunan yang dihadirkan ke desa perlu memperhatikan konteks desa itu sendiri agar berjalan optimal. Maka dari itu, intervensi negara untuk menghadirkan pembangunan di desa dalam rangka memenuhi kebutuhan dasar perlu mempertimbangkan tiga cara pandang tentang desa agar interaksi berjalan secara "good governance", seimbang dan tidak condong pada satu karakter wajah.

Pertama, desa merupakan bagian dari masyarakat sipil yang identik dengan pola interaksi komunal antar warga karena persamaan identitas, perasaan senasib sepenanggungan. Desa memiliki tradisi lokal dan hukum adat dalam proses pengambilan keputusan yang bersifat otonom (Santoso ed, 2003). *Kedua,* desa adalah sumber kehidupan yang mampu menyediakan kebutuan dasar bagi manusia. Desa memiliki lahan yang subur, sungai yang mengalir, tenaga kerja yang murah, lokasi yang menarik hati investor. Pada level ini desa adalah ruang transaksional yang membuat roda perekonomian berjalan. Apabila prosesnya dikelola dengan baik maka akan mendatangkan kesejahteraan, namun ketika dikooptasi oleh sekelompok elit maka akan menghasilkan pola rente yang merugikan sebagian warga desa. *Ketiga,* pemaknaan desa sebagai bagian dari hirarki pemerintahan yang membuat desa terikat dan tunduk pada aturan main di atasnya (negara) (Mas'oed, 1997).

Pembangunan yang terpaku oleh aturan main *top down* dan dikuasai sekelompok elit saja tanpa memperhatikan kekhasan lokal berpotensi pada: *pertama,* rendahnya keterlibatan warga karena ketiadaan rasa memiliki terhadap produk pembangunan. Pembangunan yang bersifat *top down* akan melihat warga desa sebagai objek pembangunan—penikmat pembangunan—bukan subjek pembangunan. *Kedua,* munculnya monopoli dari kue pembangunan (Budiman, 1991). Hal ini dikarenakan distribusi terhadap akses pembangunan hanya dikuasai oleh sekelompok elit yang memiliki akses terhadap kekuasaan, seperti pamong desa, pemangku kepentingan, atau warga yang menguasai sumber daya desa.

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap proyek pembangunan desa di Rawasari, tercatat bahwa muncul problematika yang diindikasi bersumber dari konflik warga komunal dengan elit desa sebagai penguasa sumber daya. Unit usaha pengolahan makanan dan penetasan telur dikelola oleh ibu-ibu yang nampak bersemangat di sepanjang periode pelatihan, pemasangan, dan penutupan program pada Februari 2018, saat ini tak lagi berjalan. Penyebabnya unik, yakni ketidakpercayaan para ibu pada institusi BUMDES sebagai induk unit usaha. Nampaknya hal ini disebabkan karena kontestasi politik pemilihan Kepala Desa pada tahun 2017, di mana kandidat yang memenangkan pilkades memiliki beberapa perbedaan pendapat dengan kelompok ibu tersebut. Boleh jadi pula, durasi pendampingan yang berlangsung di sepanjang 2017 sesungguhnya masih kurang, sehingga pemahaman tentang demokrasi di tingkat desa belum dipahami secara mendasar oleh masyarakat. Pemahaman demokrasi yang dimaksud adalah bagaimana Kepala Desa terpilih dapat merangkul masyarakat yang tak memilihnya dan di sisi lain kelompok yang tidak memilih Kepala Desa terpilih dapat secara *legawa* memperjuangkan kepentingannya melalui mekanisme demokrasi di tingkat desa.

Kemudian, berhentinya unit usaha penetasan telur dan pengolahan makanan berdampak pula pada bagian pembiayaan lainnya, seperti kesepakatan soal upah penarik iuran warga yang belum terselesaikan dengan baik. Akibatnya, sudah sekitar tiga bulan penarikan iuran tidak berjalan. Sesungguhnya ketika nilai-nilai partisipasi diimplementasikan dengan baik yang ditunjukkan dengan manajemen usaha yang tetap berjalan pasca pendampingan, di mana pencatatan iuran

KEMENTERIAN KEUANGAN
REPUBLIK INDONESIA

penggunaannya sebagai modal tambahan untuk unit usaha lain, dan perputarannya terpantau serta terhitung, tak perlu ada kekhawatiran soal kurangnya pembiayaan untuk upah. Atau bukan tidak mungkin, desain pembiayaan tentang upah penarik iuran yang sedianya sebagai tambahan penghasilan selain menjadi petani atau pekerjaan pokok lain, belum ditangkap dengan baik oleh sebagian pengelola unit usaha pemeliharaan PLTS. Desain ideal dari skema ini yang paling mendasar adalah voluntarisme di bidang lingkungan dengan *efek samping* berupa penghasilan tambahan melalui keterlibatannya dalam mengelola PLTS.

Pembangunan yang cenderung komersil dan transaksional pada level yang ditoleransi sebenarnya bertujuan untuk meningkatkan rasa kepemilikan dan menjaga keberanjutan dalam rangka kemandirian sebagaimana yang didesain oleh Kemala dalam pengelolaan PLTS berbasis iuran. Kebijakan berpola transaksional ini menempatkan warganegara sebagai pelanggan berdasarkan kesepakatan untung-rugi. Karakter kebijakan bercorak komersial adalah mantra 'efektif, efisien, transparan, dan akuntabel' yang merupakan jargon masyarakat bisnis (Osborne & Gaebler, 1995). Karakter ini dipinjam oleh Kemala agar pembangunan berjalan optimal.

Model pengelolaan PLTS yang transaksional berbasis partisipasi boleh jadi belum menunjukkan keberhasilan karena terkendala konflik komunal setempat. Namun pola transaksional tersebut berhasil di unit usaha air minum. Di musim kemarau, produksi air minum mencapai 50 galon per hari dan hanya separuhnya saja di musim penghujan. Unit usaha menjual produknya hanya kepada toko, baik di Blok O maupun Blok P. Di Blok O, toko membeli air minum Rp 4.000 per galon, sementara di Blok P, Rp 5.000,00 per galon. Di Blok P lebih mahal karena lokasi produksi air yang terdapat di Blok O membutuhkan biaya transportasi dengan perahu untuk diantarkan ke Blok P. Di rumah tangga, harga air berada di kisaran Rp 5.000,00-Rp. 6.000,00; harga yang cukup murah dibandingkan sebelumnya yang Rp 8.000,00. Wawancara kepada pengelola unit usaha air minum menggambarkan bagaimana kebutuhan pokok dan mendasar ini sebelumnya harus mengambil ke luar desa, menghabiskan waktu dan biaya tidak sedikit bagi toko, sekarang telah terpenuhi secara mandiri. Pengelola unit usaha berharap ada tambahan unit galon untuk meningkatkan volume produksi air.

Peneliti menyadari bahwa pola transaksional apabila tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan: *pertama,* disparitas bagi warga minoritas yang tidak mampu mengakses pembangunan karena keterbatasan sumber daya, yang dikenal dengan istilah korban pembangunan—situasi yang dihindari oleh negara. Kedua, komersialisasi pembangunan yang berakibat pada perubahan pola interaksi warga desa yang komunal (gotong royong) menjadi *profit oriented—jika tidak menguntungkan secara pribadi tidak akan terlibat dalam kerja pembangunan*.

Di sinilah pembangunan partisipatif yang berjalan beriringan dengan pembangunan infrastruktur diperlukan dalam rangka mencapai kesejahteraan secara optimal. Kebijakan ini cenderung bersifat *bottom-up* yang memandang warganegara sebagai subjek kebijakan dengan mendorong partisipasi warga, mengakomodasi tradisi lokal dalam proses penyusunan kebijakan (Hikam, 1999). Metodenya beragam menyesuaikan konteks kewilayahan dan karakter warga: *pertama,* penyusunan aturan main yang jelas (demokratis) oleh elit desa yang memiliki legitimasi. Hal ini bertujuan agar pembangunan mendapat dukungan publik (warga desa), dan di sisi lain dia tidak dikooptasi elit desa. *Kedua,* pembangunan dengan pola transaksional dapat dilakukan selama disepakati oleh warga sebagai norma dan bertujuan untuk mempertahankan keberlanjutan pembangunan—dengan demikian pola transaksional ini harus diatur oleh regulasi agar tidak ada pihak yang menjadi korban pembangunan. *Ketiga,* pembangunan yang memperhatikan tradisi dan potensi desa sehingga warga mudah untuk mengadopsi dan beradaptasi dengan perubahan yang ada. Dengan demikian produk kebijakan cenderung berpola asimetris berdasarkan konteks dan kebutuhan subjek kebijakan.

SIMPULAN

Perubahan sumber energi ke sumber yang lebih ramah lingkungan tidak dapat begitu saja dilakukan tanpa melakukan perubahan ke seluruh sistem. PLTS dan sumber energi terbarukan lainnya memang berbeda dengan sistem energi fosil yang terpusat dan dapat memasok energi terus menerus. Perbedaannya, di sistem fosil-terpusat masyarakat tak dibebani dengan kerumitan pemeliharaan, sementara di sistem CRE masyarakat memiliki tanggung jawab penuh atas pemeliharaan tersebut, yang sebenarnya jauh lebih simpel dibandingkan sistem-fosil-terpusat.

Maka kemandirian energi berbasis sumber energi lokal oleh masyarakat setempat tidak hanya butuh *grand design*, tapi perlu diikuti dengan mendorong masyarakat memiliki kebutuhan—paradigma yang sama (sehingga mereka mau berpartisipasi) akan kemandirian energi untuk meningkatkan taraf hidupnya.

Lebih dari itu, masyarakat pedesaan dengan akar budaya yang kuat membutuhkan waktu yang tidak sebentar untuk membiasakan pola kehidupan baru, terutama dengan hadirnya sistem energi baru, pendekatan finansial baru, pemahaman lebih utuh tentang kerusakan lingkungan, dan bagaimana memperjuangkannya dengan elegan tanpa merendahkan diri sendiri maupun orang lain. Pola pendampingan yang sifatnya multitahun dengan mengambil dan memanfaatkan nilai-nilai kebijaksanaan lokal sebagai alat kampanye patut dipertimbangkan menjadi sebuah pendekatan baru. Dan terakhir, sungguh, kebijakan kemandirian energi akan percuma kalau hanya datang secara *top-down*, tanpa mempertimbangkan pendapat masyarakat sasaran. Studi kasus Rawasari menggambarkan pentingnya perpaduan pendekatan antara *top-down* dengan *bottom-up,* agar tumbuh kesadaran voluntarisme yang diharapkan mengantar pada perjuangan mandiri dari masyarakat, untuk masyarakat, dan oleh masyarakat sendiri.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada lembaga *Millenium Challenge Account Indonesia* di bawah koordinasi Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional Republik Indonesia, yang telah memberikan Hibah PSDABM kepada KEMALA. Terima kasih pula kepada seluruh manajemen KEMALA, baik kantor Yogyakarta, Jakarta, maupun Jambi, utamanya masyarakat Rawasari seluruhnya, atas kerja keras bersama yang akhirnya menjadi persaudaraan baru. Secara khusus doa kepada Allaah SWT disampaikan kepada Almarhum Mas Mohammad Bahrun Naser, salah satu personel manajemen KEMALA yang wafat beberapa waktu yang lalu: semoga Allaah SWT melimpahkan rahmat dan keberkahan kepada Mas Naser di alam barzakh hingga kelak di akhirat.

Bagian tulisan ini, utamanya tentang energi dan kondisi lapangan, telah ditulis dalam Tesis di Magister Teknologi untuk Pengembangan Berkelanjutan, Program Studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada di bawah bimbingan Bapak Dr. Rachmawan Budiarto, M.T. dan Bapak Dr.Sc.Tech. Adhy Kurniawan, S.T., serta telah diuji oleh Bapak Dr.Eng. Mohammad Kholid Ridwan, S.T., M.Sc. dan Ibu Prof. Ambar Pertiwiningrum, M.Si., Ph.D., kepada keempatnya diucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

Abrahamsen, Rita. 2004. *Sudut Gelap Kemajuan: Relasi Kuasa dalam Wacana Pembangunan*. Yogyakarta: Lafadl Pustaka.

Badan Pusat Statistik. 2018. *Statistik Indonesia 2018.* Jakarta.

Budiarto R; Widhyarto DS; Prasetya A; Wardhana AR; Hidayat JJ. 2017. *Energi Surya untuk Komunitas – Meningkatkan Produktivitas Masyarakat Pedesaan Melalui Energi Terbarukan.* Jakarta: LAKPESDAM-PBNU.

Brunsson, Nils. 1994. *Politicization and 'Company'-ization—on Institutional Affiliation and Confusion in the Organizational World*. Management Accounting Research, Vol. 5, No. 3-4.

Budiman, Arif. 1991. *Negara dan Pembangunan: Studi tentang Indonesia dan Korea.* Jakarta: Yayasan Padi dan Kapas.

Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2018. *Laporan Kinerja Tahun 2017.*

Ellaban Omar, Abu-Rub Haitham, Blaabjerg Frede. 2014. *Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology*, Renewable and Sustainable Energy Reviews (39): 748-764.

Frederickson, George. 1980. *Administrasi Negara Baru*. Jakarta: LP3ES.

Ghazali, AM; Ubaid A; Wardhana AR; Masud, I; Mohammad, J; Ma'afi, M; Wahid, M; Budiarto, R. 2017. *Fikih Energi Terbarukan – Pandangan dan Respons Islam atas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Jakarta: LAKPESDAM-PBNU.

Greenius L., Jagniecki E., dan Thompson K. (2010). *Moving Towards Sustainable Community Renewable Energy: A Strategic Approach for Communities*. Tesis: Master of Strategic Leadership towards Sustainability, School of Engineering, Blekinge Institute of Technology, Swedia.

Hikam, Muhammad A.S. 1999. *Islam, Demokratisasi & Pemberdayaan Civil Society*. Jakarta: Erlangga.

Howlett, Michael dan Ramesh, M. 1995. *Studying Public Policy Subsyter*. Oxford: Oxford University Press.

http://www.iea.org/topics/renewables/, diakses pada 1 Juni 2016.

Intergovermental Panel on Climate Change / IPCC. 2014. *Climate Change 2014 Synthesis Report – Summary for Policymakers.*

International Renewable Energy Agency / IRENA. 2009. *Statute of The International Renewable Energy Agency (IRENA)*.

International Energy Agency. 2018. *CO2 emissions from fuel combustion – Highlights,* dokumen teknis.

Shoaib A dan Ariaratman S (2016). *A Study of Socioeconomic Impacts of Renewable Energy Projects in Afghanistan.* Procedia Engineering 145: 995-1003.

Badan Pusat Statistik. 2018. *Statistik Indonesia 2018*. Jakarta.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2018. *Booklet #EnergiBerkeadilan – 4 Tahun Kinerja Hingga Kuartal III 2018*. Jakarta.

Mas'oed, Mochtar. 2003. *Politik, Birokrasi dan Pembangunan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Modi, V; McDade, S; Lallement, D; dan Saghir, J. 2005. *Energy and the Millennium Development Goals*. New York: Energy Sector Management Assistance Programme, UNDP, UN Millennium Project, and World Bank.

Osborne, David & Ted Gaebler. 1995. *Mewirausahakan Birokrasi*. Jakarta: Pustaka Binaman Pressindo.

Pemerintah Republik Indonesia. 2014. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional*, Jakarta.

Pierre, Jon and B. Guy Peters. 2000. *Governance, Politics and the State*. Houndmilss: Macmillan Press LTD.

REN21. 2010. *Renewables 2010 Global Status Report*.

Rinanda, AR. 2018. *Analisis Ekonomi, Pencapaian Target Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca, dan Dampak Terhadap Harapan Hidup atas Pemanfaatan Energi Terbarukan di Provinsi Jawa Tengah*. Tesis: Magister Teknologi untuk Pengembangan Berkelanjutan, Program Studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada.

Santoso, Purwo (ed). 2003. *Pembaharuan Desa secara Partisipatif*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Wardhana, AR. 2018. *Analisis Keberlanjutan Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Metode Analytical Hierarchy Process.* Tesis: Magister Teknologi untuk Pembangunan Berkelanjutan, Program Studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada.

Wardhana, AR; Rakhmatulloh, S; Ma'rifatullah, WH. 2018. *Latar Belakang Pendirian SEAD-initiative*.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Perjanjian No: III/LPPM/2012-09/85-P

Evaluasi Peraturan Pembelian Energi Terbarukan Pada Desa Peternak Sapi untuk Meningkatkan Keamanan Energi di Ciater, Subang

Disusun Oleh:
Meity Martaleo, ST., MBA
Catharina Badra Nawangpalupi, Ph.D
Loren Pratiwi, ST., MT.
Yani Herawati, ST., MT.

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Universitas Katolik Parahyangan
2014

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ABSTRAK

Seiring dengan munculnya sumber-sumber energi terbarukan, antara lain biogas dan biomassa menyebabkan melimpahnya sumber penghasil tenaga listrik, sehingga PT PLN sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM No. 4 Tahun 2012 perlu membeli lebih banyak kelebihan tenaga istrik. Kewajiban PT PLN (Persero) untuk membeli kelebihan tenaga listrik dari berbagai sumber mengakibatkan perlunya suatu evaluasi untuk menilai apakah kebijakan tersebut dapat diterapkan secara efektif. Desa Peternak Sapi Ciater sebagai salah satu sumber penghasil biogas harus mampu menghasilkan energi terbarukan untuk pemanfaatan bagi kebutuhan sehari-hari seperti memasak dan penerangan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi efektivitas regulasi untuk Desa Peternak Sapi Ciater. Kegiatan yang dilakukan difokuskan pada bagaimana regulasi dapat diimplementasikan secara teknis di desa dan seberapa efektif peraturan tersebut dapat diterapkan di masyarakat melalui dukungan pemerintah daerah. Beberapa peternak sapi di Desa Ciater, Subang telah memasang reaktor biogas (atau *biodigester*) dengan memanfaatkan kotoran sapi untuk sumber bahan bakar memasak. Para peternak juga telah menggunakan energi (dalam aplikasi terbatas) untuk sumber penerangan. Dari hasil survey, diketahui terdapat 194 orang peternak sapi perah. Namun, dari 194 orang peternak, hanya sekitar 95 orang yang menggunakan biodigester sebagai pengolah kotoran ternak. Banyaknya peternak yang belum mengaplikasikan teknologi biogas dikarenakan banyak faktor, antara lain biaya pembelian biodigester yang mahal dan kurangnya pemahaman mengenai biogas. Pengadaan instalasi biogas ini membutuhkan dana yang cukup besar. Para peternak harus menyediakan dana sekitar Rp 4.600.000,- hingga Rp 7.000.000,- untuk membangun 1 unit instalasi biogas dengan ukuran $4m^3$ – 6 m^3. Kurangnya pemahaman para peternak disebabkan oleh rendahnya tingkat pendidikan serta minimnya dukungan dari pihak pemerintah. Karakteristik peternak yang cocok untuk diberikan penyuluhan mengenai penggunaan biogas adalah peternak yang memiliki karakteristik jumlah anggota keluarga > 5 orang, jumlah sapi > 3 ekor, dan lama keanggotan KPSBU ≥ 5 tahun. Selain karakteristik peternak yang cocok untuk mengikuti program biogas ini, dilihat juga kelayakan pemasangan instalasi biogas dari aspek financial. Berdasarkan aspek finansial, program instalasi biogas in dianggap layak karena mampu mengurangi konsumsi atau pembelian sumber energi gas LPG untuk memasak dan sumber energi listrik PLN untuk penerangan. Selain pengurangan konsumsi sumber energi dari LPG dan PLN, instalasi biogas juga diharapkan mampu memberikan penghasilan tambahan bagi para peternak dengan penjualan pupuk kandang hasil pengolahan instalasi biogas.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DAFTAR ISI

ABSTRAK 2

DAFTAR ISI 3

DAFTAR TABEL 5

DAFTAR GAMBAR 6

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang 7

I.2 Tujuan Penelitian 8

I.3 Metode Penelitian 8

BAB II STUDI PUSTAKA

II.1 Biogas 10

II.2 Instalasi Biogas 10

II.3 Bioslurry 12

II.4 *Life Cycle Assessment* 13

II.5 Analisis Kelayakan 15

BAB III HASIL PENELITIAN

III.1 Survei 18

III.2 Profil dan Karakteristik Peternak di Desa Ciater Subang 19

III.2.1 Profil Peternak di Desa Ciater Subang 19

III.2.2 Karakteristik Peternak di Desa Ciater Subang 21

III.2.3 Karakteristik Pengguna Biogas 24

III.2.4 Hubungan Antara Penggunaan Biogas Dan Profil Peternak 26

III.3 Analisis Dampak Lingkungan 26

BAB IV ANALISIS

IV.1 Skenario 3 Tabung 29

IV.2 Skenario 4 Tabung 29

IV.3 Skenario 3 Tabung dan Harga Pupuk Rp 8.000,00/ 30 Kg 30

IV.4 Skenario 4 Tabung dan Harga Pupuk Rp 8.000,00/ 30 Kg 30

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

IV.5 Skenario 3 Tabung dan Harga Pupuk Rp 500,00/ kg 30

IV.6 Skenario 4 Tabung dan Harga Pupuk Rp 500,00/ kg 30

BAB V KESIMPULAN & SARAN

V.1 Kesimpulan 32

V.2 Saran 32

DAFTAR PUSTAKA 33

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DAFTAR TABEL

Tabel III.1 Tipe Responden ….....……..... 19

Tabel III.2 Perlakuan Responden Terhadap Kotoran Sapi …...……...…… 23

Tabel III.3 Bahan Bakar Yang Digunakan Responden Untuk Memasak …...…… 23

Tabel III.4 Lama Responden Menggunakan Biogas …...……...… 24

Tabel III.5 Pemanfaatan Limbah Cair Biogas …...……...…… 25

Tabel III.6 Keputusan Menggunakan Biogas ...……..……..… 25

Tabel III.7 Rekapitulasi Hubungan Antara Profil Peternak Dan Penggunaan Biogas …… 26

Tabel IV.1 Skenario Penghematan …...…… 28

Tabel IV.2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan ….....……..... 31

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Jenis reaktor biogas..... 7
Gambar II.1 *Quantitative Valuation Methods* 14
Gambar III.1 Umur Responden 19
Gambar III.2 Pendidikan Terakhir Responden 20
Gambar III.3 Jumlah Anggota Keluarga Responden 20
Gambar III.4 Usia Suami/Istri Responden 21
Gambar III.5 Lama Responden Menjadi Peternak 22
Gambar III.6 Lama Responden Menjadi Anggota KPSBU 22
Gambar III.7 Jumlah Sapi Yang Dimiliki Responden 23
Gambar III.8 Penggunaan Biogas 24
Gambar III.9 Keputusan Menggunakan Biogas 25

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

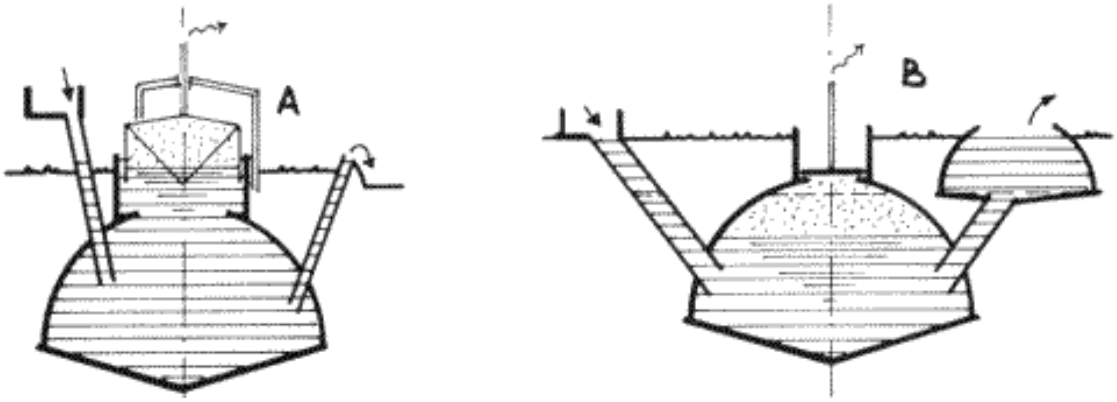
BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Desa peternak sapi di Ciater merupakan daerah yang potensial untuk menghasilkan energi terbarukan secara mandiri. Sebagai desa dengan sumber kotoran sapi yang melimpah, desa peternak sapi di Ciater ini potensial untuk menghasilkan energi terbarukan dari sumber-sumber biogas. Beberapa peternak sapi perah telah memasang reaktor biogas (atau *biodigester*) dengan memanfaatkan kotoran sapi untuk sumber bahan bakar memasak. Para peternak juga telah menggunakan energi (dalam aplikasi terbatas) untuk sumber penerangan. Namun banyak peternak sapi perah lainnya yang belum memanfaatkan kotoran sapi dan hanya membuang kotoran tersebut ke sistem pembuangan limbah. Hal ini menyebabkan kondisi lingkungan yang tidak higienis dan memberikan dampak lingkungan negatif bagi sekitarnya.

Secara umum, terdapat 2 jenis reaktor biogas yang dapat digunakan yaitu reaktor kubah tetap (*fixed dome*) dan reaktor *floating drum*. Reaktor kubah tetap disebut juga reaktor cina. Reaktor ini dinamakan kubah karena bentuknya yang menyerupai kubah. Reaktor inilah yang saat ini banyak dipasang di Indonesia. Reaktor *floating drum* sering juga disebut reaktor India. Perbedaan yang paling mendasar dari kedua reakton ini terletak pada bagian penampung gas. Gambar 1 menunjukkan dua jenis reaktor biogas tersebut.



Gambar I.1 Jenis reaktor biogas (A) *floating drum* (B) *fixed dome*
(Sumber: https://energypedia.info/wiki/Types_of_Biogas_Digesters_and_Plants, diakses pada 31/12/2013)

Di Jawa Barat, pemasangan reaktor biogas telah dilakukan di sejumlah daerah, salah satunya di kabupaten Subang. Lembaga Studi Pembangunan Peternak Indonesia atas pekerjaan yang diberikan oleh Yayasan Sahabat Cipta (2011) telah melakukan survey terhadap peternak-peternak di beberapa desa di Subang, yaitu desa Ciater, Jalan Cagak, Kasomalang dan Sagala Herang. Dari hasil survey, diketahui terdapat 194 orang peternak sapi perah. Namun, dari 194 orang peternak, hanya sekitar 95 orang yang menggunakan biodigester sebagai pengolah kotoran ternak.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pengadaan instalasi biogas ini membutuhkan dana yang cukup besar. Para peternak harus menyediakan dana sekitar Rp 4.600.000,- hingga Rp 7.000.000,- untuk membangun 1 unit instalasi biogas dengan ukuran $4m^3$ – 6 m^3. Untuk membangun biogas, HIVOS (organisasi pembangunan nirlaba non-pemerintah Belanda) memiliki program bernama BIRU (Biogas Rumah) di Indonesia, atau Indonesia *Domestic Biogas Programme*. Organisasi ini menjembatani peternak dengan cara bekerja sama dengan lembaga pemerintah dalam pemasangan instalasi biogas. Untuk meningkatkan pengguna reaktor biogas, HIVOS bekerja sama dengan berbagai lembaga mensubsidi pembangunan biogas sebesar Rp 2.000.000,-.

Rekomendasi (BIRU) menyatakan bahwa kebutuhan gas per orang per hari berkisar antara 0,33-0,40 gas. Satu reaktor biogas dengan ukuran $6m^3$ dapat menghasilkan gas sebesar 1,6-2,4 m^3 sehingga dapat memenuhi kebutuhan lebih dari 5 orang. Penyaluran biogas menggunakan pipa panjang yang dipasang ke setiap rumah. Kotoran sapi dimasukkan ke dalam lubang pencampur lalu dicampur dengan air dan diaduk.

Banyaknya peternak yang belum mengaplikasikan teknologi biogas dikarenakan banyak faktor, antara lain biaya pembelian biodigester yang mahal dan kurangnya pemahaman mengenai biogas. Pemahaman mengenai biogas yang kurang disebabkan oleh latar belakang pendidikan para peternak. Para peternak hanya melihat mahalnya biaya instalasi, tanpa melihat keuntungan besar yang diperoleh dengan menggunakan biogas. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mengetahui faktor-faktor yang paling mempengaruhi peternak dalam menggunakan biogas dan menguji kelayakan pemasangan reaktor biogas.

I.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini berupaya untuk mengevaluasi pemasangan biogas di desa peternak sapi Ciater secara komprehensif. Tujuan dari kegiatan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi karakteristik pengguna biogas
2. Mengidentifikasi perilaku pengguna biogas
3. Mengidentifikasi peran instansi dalam mempromosikan penggunaan biogas
4. Menganalisis kelayakan teknis, finansial dan lingkungan dalam instalasi biogas

I.3 Metode Penelitian

Kegiatan penelitian terdiri dari lima tahap sebagai berikut.

1. Identifikasi pengguna biogas di desa peternak sapi Ciater
   Pada tahap ini, survey akan dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi penggunaan biogas di desa peternak sapi Ciater. Studi pendahuluan diadakan oleh Yayasan Sahabat Cipta (Yayasan Sahabat Cipta, 2011). Hasil studi pendahuluan tersebut diperoleh gambaran mengenai sosio-ekonomi status peternak, jumlah sapi dan kotoran sapi yang dihasilkan dari desa peternak sapi Ciater, serta cara penanganan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

kotoran sapi saat ini. Berdasarkan penelitian ini, survey akan diperpanjang untuk melakukan perhitungan yang lebih akurat dari karakteristik penggunaan biogas.

2. Identifikasi status dan potensi energi biogas
   Pada tahap ini, studi lapangan akan dilakukan untuk semua peternak di desa peternak sapi Ciater. Terdapat 192 keluarga yang memiliki sapi dan berprofesi sebagai peternak sapi. Studi lapangan meliputi survey tentang situasi terbaru dari peternak sapi dalam menangani kotoran sapi, konsumsi energi rumah tangga, baik untuk listrik dan memasak. Selain itu akan dilakukan evaluasi mengenai kesiapan dan kesadaran peternak sapi mengenai potensi biogas.

3. Analisis teknis penilaian dan analisis kelayakan finansial pemasangan biogas
   Berdasarkan data sumber biomassa di Desa Peternak Sapi Ciater, perhitungan konversi energi dilakukan untuk digunakan sebagai dasar dalam analisis kelayakan program pemasangan biogas. Analisis kelayakan menakup analisis kelayakan ekonomi dan teknis serta analisis sensitivitas untuk tiga skenario yang berbeda, optimistic, most likely, dam pessimistic.

4. Pengukuran dampak lingkungan
   Perhitungan pengurangan gas metana dan pengurangan dampak lingkungan dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana pemasangan biogas dapat mengurangi dampak lingkungan.

5. Pembuatan laporan
   Setelah menyelesaikan tahap-tahap dalam penelitian di atas, tahap akhir berupa penulisan laporan termasuk rekomendasi bagi masyarakat.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

BAB II

STUDI PUSTAKA

II.1 Biogas

Biogas adalah jenis gas yang dapat terbaakar dan digunakan sebagai energi. Biogas adalah gas yang berasal dari makhluk hidup yaitu hewan dan tanaman. Gas ini dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik bahan organik (Moenir dan Yuliasni, 2011) seperti kotoran manusia, kotoran hewan, tumbuhan, limbah domestik, limbah industri yang dapat diuraikan (*biodegradable)* atau limbah organik lainnya yang *biodegradable* dalam kondisi anaerobik. Komposisi dari biogas adalah 50%-70% gas metan (CH_4), 30%-45% gas karbondioksida (CO_2), dan gas-gas lain dalam jumlah kecil seperti gas hidrogen sulfida (H_2S) berkisar 1-3%, gas nitrogen (N_2) sekitar 0,1-0,3% dan sisanya gas hidrogen (H_2). Sumber energi biogas ini sangat cocok digunakan sebagai sumber energi pengganti minyak tanah, LPG, butana, batu bara ataupun bahan-bahan lain yang berasal dari fosil.

Prinsip pembuatan biogas ini adalah menciptakan proses fermentasi bahan organik dalam ruang kedap udara yang biasa disebut alat pencerna atau *digester*. Dalam ruang kedap udara tersebut terjadi proses interaksi yang kompleks dari sejumlah bakteri yang berbeda-beda diantaranya *Methanobacterium* dan *Methanobacillus* (Rohman 2009). Gas yang menyebabkan biogas ini dapat terbakar adalah gas metana (CH_4). Jumlah energi yang ada dalam biogas ini bergantung dari konsentrasi gas metana. Semakin tinggi kandungan gas metana dalam *digester* maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas.

Pemanfaatan biogas dalam kehidupan sehari-hari sebagai sumber energi alternatif dapat memberikan keuntungan sebagai berikut (Suyati 2006):

1. Mengurangi penggunaan bahan bakar fosil.
2. Mengurangi masalah sampah akibat lingkungan.
3. Biogas merupakan sumber energi yang biayanya murah dan mudah didapat.
4. Sisa proses pembuatan biogas berupa bahan organik yang disebut lumpur pencerna (*sludge*).
5. Pemakaian biogas dapat memperbaiki kesehatan lingkungan.

Biogas tidak dapat dihasilkan tanpa adanya peralatan penunjang. Peralatan penunjang yang dapat mendukung proses terjadinya biogas ini disebut instalasi biogas. Instalasi biogas ini teridiri dari beberapa komponen penunjang.

II.2 Instalasi biogas

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pembangunan instalasi biogas , yaitu (Suyati 2006):

1. Lingkungan abiotis (tanpa kontak langsung dengan oksigen) karena udara yang masuk ke dalam instalasi biogas akan meyebabkan penurunan dalam proses produksi methana. Hal ini terjadi dikarenakan bakteri yang berkembang tidak sepenuhnya anaerob.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2. Ada 3 rentang temperatur yang disukai oleh bakteri, yaitu:

   - Psicrophilic (suhu 4-20^0 C) biasanya untuk negara-negara subtropic yang beriklim dingin.
   - Mesophilic (suhu 20-40^0 C)
   - Thermophilic (suhu 40-60^{0}C): suhu ini hanya untuk men-digesti material, bukan untuk menghasilkan biogas.

3. Penempatan instalasi biogas dengan jarak 10 meter dari bangunan rumah dan 15 meter dari sumber air. Bila di daerah panas digester sebaiknya ditempatkan di daerah teduh, naungan pohon atau bangunan sederhana sebagai pelindung. Daerah dingin ditempatkan langsung dibawah sinar matahari sehingga terjamin suhunya. Sebaiknya digester ditanam didalam tanah agar dapat diperoleh suhu yang optimum.

   Setiap bakteri memiliki nilai-nilai kapasitas kebutuhan air yang berbeda-beda. Bila kapasitasnya tetap maka bakteri dapat bekerja secara optimal. Proses menghasilkan biogas ini membutuhkan proses pengadukan. Pengadukan berfungsi untuk mendapatkan campuran substrat yang homogen dengan dengan ukuran partikel yang kecil serta memberikan kondisi temperatur yang seragam dalam instalasi biogas. Proses pengadukan selama dekomposisi berfungsi untuk mencegah terjadinya benda-benda mengapung pada permukaan cairan dan berfungsi mencampur metanogen dengan substrat. Instalasi biogas memiliki beberapa jenis.

Instalasi biogas dapat dilakukan dilakukan dengan menggunakan kubah tetap (*fixed dome*) dan terapung (*folating drum*).

1. Instalasi Biogas Tipe Kubah Tetap (*Fixed Dome*)
   Instalasi biogas tipe ini disebut juga reakton china (Suyati 2006). Instalasi biogas ini dibuat pertama kali di china sekitar tahun 1930. Instalasi biogas ini memiliki 2 bagian yaitu *digester* sebagai tempat pencerna material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri pembentuk asam ataupun bakteri pembentuk gas metana. Bagian ini dapat dibuat dengan kedalaman tertentu, menggunakan batu-batu atau beton. Stukturnya harus kuat karena menahan gas agar tidak terjadi kebocoran. Bagian yang dua adalah kubah tetap (*fixed dome*). Bentuk *fixed dome* ini menyerupai kubah dan bagian ini merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak (*fixed*). Keuntungan dari instalasi biogas ini adalah biaya konstruksi lebih murah dari pada menggunakan instalasi biogas terapung, karena tidak memiliki bagian yang bergerak menggunakan besi yang tentunya harganya relatif lebih mahal dan perawatannya lebih mudah. Kerugian dari instalasi biogas ini adalah seringnya terjadi kehilangan gas pada bagian kubah karena konstruksi tetapnya.

2. Instalasi Biogas Tipe *Floating Drum*
   Instalasi biogas jenis terapung pertama kali dikembangkan di India pada tahun 1937 sehingga memiliki nama lain yaitu reakton india (Suyati, 2006). Instalasi biogas ini memiliki bagian *digester* yang sama dengan instalasi biogas kubah. Perbedaannya terletak pada bagian penampung gas yang menggunakan peralatan bergerak menggunakan drum. Drum ini dapat bergerak naik turun yang berfungsi untuk menyimpan gas hasil fermentasi dalam *digester*. Pergerakan drum mengapung pada cairan dan tergantung dari jumlah gas yang dihasilkan. Keuntungan dari instalasi biogas ini adalah dapat melihat secara langsung volume gas yang tersimpan pada drum karena

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pergerakannya. Tempat penyimpanan yang terapung membuat tekanan konstan. Kerugian dari instalasi biogas ini adalah biaya material konstruksi dari drum lebih mahal. Faktor korosi pada drum juga menjadi masalah sehingga bagian pengumpul gas pada instalasi biogas ini memiliki umur yang lebih pendek dibandingkan menggunakan tipe kubah tetap.

Secara umum, instalasi biogas memiliki enam komponen utama penyusun instalasi biogas (Suyati 2006), yaitu:

1. Saluran masuk *slurry* (kotoran segar)
   Saluran ini digunakan untuk memasukkan *slurry* (campuran kotoran ternak dan air) ke dalam instalasi biogas utama pencampuran ini yang berfungsi untuk memaksimalkan potensi biogas, memudahkan pengaliran, serta menghindari terbentuknya endapan pada saluran masuk.

2. Saluran keluar residu
   Saluran ini berfungsi untuk mengeluarkan kotoran yang sudah difermentasikan oleh bakteri. Keseluruhan sistem ini bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan tekanan hidrostatik. *Slurry* yang keluar dari saluran ini sangat baik untuk pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.

3. Katup pengaman tekanan (*Control Valve*)
   Katup pengaman tekanan ini berfungsi sebagai pengatur tekanan gas dalam instalasi biogas. Katup pengaman ini menggunakan prinsip pipa T. Bila tekanan gas lebih tnggi dari kolom air, maka gas akan keluar melalui pipa T sehingga tekanan dalam instalasi biogas akan turun.

4. Sistem pengaduk
   Pengadukan ini dilakukan dengan berbagai cara, yaitu pengadukan mekanis, sirkulasi substak instalasi biogas atau sirkulasi ulang produksi biogas ke atas instalasi biogas menggunakan pompa.

5. Saluran gas
   Saluran gas ini disarankan terbuat dari bahan polimer untuk menghindari korosi. Pembakaran gas pada tungku pada ujung saluran pipa bisa disambung dengan pipa baja antikarat.

6. Tangki penyimpan gas
   Ada dua tangki penyimpan gas yaitu tangki bersatu dengan unit instalasi biogas (*Floating dome)* dan terpisah dengan instalasi biogas (*Floating dome).* Tangki terpisah dibuat khusus sehingga tidak bocor dan tekanan yang terdapat dalam tangki seragam, serta dilengkapi H_2S *removal* untuk mencegah korosi.

II.3 *Bioslurry*

Bioslurry merupakan produk dekomposisi yang dihasilkan dari material organik melalui proses pengurangan mikroba anaerob dalam digester biogas untuk kemudian dikeluarkan dari biodigester.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Berikut adalah kelebihan penggunaan bioslurry untuk tanaman (Vinh, 2010):

1. Perbaikan kualitas tanah
   Aplikasi *bioslurry* dalam jangka waktu yang lama dapat meningkatkan kualitas tanah dalam hal berikut: meningkatkan kemampuan tanah untuk ditanam, meningkatkan aktivitas organisme mikro, menambah proses dekomposisi materi organik, menambah dan mempertahankan kesuburan tanah, meningkatkan struktur dan karakteristik fisik dari tanah, memperbaiki kelembaban tanah, mengurangi tingkat kekerasan tanah, menambah kemampuan tanah mengikat air, serta mengurangi erosi akibat angin dan air.

2. Peningkatan hasil panen
   Institut Tanah dan Pertanian Kimia menentukan jumlah bubur yang diencerkan dan air dengan rasio 1:1. Hasil panen yang diperoleh 24% lebih tinggi dibanding kontrol yang diterapkan hanya dengan 200 kg N, P_2O_5 100 kg, 100 kg K_2O. Dalam hal ini, nutrisi kimia dalam percobaan berkurang di 28 kg N, 10,8 kg P_2O_5, dan 27 kg K_2O per ha. Selain itu, 50% kali menerapkan insektisida berkurang. Di India, beberapa eksperimen menerapkan *bioslurry* dikombinasikan dengan pupuk kimia dibandingkan dengan pupuk kandang dikombinasikan dengan pupuk kimia untuk kacang, kacang tanah, dan jagung dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan volume yang sama dari pupuk kimia, *bioslurry* memberikan hasil yang lebih tinggi dari 19% biji, 12% untuk kacang tanah, dan 32% untuk jagung dibandingkan dengan pengobatan pupuk kandang dan pupuk kimia.

3. Mengurangi jumlah serangga dan penyakit pada tanaman
   Secara umum, penerapan lumpur dapat mengurangi pertumbuhan dari serangga dan penyakit sebanyak 30-100%. Jika volume pestisida 10% dicampur ke dalam *bioslurry*, efisiensi pestisida akan meningkat. Sehingga jumlah pestisida yang diterapkan akan menurun, ini membuat lingkungan yang lebih aman, dan petani akan menghemat uang mereka. *Bioslurry* diterapkan untuk tanaman dapat mengganti semua atau sebagian dari pupuk kimia. *Bioslurry* dapat digunakan langsung melalui irigasi atau dapat dicampur dengan beberapa pupuk organik lainnya.

II.4 *Life Cycle Assessment*

Life Cycle Assessment (LCA) merupakan prosedur objektif untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari suatu produk dari awal sampai akhir silus hidup produk. LCA mengevaluasi konsumsi sumber daya dan emisi dari limbah yang dihasilkan selama siklus hidup produk *Assessment* atau penilaian yang dilakukan mencakup siklus hidup produk secara keseluruhan. Siklus hidup suatu produk merupakan proses atau aktivitas yang dilalui oleh produk, meliputi: ekstraksi dan pengolahan bahan baku; produksi; transportasi dan distribusi; penggunaan, penggunaan kembali (*re-use*), pemeliharaan; daur ulang dan pembuangan akhir (Giudice et al., 2006).

Terdapat empat langkah utama dalam melakukan pengukuran dampak lingkungan dari suatu produk (LCA), yaitu (Giudice et al., 2006):

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

1. Mendefinisikan tujuan dan ruang lingkup
   Tahap ini merupakan langkah awal dilakukannya LCA. Pada tahap ini didefinisikan tujuan, ruang lingkup, serta penetapan asumsi awal yang sesuai.

2. *Life Cycle Inventory* (LCI)
   Pada tahap ini dilakukan kompilasi dan perhitungan input dan output yang diperlukan atau dihasilkan suatu produk semasa siklus hidup produk tersebut. Input danoutput dapat berupa material maupun energi.

3. *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA)
   Pada tahap ini dilakukan perhitungan dampak lingkungan dari produk. Hal ini dilakukan dengan menerjemahkan data *inventory* yang diperoleh dari tahap sebelumnya, menjadi dampak lingkungan yang potensial, mengevaluasi ukuran dan signifikansi dari dampak tersebut.

4. Analisis, interpretasi atau perbaikan
   Pada tahap ini dilakukan interpretasi dari hasil yang diperoleh dan dievaluasi berdasarkan tujuan yang telah ditetapkan di awal. Pada tahap ini juga dilakukan pertimbangan akhir dalam merancang usulan perbaikan.

Streamlined Life Cycle Assessment

Streamlined Life Cycle Assesment (SLCA) merupakan konsep *Life Cycle Assessment* (LCA) yang disederhanakan. SLCA membantu mempercepat perancang produk dalam mengevaluasi dampak produk pada tahap awal desain (Giudice et al., 2006, Tischner et al., 2000).

METHOD	ORIGIN	REFERENCES
CML 1992	University of Leiden	(Heijungs et al., 1992)
CML 2001	The Netherlands	(Guinée et al., 1993a/b)
	1992	(Guinée, 2002)
Ecopoint	BUWAL	(Ahbe et al., 1990)
Ecopoint 1997	Switzerland	(Braunschweig et al.,
	1990	1998)
Eco-indicator 95	Pré Consultants BV	(Goedkoop, 1998)
Eco-indicator 99	The Netherlands	(Goedkoop and
	1995	Spriensma, 2000)
EDIP	Technical University of	(Wenzel et al., 1997)
	Denmark	
	Denmark	
	1997	
EPS (Environmental	IVL Swedish Environmental	(Steen and Ryding, 1992)
Priority Strategies)	Research Institute	(Steen, 1996)
EPS 2000	Sweden	(Steen, 1999)
	1992	
MET-Points	TNO Industrial Technology/	(Kalisvaart and
(Material use, Energy use,	TU Delft	Remmerswaal, 1994)
Toxicity effects)	The Netherlands	
	1994	
MIPS	Wuppertal Institut	(Schmidt-Bleek, 1994)
(Material Intensity Per	Germany	(Ritthoff et al., 2002)
Service unit)	1994	

Gambar II.1 *Quantitative Valuation Methods*
(Sumber: Giudice et al., 2006)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

II.5 Analisis Kelayakan

Menurut Umar (2007) perusahaan adalah sebuah organisasi mengubah keahlian serta sumber daya ekonomi menjadi barang serta jasa untuk memuaskan keinginan konsumen serta diharapkan akan memberikan keuntungan atau laba bagi perusahaan. Pengertian bisnis adalah kegiatan yang diadakan oleh pelaku yang berhubungan satu sama lain dalam bidang perniagaan untuk memperbaiki kualitas hidup mereka (Umar, 2007). Berdasarkan pengertian diatas maka arti bisnis itu lebih luas dari arti perusahaan. Motivasi dari kegiatan bisnis adalah laba atau keuntungan. Laba adalah selisih antara pengahasilan dan biaya yang dikeluarkan. Proyek dan bisnis memiliki pengertian yang berbeda.

Kegiatan pada proyek merupakan kegiatan yang diadakan hanya sementara dalam jangka waktu tertentu dengan sumber daya yang terbatas. Proyek biasanya dilakukan untuk melaksanakan tugas yang sudah memiliki tujuan yang jelas. Berdasarkan pengertian tersebut maka pengertian studi kelayakan proyek adalah penelitian tentang kelayakan suatu proyek yang dibangun dalam rentang waktu tertentu (Kasmir and Jakfar, 2007).

Sedangkan, studi kelayakan bisnis memiliki pengertian penelitian terhadap kelayakan rencana bisnis yang dibangun serta kelayakan saat beroperasi secara rutin untuk mendapatkan keuntungan yang maksimal dalam waktu yang tidak ditentukan (Umar, 2007). Studi kelayakan bisnis adalah suatu kegiatan yang mempelajari secara mendalam tentang suatu usaha atau bisnis yang akan dijalankan, dalam rangka menentukan layak atau tidak usaha tersebut dijalankan. Pelaksanaan studi kelayakan bisnis memiliki beberapa tahapan. Ada 6 tahapan yang harus dilakukan dalam studi ini (Umar, 2007). Tahapan-tahapan tersebut adalah:

1. Penemuan Ide
   Produk yang dihasilkan haruslah produk yang memiliki nilai jual serta dapat menghasilkan keuntungan bagi perusahaan. Penelitian pada sebuah produk harus dilakukan untuk mengetahui keinginan serta kebutuhan pasar terhadap sebuah produk. Bila hasil penelitian membuahkan lebih dari satu ide maka ide yang dipilih harus memenuhi kriteria yang pertama ide proyek sesuai dengan kata hati pengambil keputusan. Kriteria yang kedua adalah pengambil keputusan dapat melibatkan diri dalam hal teknis, yang ketiga adalah keyakinan bahwa proyek akan menghasilkan laba.

2. Penelitian
   Tahap berikutnya adalah penelitian yang mendalam dengan memakai metode ilmiah. Tahapan ini dimulai dengan mengumpulkan data, mengolah data berdasarkan teori yang relevan, menganalisa dan menginterpretasi hasil pengolahan data, menyimpulkan serta membuat laporan penelitian tersebut.

3. Evaluasi
   Tahap evaluasi memiliki tiga jenis. Pertama mengevaluasi ide proyek, kedua mengevaluasi proyek yang sedang dibangun, ketiga mengevaluasi bisnis yang sudah rutin dijalankan. Evaluasi adalah kegiatan membandingkan sesauatu dengan satu atau lebih standar atau kriteria yang bersifat kualitatif ataupun kuantitatif.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4. Pengurutan Usulan Yang Layak
   Tahapan ini dilakukan apabila terdapat lebih dari satu usulan rencana bisnis yang dianggap layak. Pemilihan rencana bisnis haruslah melihat pada rencana yang paling dimungkinkan untuk direalisasikan. Usulan yang diprioritaskan adalah usulan yang memiliki skor tertinggi sesuai kriteria penilaian yang sudah ditentukan.

5. Rencana Pelaksanaan
   Tahap berikutnya adalah pembuatan rencana kerja pelaksanaan pembangunan proyek. Penentuan dimulai dari menentukan jenis pekerjaan, waktu yang dibutuhkan setiap pekerjaan, jumlah serta kualifikasi tenaga kerja, ketersediaan dana dan sumber daya lainnya.

6. Pelaksanaan
   Tahapan yang terakhir adalah merealisasikan rencana proyek yang sudah disusun. Kegiatan ini membutuhkan manajemen proyek. Saat proyek sudah selesai dikerjakan maka tahap berikutnya adalah melaksanakan kegiatan operasional bisnis ini secara rutin.

Ada beberapa studi untuk menentukan kelayakan suatu usaha (Kasmir dan Jakfar 2007). Secara umum aspek-aspek tersebut dibagi menjadi 7 yaitu aspek hukum, pasar dan pemasaran, keuangan atau finansial, teknis atau operasi, manajemen atau organisasi, ekonomi sosial dan yang terakhir adalah aspek dampak lingkungan. Secara khusus, pembahasan di sini dibatasi hanya untuk aspek finansial.

Aspek Finansial

Aspek ini dilakukan untuk menilai jenis biaya yang dikeluarkan dan besar biaya yang dikeluarkan. Tujuan dari aspek ini adalah untuk menilai kelayakan dari suatu investasi dilihat dari aspek keuangan. Selanjutnya penilaian akan dilakukan untuk melihat besar pendapatan yang akan diterima oleh perusahaan. Pendanaan suatu kegiatan investasi memerlukan dana yang relatif besar (Kasmir dan Jakfar 2007). Sumber pendanaan ini bisa terdiri dari 2 jenis yaitu modal asing (modal pinjaman) dan modal sendiri. Modal asing atau pinjaman adalah modal yang berasal dari pihak luar yang diperoleh secara pinjaman (Kasmir dan Jakfar 2007). Sumber dana dari modal asing dapat diperoleh melalui pinjaman dari dunia perbankan, pinjaman dari lembaga keuangan, pinjaman dari perusahaan nonbank (Kasmir dan Jakfar 2007). Modal sendiri adalah modal yang diperoleh dari pemiliki perusahaan dengan cara mengeluarkan saham secara tertutup maupun secara terbuka (Kasmir dan Jakfar 2007). Peolehan dana berdasarkan modal sendiri secara umum berasal dari setoran pemegang saham, cadangan laba, laba yang belum dibagi.

Berikut adalah sistematika analisis aspek finansial (Soeharto 1999, h. 109):

1. Menentukan parameter dasar
   Parameter dasar memberikan ketentuan, antara lain mengenai kapasitas produksi, pangsa pasar, proyeksi harga produk, dan lain-lain. Dengan demikian, telah ada batasan lingkup proyek yang memungkinkan pembuatan perkiraan biaya pertama.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2. Membuat perkiraan biaya investasi
   Tiga komponen utama biaya investasi, yaitu biaya pertama atau biaya pembangunan, modal kerja (*working capital*), dan biaya operasi / produksi.

3. Proyeksi pendapatan
   Proyeksi pendapatan (*revenue*) adalah perkiraan dana yang masuk sebagai hasil penjualan produksi dari unit usaha yang bersangkutan. Dalam hal ini, analisis titik impas (*break even point analysis*) akan menunjukkan hubungan antara jumlah produksi, harga satuan, dan profitabilitas suatu unit usaha.

4. Membuat model
   Sebagai model untuk analisis dalam rangka mengkaji kelayakan finansial adalah aliran kas (*cash flow*) selama umur investasi.

5. Kriteria penilaian
   Pembahasan mengenai krieria penilaian (*figure of merit*) diawali dengan konsep *equivalent* yang mencoba memberikan bobot kuantitatif faktor waktu terhadap nilai uang. Terdapat bermacam-macam kriteria penilaian, beberapa diantaranya memperhitungkan konsep *equivalent* seperti NPV, IRR, *Benefit Cost Ratio*. Adapun yang tidak memperhitungkan konsep tersebut adalah periode pengembalian dan *return on investment* (ROI).

6. Melakukan penilaian dan menyusun rangking alternatif
   Penilaian akan menghasilkan mana usulan yang mempunyai prospek baik dan tidak baik, untuk selanjutnya ditolak atau diterima. Ini dikenal dengan pendekatan *accept-reject decision*. Dalam situasi tertentu sering pula diperlukan adanya “rangking” untuk proyek-proyek yang diusulkan.

7. Analisis risiko
   Langkah-langkah evaluasi di atas sampai pada penyusunan alternatif rangking, dilakukan terhadap suatu asumsi tertentu, baik mengenai biaya yang dikeluarkan untuk investasi maupun pemasukan dari pendapatan yang akan diperoleh atau faktor-faktor lain. Suatu asumsi tidak akan tepat, selalu memiliki risiko berbeda atau meleset dari kenyataan. Bila kenyataan sesungguhnya berada jauh di luar batas rentang maka hasil-hasil rangking alternatif pun akan berbeda.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

BAB III

HASIL PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan penyebaran survei dan observasi untuk menghasilkan rekomendasi kelayakan penggunaan biogas dari berbagai aspek.

III.1 Survei

Instrumen survei dibuat dalam 6 kategori, yaitu profil demografi responden, karakteristik rumah tangga, karakteristik mengenai peternak sapi perah, karakteristik pengguna biogas, pengeluaran dan penghasilan dari peternak sapi perah dan persepsi mengenai penggunaan biogas.

Profil demografi responden meliputi jenis kelamin, usia, latar belakang pendidikan, status, jumlah anggota keluarga dan pekerjaan lain. Karakteristik rumah tangga meliputi profil demografi pasangan (jika ada). Karakteristik mengenai peternak sapi perah meliputi jumlah sapi yang dimiliki, pelatihan yang pernah diikuti, pemanfaatan kotoran sapi, dan penggunaan sumber energi. Karakteristik pengguna biogas meliputi ukuran biogas yang dimiliki, penggunaan biogas, informasi mengenai biogas dan pengambil keputusan untuk pemasangan biogas. Persepsi peternak mengenai penggunaan biogas meliputi pertanyaan mengenai kesadaran pengguna biogas akan faktor ekonomis, keamanan, kebersihan dan dampak lingkungan dari penggunaan biogas tersebut.

Pengguna biogas dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu yang menggunakan biogas tipe *fixed dome*, yang menggunakan biogas tipe fiber (*floating dome*) dan yang pernah menggunakan biogas (eks-pengguna). Biogas tipe fiber merupakan biogas yang pertama kali digunakan oleh peternak, namun biogas baru yang saat ini dipasang hanyalah biogas fixed dome, karena lebih aman dan lebih efisien dalam penghasilan gasnya.

Penelitian ini difokuskan pada peternak di Desa Ciater. Survei dilakukan dengan cara wawancara terstruktur dengan menggunakan kuesioner yang telah dirancang. Setiap peternak diberikan pertanyaan sesuai isi kuesioner. Pengumpulan data kuesioner ini dilakukan pada tanggal 5 – 16 November 2012 di 11 zona dan 21 TPS (Tempat Pengumpulan Susu), yaitu Ciater, Panaruban, Cigeureung, Jagarnaek, Cisaat, Cilimus, Curugrendeng, Cinungku, Palasari, Cileuweung dan Nagrak. Jumlah responden dipilih secara acak, dari 194 peternak sapi perah yang tinggal di daerah tersebut. Dengan mempertimbangkan tingkat kepercayaan 95% dan tingkat ketelitian (confidence interval) sebesar 5%, jumlah sampel yang sebaiknya digunakan adalah 129 orang. Namun, atas keterbatasan waktu dan area yang dapat dikunjungi, jumlah sampel ditentukan sebanyak 120 orang.

Data dari survei terdahulu (LSPPI, 2011) menunjukkan terdapat 194 peternak di desa Ciater Subang, diantaranya berumur 18 – 66 tahun. Para peternak ini, umumnya memiliki pengalaman beternak 1 – 3 tahun dan keanggotaan KPSBU selama 1-3 tahun. Sebagian besar peternak memiliki pendidikan terakhir SD dan pernah mengikuti pelatihan tentang beternak. Jumlah sapi yang dimiliki peternak adalah 1-3 sapi. Pemanfaatan kotoran sapi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pada umumnya adalah untuk dijadikan pupuk. Sebagian dari peternak di desa Ciater juga memasang reaktor biogas untuk pemanfaatan kotoran sapi, dan menggunakan biogas yang dihasilkan untuk memasak dan penerangan. Data ini akan diverifikasi dengan hasil survei yang dilakukan dalam penelitian ini.

III.2 Profil dan Karakteristik Peternak di Desa Ciater Subang

Data-data yang diperoleh berdasarkan hasil survei dilakukan pada peternak di kawasan Ciater Subang. Peternak yang berada di kawasan Ciater Subang berjumlah 194 peternak. Data responden yang diambil sebanyak 120 responden.

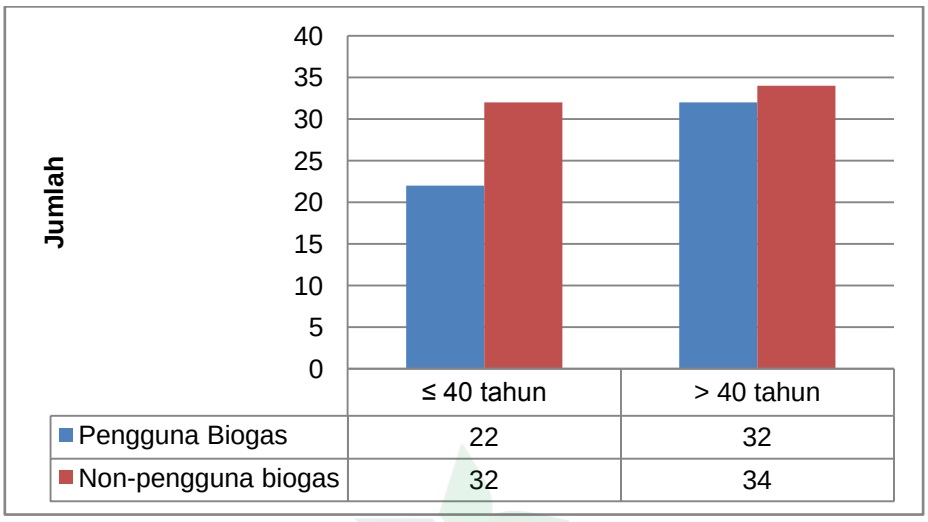
III.2.1 Profil Peternak di Desa Ciater Subang

Peternak di kawasan Ciater Subang terbagi menjadi 2 tipe peternak yaitu peternak yang menggunakan biogas dan peternak yang belum menggunakan biogas. Tabel III.1 berisi jumlah pengguna biogas dan non-pengguna biogas beserta persentase masing-masing kategori.

Tabel III.1 Tipe Responden

	Jumlah	Persentase
Pengguna Biogas		
fixed dome	26	22%
fiber	14	12%
eks-pengguna	14	12%
Non-pengguna biogas	66	55%
Total	120	100%

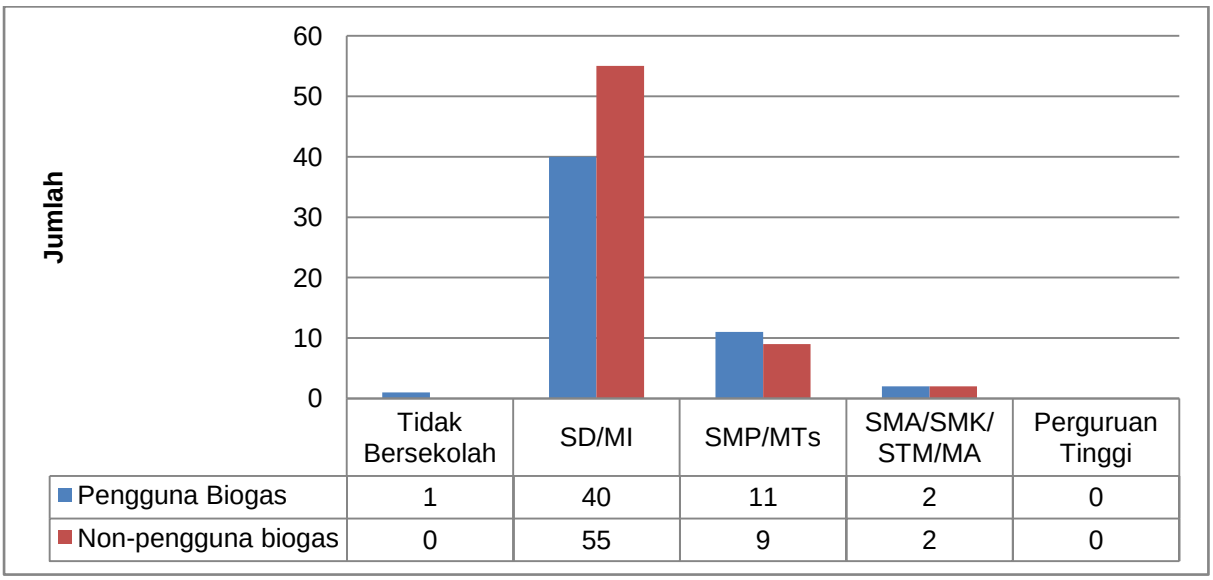
Dengan membagi usia responden menjadi dua kategori, yaitu usia di bawah 40 tahun dan di atas 40 tahun, terdapat 22 responden pengguna biogas dan 32 responden non-pengguna biogas dengan umur ≤ 40 tahun. Responden yang berumur > 40 tahun terbagi menjadi 32 orang pengguna biogas dan 34 orang non-pengguna biogas. Gambar III.1 menunjukkan proporsi usia peternak yang menggunakan biogas dan tidak menggunakan biogas.



Gambar III.1 Umur Responden

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

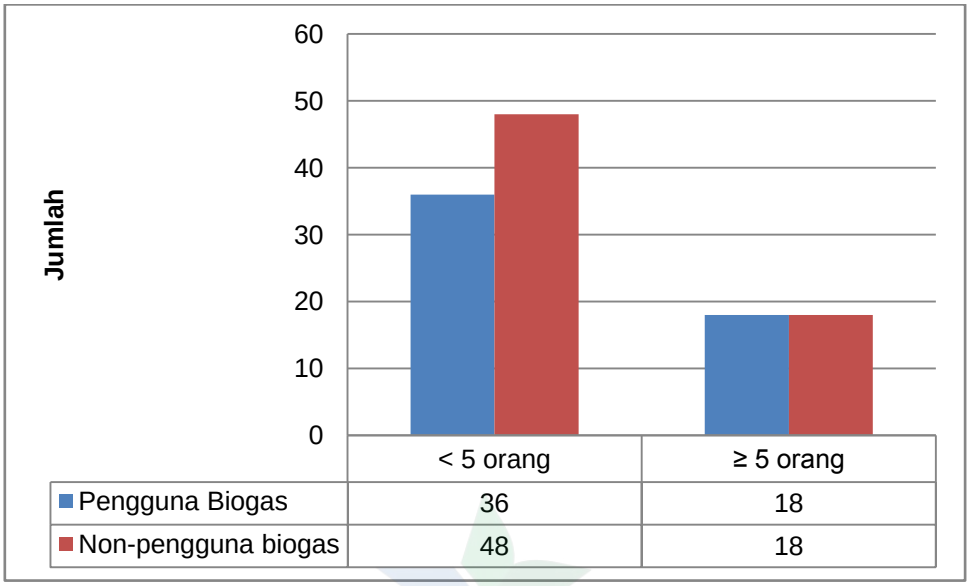
Pendidikan terakhir responden dibagi menjadi 5, yaitu tidak bersekolah, lulus SD/MI, lulus SMP/MTs, lulus SMA/SMK/STM/MA, dan lulus Perguruan Tinggi. Gambar III.2 menunjukkan dari keseluruhan 120 responden, hanya ada 1 orang yang tidak bersekolah. Sebagian besar responden memiliki pendidikan terakhir SD/MI, yaitu 40 responden pengguna biogas dan 55 responden non-pengguna biogas. Terdapat 11 responden pengguna biogas dan 9 responden non-pengguna biogas dengan pendidikan terakhir SMP/MTs. Masing-masing 2 responden pengguna biogas dan non-pengguna biogas merupakan lulusan SMA/SMK/STM/MA.



	Tidak Bersekolah	SD/MI	SMP/MTs	SMA/SMK/ STM/MA	Perguruan Tinggi
Pengguna Biogas	1	40	11	2	0
Non-pengguna biogas	0	55	9	2	0

Gambar III.2 Pendidikan Terakhir Responden

Jumlah anggota keluarga responden dikategorikan menjadi 2, yaitu responden dengan jumlah keluarga < 5 orang dan ≥ 5 orang. Gambar III.3 adalah diagram batang jumlah responden dengan anggota keluarga < 5 orang dan ≥ 5 orang.

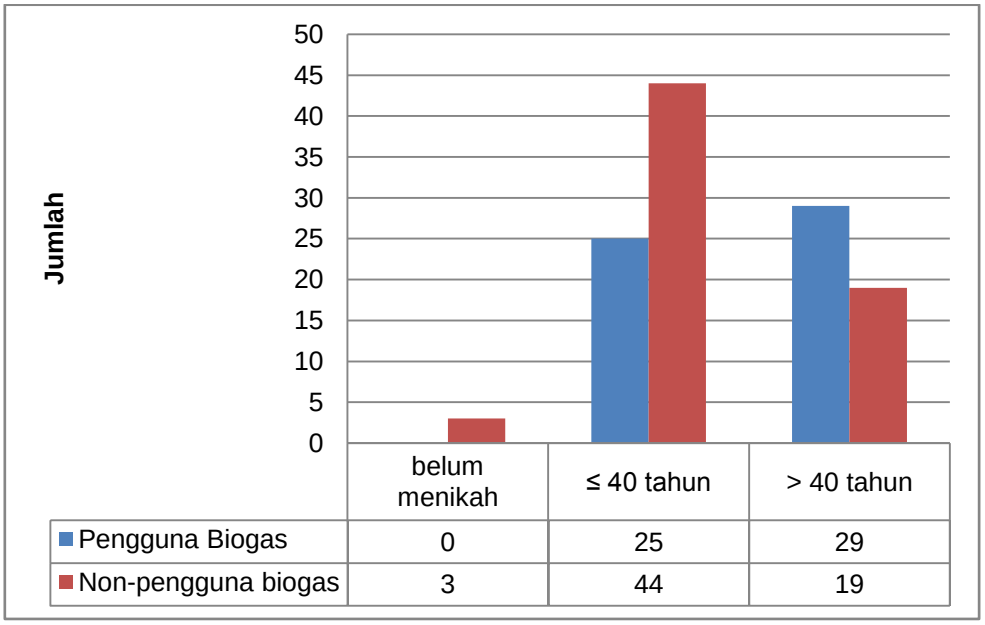


	< 5 orang	≥ 5 orang
Pengguna Biogas	36	18
Non-pengguna biogas	48	18

Gambar III.3 Jumlah Anggota Keluarga Responden

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Seperti usia peternak, usia pasangan responden (jika memiliki pasangan) dibagi menjadi 2 kategori, yaitu usia ≤ 40 tahun dan usia > 40 tahun. Gambar III.4 menunjukkan diagram batang jumlah responden yang memiliki suami/istri dengan usia ≤ 40 tahun dan usia > 40 tahun. Terdapat 3 responden non-pengguna biogas yang belum menikah. Sebanyak 25 responden pengguna biogas dan 44 responden non-pengguna biogas memiliki suami/istri dengan umur ≤ 40 tahun. Responden yang memiliki suami/istri dengan umur > 40 tahun, terbagi menjadi 29 responden pengguna biogas dan 19 responden non-pengguna biogas.



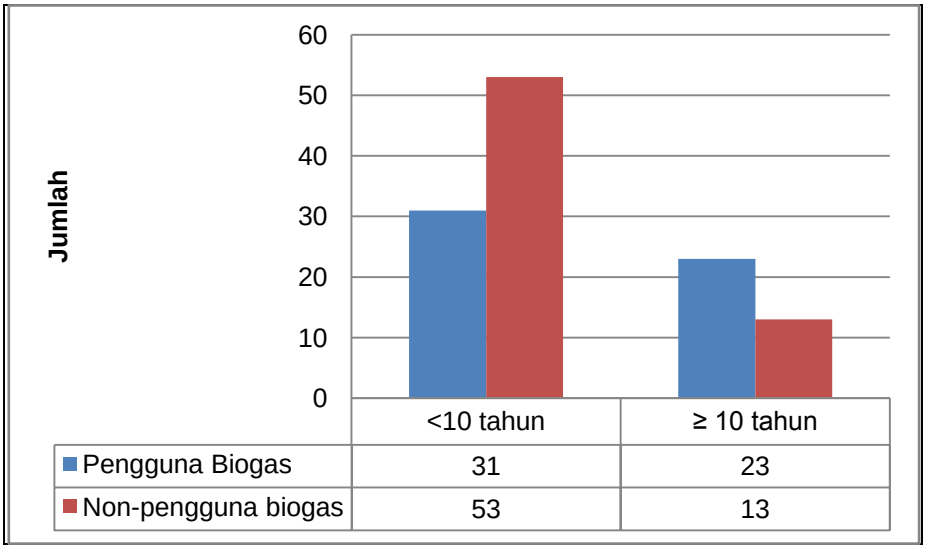
Gambar III.4 Usia Suami/Istri Responden

III.2.2 Karakteristik Peternak di Desa Ciater Subang

Bagian ini menggambarkan karakteristik peternak, seperti: lama responden menjadi peternak, lama responden menjadi anggota KPSBU, jumlah ternak yang dimiliki responden, pemanfaatan kotoran ternak, dan bahan bakar yang digunakan responden untuk keperluan memasak.

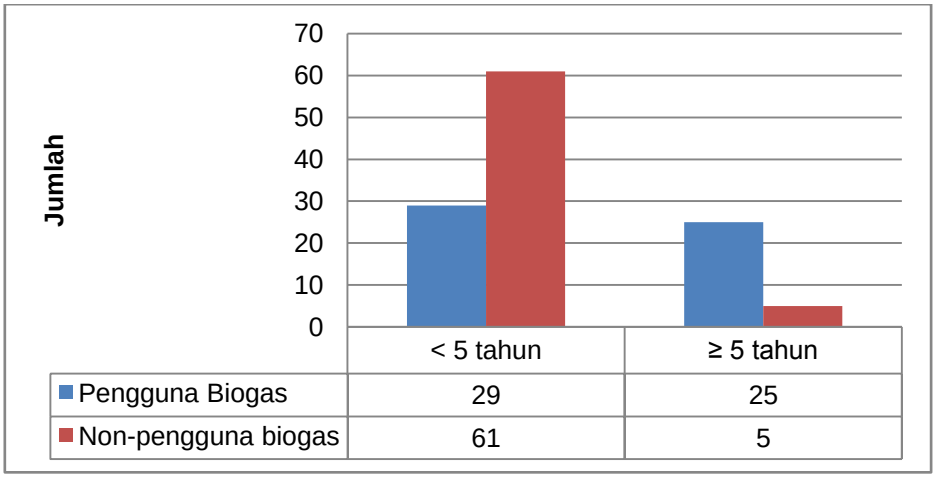
Lama responden menjadi peternak dibagi menjadi 2 kategori, yaitu lama beternak < 10 tahun dan lama beternak ≥ 10 tahun. Gambar 5 merupakan diagram batang dari jumlah responden yang telah menjadi peternak selama < 10 tahun dan ≥ 10 tahun. Lama responden menjadi peternak < 10 tahun adalah 31 responden pengguna biogas dan 53 responden non-pengguna biogas. Terdapat 23 responden pengguna biogas dan 13 responden non-pengguna biogas telah menjadi peternak selama ≥ 10 tahun.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar III.5 Lama Responden Menjadi Peternak

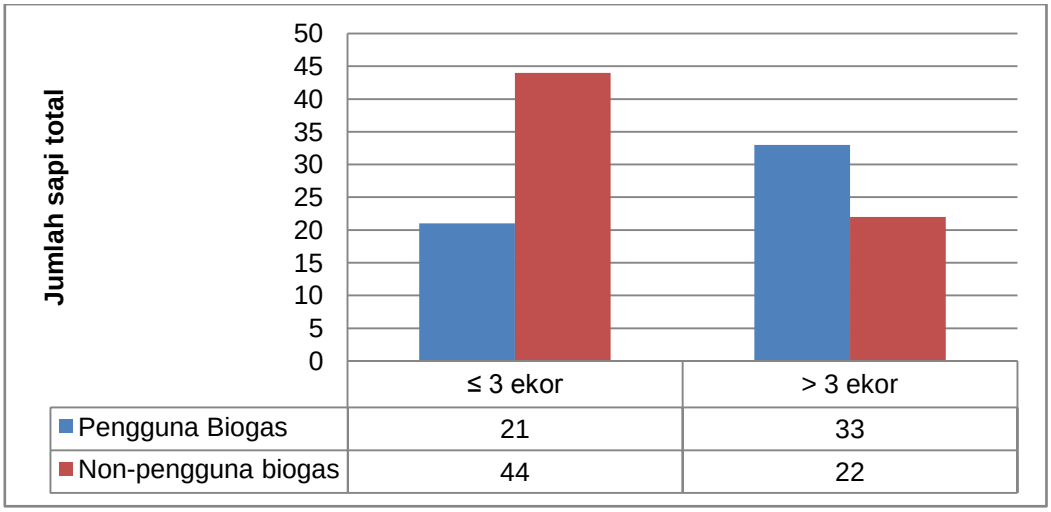
Jumlah responden dibagi menjadi 2, yaitu responden dengan lama menjadi anggota KPSBU < 5 tahun dan ≥ 5 tahun. Gambar 6 menunjukkan proporsi responden yang telah menjadi anggota KPSBU selama < 5 tahun dan ≥ 5 tahun. Terdapat 29 responden pengguna biogas dan 61 responden non-pengguna biogas yang telah menjadi anggota KPSBU selama < 5 tahun. Sebanyak 25 responden pengguna biogas dan 5 responden non-pengguna biogas yang telah menjadi anggota KPSBU selama ≥ 5 tahun.



Gambar III.6 Lama Responden Menjadi Anggota KPSBU

Jumlah sapi yang dimiliki responden terbagi menjadi 2, yaitu ≤ 3 ekor dan > 3 ekor. Gambar 7 menunjukkan proporsi responden yang memiliki sapi ≤ 3 ekor dan > 3 ekor. Terdapat 21 responden pengguna biogas dan 44 responden non-pengguna biogas yang memiliki sapi ≤ 3 ekor. Sebanyak 33 responden pengguna biogas dan 22 responden non-pengguna biogas mempunyai sapi > 3 ekor.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar III.7 Jumlah Sapi Yang Dimiliki Responden

Terhadap kotoran hewan (kohe) yang dihasilkan, responden ada yang memanfaatkan dan tidak memanfaatkan kohe tersebut. Tabel III.2 menunjukkan jumlah dan persentase jumlah responden yang menggunakan kotoran sapi dengan cara dibuat menjadi biogas dan pupuk.

Tabel III.2 Perlakuan Responden Terhadap Kotoran Sapi

	Jumlah	Persentase
Pengguna Biogas	54	45%
Biogas	6	5,0%
Biogas + pupuk	9	7,5%
Biogas + buang	26	21,7%
Biogas + pupuk + buang	13	10,8%
Non-pengguna biogas	66	54%
Pupuk	2	1,7%
Dibuang	51	42,5%
Pupuk + dibuang	13	10,8%
Total	120	100%

Bahan bakar yang digunakan responden untuk memasak adalah biogas, kayu bakar, dan atau gas elpiji. Tabel III.3 menggambarkan jumlah responden yang menggunakan bahan bakar untuk memasak.

Tabel III.3 Bahan Bakar Yang Digunakan Responden Untuk Memasak

	Jumlah	Persentase
Pengguna Biogas	54	45%
Biogas	8	6,7%
Biogas + kayu bakar	15	12,5%
Biogas + gas LPG	19	15,8%
Biogas + kayu bakar + gas LPG	12	10,0%
Non-pengguna biogas	66	55%
Kayu Bakar	11	9,2%
Gas LPG	15	12,5%
Kayu bakar + gas LPG	40	33,3%
Total	120	100%

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

III.2.3 Karakteristik Pengguna Biogas

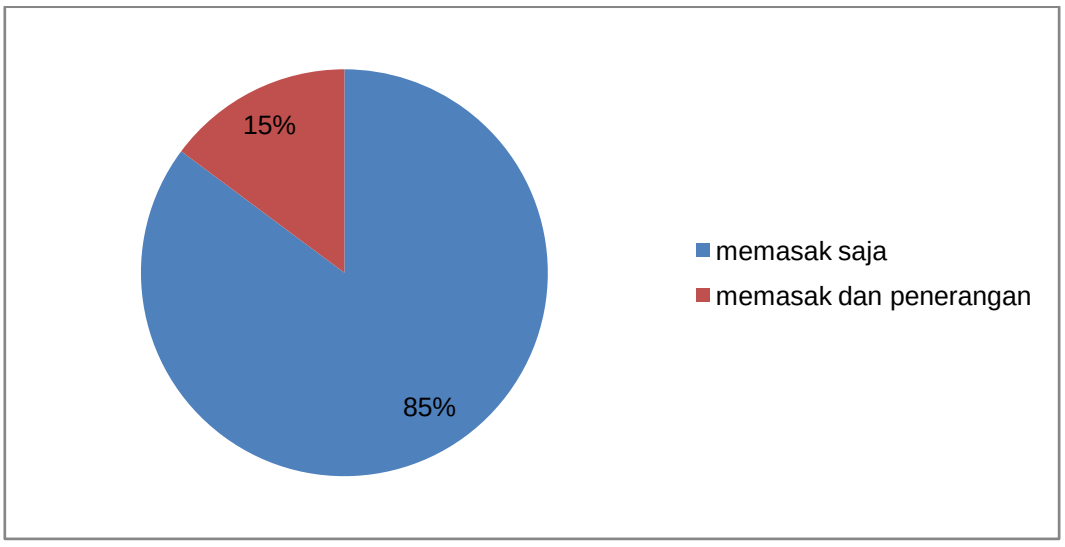
Yang dimaksud dengan pengguna biogas adalah seluruh responden yang pernah dan masih menggunakan biogas, yaitu pengguna biogas tipe *fixed dome*, pengguna biogas tipe *fiber* dan eks-pengguna biogas. Karakteristik pengguna biogas meliputi lama responden menggunakan biogas, jenis penggunaan biogas, pemanfaatan limbah cair biogas, keputusan menggunakan biogas, alasan menggunakan biogas, dan jumlah sapi yang dimiliki responden.

Berdasarkan Tabel III.4 dapat diketahui bahwa sebanyak 35,2% responden telah menggunakan biogas selama ≥ 3 tahun. Terdapat 64,8% responden yang telah menggunakan biogas selama kurang dari < 3 tahun.

Tabel III.4 Lama Responden Menggunakan Biogas

	Jumlah	Persentase
< 3 tahun	35	64,8%
≥ 3 tahun	19	35,2%
Total	54	100

Dalam pemanfaatannya, sebanyak 46 reponden menggunakan biogas hanya untuk memasak. Terdapat 8 responden menggunakan biogas untuk keperluan memasak dan penerangann seperti terlihat pada Gambar III.8. Yang dimaksud dengan penerangan adalah lampu khusus yang berbentuk seperti lampu petromaks. Lampu ini dipasang di kandang sapi. Sedangkan, untuk keperluan memasak, disediakan kompor khusus untuk biogas.



Gambar III.8 Penggunaan Biogas

Pengolahan kotoran sapi menjadi biogas menghasilkan limbah cair. Limbah cair tersebut sangat baik digunakan sebagai pupuk. Berdasarkan Tabel III.5, pemanfaatan limbah cair biogas sebagai pupuk dilakukan oleh 27 responden. Sedangkan, 27 responden lainnya tidak memanfaatkan limbah cair biogas dan membuangnya ke sungai atau selokan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

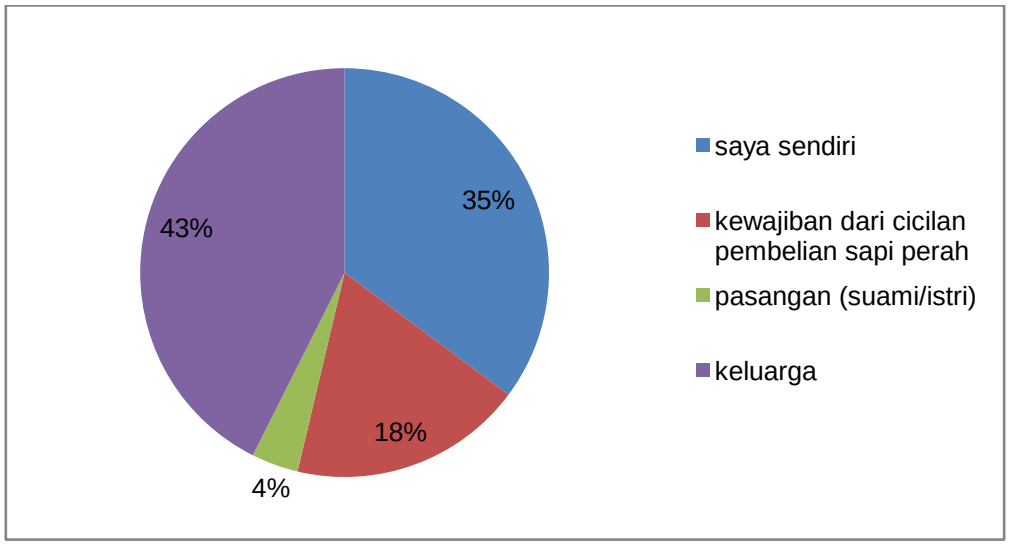
Tabel III.5 Pemanfaatan Limbah Cair Biogas

	Jumlah	Persentase
sebagai pupuk	27	50%
dibuang	27	50%
Total	54	100%

Tabel III.6 dan Gambar III.9 memperlihatkan 23 responden dipengaruhi oleh keluarga dalam mempengaruhi keputusannya untuk menggunakan biogas. 10 responden menggunakan biogas karena merupakan salah satu syarat untuk membeli sapi perah. 19 responden memutuskan sendiri untuk menggunakan biogas. Sisa 2 responden dipengaruhi oleh pasangan (suami/istri) dalam mempengaruhi keputusannya untuk menggunakan biogas.

Tabel III.6 Keputusan Menggunakan Biogas

Responden	Jumlah	Persentase
saya sendiri	19	35,20%
kewajiban dari cicilan pembelian sapi perah	10	18,50%
pasangan (suami/istri)	2	3,70%
keluarga	23	42,60%
Total	54	100%



Gambar III.9 Keputusan Menggunakan Biogas

Keuntungan menggunakan biogas telah dirasakan oleh sebagian responden. Meskipun awalnya responden menggunakan biogas karena merupakan kewajiban dari cicilan sapi. Berdasarkan hasil survei, berikut ini merupakan alasan responden menggunakan biogas:

- Alasan biaya, lebih hemat (efisiensi biaya): 34 responden.
- Alasan teknis, kemudahan memperoleh sumber energi dibandingkan sumber energi lain: 16 responden.
- Alasan keamanan, lebih aman daripada gas LPG: 5 responden.
- Alasan sosial, pengaruh teman, tetangga, keluarga: 1 responden.
- Alasan coba-coba: 1 responden.
- Kewajiban dari cicilan untuk pembelian sapi perah: 5 responden.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

III.2.4 Hubungan Antara Penggunaan Biogas Dan Profil Peternak

Dari hasil survei dilakukan juga pengujian untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan antara pengguna biogas dan profil peternak. Pengujian korelasi antara profil peternak dan penggunaan biogas menghasilkan adanya hubungan antara penggunaan biogas dan usia pasangan, pendidikan terakhir pasangan, jumlah sapi, lama beternak dan lama keanggotaan KPSBU.

Selanjutnya, dilakukan penentuan nilai korelasi untuk melihat kuat atau lemahnya hubungan antara penggunaan biogas dengan karakteristik atau profil tertentu. Tabel III.7 menunjukkan tingkat hubungan antara usia pasangan, pendidikan pasangan, jumlah sapi, lama beternak dan lama keanggotaan KPSBU.

Tabel III.7 Rekapitulasi Hubungan Antara Profil Peternak Dan Penggunaan Biogas

Profil peternak	Analisis Korelasi	Hubungan
Umur suami/istri	0,232	lemah
Pendidikan suami/istri	0,198	lemah
Pendapatan per bulan	0,273	lemah
Jumlah sapi	0,267	lemah
Lama beternak	0,241	lemah
Lama keanggotaan KPSBU	0,406	cukup kuat

III.3 Analisis Dampak Lingkungan

Program penggunaan biogas diharapkan dapat meninimasi kerusakan lingkungan akibat gas metana yang dilepaskan oleh kotoran ternak. Penggunaan gas metana yang diolah menjadi biogas sehingga dapat dimanfaatkan untuk memasak dan penerangan para peternak sapi. Metana adalah suatu senyawa gas yang paling dihasilkan dari sapi, baik sapi pedangin maupun sapi penghasil susu. Metana adalah gas rumah kaca utama yang dipancarkan dari dikelola limbah ternak, terhitung sekitar 81 % dari total emisi dari kotoran. Metana yang berasal dari sapi dianggap sumber yang paling penting dari emisi CH_4 antropogenik.

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi emisi CH_4 dari ternak, antara lain: konsumsi pakan, ukuran hewan, diet, tingkat pertumbuhan, susu konsumsi produksi, dan energi. Dalam sistem produksi daging dan susu, metana terutama dihasilkan dari proses pencernaan mikroba ruminansia spesies ternak. Selain emisi dari fermentasi enterik, CH_4 juga dihasilkan selama dekomposisi pupuk kandang. Area penyimpanan pupuk merupakan kontributor terbesar kedua dari emisi CH_4 pada pabrik pengolahan susu komersial. Namun, kontribusi relatif disimpan oleh CH_4 yang dilepaskan dari susu atau proses penggemukan relatif kecil bila dibandingkan dengan nilai fermentasi enterik.

Metana dipancarkan dalam kondisi anaerobik selama dekomposisi pupuk dalam sistem seperti: kolam penyimpanan, tank, dan lubang-lubang di mana mikroorganisme yang mampu memfermentasi bahan organik. Emisi metana dari tempat penyimpanan pupuk adalah variabel tergantung pada pengelolaan pupuk. Emisi dapat dipengaruhi oleh kotoran ternak, bentuk fisik dari kotoran, kondisi lingkungan, dan waktu yang diperlukan sebelum proses dekomposisi. Ada juga sejumlah kecil emisi yang dipancarkan dari lantai gudang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

atau *feedlots*. Selain itu, sebenarnya tanah dapat menyerap metana, namun jumlah yang diserap sangat kecil.

Pengelolaan limbah sangat penting untuk pengelolaan ternak, hal ini dkarenakan sekitar 22-70 kg feses dan urin diproduksi setiap hari oleh sapi penghasil usu maupun sapi pedaging. Kotoran dapat disimpan baik dalam kering (limbah padat atau semi - padat) atau dalam bentuk cair. Sapi penghasil susu biasanya memanfaatkan baik bentuk limbah padat atau cair, sedangkan *feedlots* mengelola kotoran sapi dalam bentuk padat. Produksi pupuk metana ditemukan menjadi sangat bervariasi di seluruh operasi, terutama karena jenis makanan yang berbeda (yang mempengaruhi komposisi pupuk, yaitu meningkatnya fermentasi karbohidrat dalam kotoran hewan), kondisi lingkungan yang berbeda (suhu dan kelembaban), dan sistem penanganan pupuk penanganan yang digunakan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

BAB IV

ANALISIS KELAYAKAN

Aspek finansial merupakan perhitungan yang dilakukan untuk mengolah data-data keuangan yang didapt berdasarkan hasil data dari 120 peternak di kawasan Ciater Subang. Aspek finansial akan terbagi menjadi 6 skenario keuangan. Penentuan awal dari skenario ini adalah seluruh skenario keuangan berdasarkan ketentuan KPSBU. Berdasarkan aspek pasar dan aspek teknis maka seluruh skenario keuangan didasarkan pada beberapa hal berikut ini. Jumlah sapi yang dimiliki responden 5 ekor. Perhitungan pengeluaran keuangan didasarkan pada jumlah anggota keluarga yang berjumlah 5 orang. Harga tabung gas elpiji yang digunakan adalah Rp 17.000,00/tabung. Ukuran *biodigester* yang dibangun adalah 6 m^3. *Kotoran* sapi yang dihasikan dari 5 ekor sapi per hari adalah 100 kg kotoran basah. Kotoran basah yang dimasukkan ke dalam *inlet* setiap harinya berjumlah 60 kg. Hasil dari *slurry* setiap hari adalah 30 kg (60 kg dikali 50%).

Skenario yang digunakan pada bagian ini berjumlah 6. Enam skenario ini dibuat berdasarkan 2 jenis ketentuan yaitu penjualan pupuk dan jumlah tabung gas yang dapat di hemat setelah pembangunan *biodigester*. Berdasarkan harga penjualan pupuk skenario dapat dibagi 3 jenis. Berdasarkan jumlah tabung gas skenario dapat dibagi menjadi 2 jenis. Skenario yang digunakan merupakan kombinasi dari penjualan pupuk dan jumlah tabung gas. Tabel IV.1 menunjukkan jenis kombinasi dari setiap ketentuan skenario yang ada.

Tabel IV.1 Skenario Penghematan

Skenario penghematan	Tidak ada pupuk yang terjual	Harga Pupuk Rp 8000,00/30 kg	Harga Pupuk Rp 500,00/kg
3 tabung gas	1	3	5
4 tabung gas	2	4	6

Kotoran yang dihasilkan dapat diubah menjadi pupuk. Jumlah pupuk yang dapat dijual berasal dari 2 jenis. Pupuk yang dapat dijual berasal dari limbah *slurry* dan sisa kotoran yang tidak dimasukkan ke dalam *inlet*. Pupuk yang dapat dijual setiap harinya dari kotoran sapi yang tidak dimasukkan ke dalam *inlet* adalah 20 kg. Hasil limbah *slurry* yang dapat dijual setiap harinya adalah 30 kg. Jadi total pupuk yang dapat dijual setiap hari adalah 50 kg.

Aspek finansial yang akan dihitung ini berdasarkan 2 jenis yaitu *net present value* (NPV), *internal rate of return* (IRR). Periode perhitungan didasarkan pada umur reaktor biogas yaitu 15 tahun. Perhitungan *cash flow* yang dilakukan dalam satuan periode bulan (30 hari). Total periode yang akan dihitung adalah 180 periode. Harga pembangunan 1 *biodigester* secara umum adalah Rp 6.600.000,00. Harga pembangunan 1 *biodigester* melalui KPSBU adalah Rp 7.000.000,00. Namun bila pembangunan tersebut dilakukan melalui KPSBU maka akan mendapat bantuan dana Rp 2.000.000,00 yang berasal dari HIVOS.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pembayaran uang untuk membangun *biodigester* dapat dilakukan oleh peternak dengan cara mencicil hingga lunas. KPSBU menetapkan cicilan yang harus dibayar oleh peternak adalah Rp 50.000,00 setiap 15 hari. Cicilan yang digunakan dalam perhitungan NPV dan IRR sejumlah Rp 100.000,00 setiap 30 hari (1 bulan). Cicilan yang dibayarkan peternak memiliki bunga pinjaman sebesar 8% per tahun. Periode pembayaran cicilan yang dihitung dalam satuan bulan. Berdasarkan hal tersebut maka bunga pinjaman per bulan adalah 8% dibagi 12 menjadi 0,67% per bulan.

Perhitungan jumlah periode pembayaran adalah sebagai berikut:
P = Rp 4.600.000,00
A = Rp 100.00,00
i = 0,67%
n = …?

Maka perhitungan menjadi:

$$\text{Rp } 4.600.000{,}00 = \text{Rp } 100.000{,}00\ (P/A, 0.67\%, n)$$

$$46 = \frac{((1 + 0.0067)^{n} - 1}{0.0067*((1 + 0.0067)^{n})}$$

$$n = 55$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka jumlah periode pembayaran yang harus dibayarkan peternak adalah 55 periode. Nilai MARR yang digunakan dalam perhitungan ini adalah suku bunga deposito BRI per 9 Januari 2013 yaitu 5,25% per tahun (http://www.seputarforex.com/data/suku_bunga_deposito/).

IV.1 Skenario 3 Tabung

Skenario yang pertama adalah skenario dengan hasil paling minimal yang bisa diperoleh peternak. Skenario ini merupakan kombinasi dari penghematan 3 tabung gas per bulan dan tidak ada pupuk yang terjual. Berdasarkan skenario ini maka penghematan yang dilakukan hanya berdasarkan tabung gas. Jumlah penghematan yang dilakukan setiap bulan sejumlah Rp 51.000,00. Pengolahan data keuangan yang pertama dilakukan adalah perhitungan *cash flow*. *Cash flow* yang dihitung sebanyak 180 periode. Hasil perhitungan menunjukkan NPV yang didapat Rp 1.465.370,00. Perhitungan IRR digunakan dengan metode *trial and error* dan diperoleh hasil sebesar 1,021%.

IV.2 Skenario 4 Tabung

Skenario 4 tabung merupakan hasil kedua terendah yang mungkin didapat oleh peternak setelah pembangunan biogas. Skenario ini merupakan kombinasi dari penghematan 4 tabung gas dan tidak ada pupuk yang terjual. Penghematan yang dapat dilakukan setiap bulan bila skenario ini yang terjadi adalah Rp 68.000,00. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa NPV yang didapat dengan bunga 0,67% adalah Rp 3.580.120,00. Perhitungan IRR untuk skenario ini menggunakan *trial and error*. Hasil yang didapat setelah melakukan perhitungan adalah NPV akan bernilai 0 saat i yang digunakan 1,98142 %. Hal ini menunjukkan pada skenario dua NPV yang didapat bernilai positif. IRR yang didapat pada skenario dua lebih kecil dari MARR yang nilainya 0,67%.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

IV.3 Skenario 3 Tabung dan Harga Pupuk Rp 8.000,00/ 30 Kg

Skenario berikutnya adalah skenario tiga tabung dan harga pupuk Rp 8.000/ 30 kg. Skenario ini berisi tentang penghematan 3 tabung gas per bulan dan penjualan pupuk seharga Rp 8.000,00 per 30 kg. Harga pupuk ini akan dikalikan dengan jumlah pupuk yang tersedia pada peternak setiap harinya. Pupuk yang tersedia pada peternak setiap hari berjumlah 50 kg. Maka penghematan yang dapat diperoleh peternak bila menjual pupuk dengan skenario ini adalah Rp 400.000,00 per bulan. total penghematan tabung gas pada skenario ini adalah Rp 51.000,00 per bulan. total penghematan yang dapat dilakukan berdasarkan skenario tiga adalah Rp 451.000,00 per bulan. Berdasarkan hasil perhitungan NPV yang didapat pada skenario ini adalah Rp 51.224.182,00. NPV yang didapat pada skenario ini juga bernilai positif. maka IRR pada skenario ini lebih besar nilainya dari MARR yang saat ini digunakan.

IV.4 Skenario 4 Tabung dan Harga Pupuk Rp 8.000,00/ 30 kg

Penghematan yang ada pada skenario ini adalah setelah membangun biogas maka peternak dapat menghemat 4 tabung gas per bulan. Skenario ini melakukan perhitungan harga penjualan pupuk sebesar Rp 8.000,00 per 30 kg. penghematan yang diperoleh dari tabung gas berjumlah Rp 68.000,00 per bulan. Penghematan yang dapat dilakukan dari penjualan pupuk adalah Rp 400.000,00 per bulan. Total penghematan yang dapat dilakukan pada skenario ini berjumlah Rp 468.000,00 per bulan. Pada skenario 4 tabung dan harga pupuk Rp 8.000,00/30 kg. Hasil perhitungan NPV yang didapat pada skenario ini positif dengan nilai Rp 53.338.932,00. Hasil perhitungan IRR menunjukkan bahwa dengan i sesuai dengan MARR dan i 0,5% maka nilai NPV pada IRR 0,5% lebih mendekati 0. Nilai IRR pada skenario ini lebih besar dari MARR.

IV.5 Skenario 3 Tabung dan Harga Pupuk Rp 500,00/ kg

Penghematan yang dapat dilakukan berdasarkan skenario ini adalah penghematan 3 tabung gas serta harga pupuk Rp 500,00 per kg. Skenario ini menggunakan 3 tabung gas yang jika dihitung berjumlah Rp 51.000,00 per bulan. Harga penjualan pupuk yang dapat diperoleh peternak setiap bulan yaitu Rp 750.000,00. Berdasarkan hasil tersebut maka total penghematan yang dapat diperoleh peternak setiap bulan berdasarkan skenario ini adalah Rp 801.000,00. NPV yang beroleh nilainya positif serta lebih besar dari nilai NPV pada skenario sebelumnya. NPV yang diperoleh skenario ini adalah Rp 94.763.142,00. Saat IRR yang digunakan sama dengan nilai MARR yaitu 0,4345% dan 0,5% maka hasilnya yang didapat adalah dengan IRR 0,5% nilai NPV lebih mendekati 0. Hal ini menunjukkan nilai IRR pada skenario ini lebih besar dari MARR.

IV.6 Skenario 4 Tabung dan Harga Pupuk Rp 500/ kg

Skenario ini merupakan kombinasi dari nilai-nilai yang paling maksimum dari setiap jenis penghematan. Penghematan yang terjadi pada skenario ini adalah jumlah tabung gas yang dapat dihemat yaitu 4 tabung. Harga pupuk yang dapat ditawarkan oleh peternak pada skenario ini berjumlah Rp 500,00 per kg. berdasarkan hal tersebut penghematan yang dapat dilakukan berdasarkan tabung gas Rp 68.000,00 per bulan. Pendapatan yang diperoleh pada skenario ini dari hasil penjualan pupuk adalah Rp 750.000,00 per bulan. Total penghematan yang terjadi adalah Rp 818.000,00 per bulan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa NPV yang diperoleh adalah Rp 96.877.892,00. NPV yang diperoleh pada skenario ini merupakan NPV dengan nilai terbesar dibandingkan dengan NPV pada skenario yang lain. Perhitungan IRR yang digunakan sama dengan nilai MARR yaitu 0,4345% dan 0,5% maka

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

hasilnya yang didapat adalah dengan IRR 0,5% nilai NPV lebih mendekati nilai 0. Nilai IRR pada skenario ini lebih besar dari MARR. Hasil yang didapat pada skenario 6 merupakan hasil yang paling maksimum.

Berdasarkan perhitungan yang didapat skenario yang menghasilkan nilai paling minimum adalah skenario 1 dan nilai paling maksimum adalah skenario 6. Tabel IV.2 menampilkan rekapitulasi hasil perhitungan semua skenario.

Tabel IV.2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan

Jenis	NPV	IRR	MARR
Skenario 3 Tabung	Rp 1,465,370	1,021%	0.4375%
Skenario 4 Tabung	Rp 3,580,120	1,981%	
Skenario 3 Tabung dan Harga Pupuk Rp 8.000,00/30 kg	Rp 51,224,182	> MARR	
Skenario 4 Tabung dan Harga Pupuk Rp 8.000,00/30 kg	Rp 53,338,932	> MARR	
Skenario 3 Tabung dan Harga Pupuk Rp 500,00/ kg	Rp 94,763,142	> MARR	
Skenario 3 Tabung dan Harga Pupuk Rp 500,00/ kg	Rp 96,877,892	> MARR	

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

Bab ini berisi rangkuman dari penelitian yang telah dilakukan dan akan menjawab masalah-masalah yang terdapat pada Bab 1. Selain kesimpulan, terdapat juga saran yang diharapkan akan berguna untuk penelitian berikutnya.

V.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik pada penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik yang cocok untuk diberikan penyuluhan mengenai penggunaan biogas adalah peternak yang memiliki karakteristik:
   - Jumlah anggota keluarga > 5 orang
   - Jumlah sapi > 3 ekor
   - Lama keanggotan KPSBU ≥ 5 tahun
2. Perilaku peternak pengguna biogas didominasi untuk keperluan memasak serta memasak dan penerangan untuk kandang sapi.
3. Peran instansi dalam hal ini adalah KPSBU sangat penting untuk mengedukasi para peternak tentang keuntungan menggunakan biogas serta memfasilitasi para peternak untuk memasang biogas melalui program cicilan dengan berbagai skema.
4. Penggunaan biogas dapat mengurangi jumlah tabung gas LPG yang digunakan oleh peternak dan dapat menjadi sumber penghasilan tambahan dengan menjual pupuk hasil pengolahan biogas.

V.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya antara lain:

1. Penyuluhan program instalasi biogas dapat dilakukan secara kolektif, sehingga kelebihan biogas yang ditampung dapat digunakan secara bersama-sama dengan para tetangga dari peternak sapi.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DAFTAR PUSTAKA

BIRU. Model Instalasi Biogas Indonesia: Panduan Konstruksi. Available: sfiles.biru.or.id/uploads/files/1279108490.pdf [Accessed 31/12/2012].

GIUDICE, LA ROSA & RISITANO 2006. *Product Design for the Environment: A Life Cycle Approach,* Boca Raton, FL, Taylor & Francis.

KASMIR & JAKFAR 2007. *Studi Kelayakan Bisnis (Edisi Kedua),* Jakarta, Prenada Media Grup.

STACKHOUSE, K. R. 2011. *Assessment and Mitigation of Greenhouse Gases and Air Emissions from Beef Production.* Ph.D. 3499578, University of California, Davis.

TISCHNER, U., DIETZ, B., MASSELTER, S. & HIRSCHL, B. 2000. *How to do EcoDesign? : a guide for environmentally and economically sound design,* Frankfurt am Main, Verlag form.

UMAR, H. 2007. *Studi Kelayakan Bisnis: Manajemen, Metode dan Kasus (Edisi 3),* Jakarta, PT Gramedia Pustaka Utama.

VINH, N. Q. 2010. Utilization of Liquid Bio-Slurry as Fertilizer For Green Mustards and Lettuces in Dong Nai Province. Ho Chi Minh City: MINISTRY OF AGRICULTURE AND RURAL DEVELOPMENT.

YAYASAN SAHABAT CIPTA 2011. Laporan Akhir Baseline Survey: Karakteristik Sosial Peternak Sapi Perah Ciater. Jakarta.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p- ISSN : 2407 – 184
e-ISSN : 2460 – 8416

Website : jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek

EVALUASI PRODUKSI LISTRIK SUMBER ENERGI TERBARUKAN SEL ELEKTROKIMIA BERBASIS MIKROBA PADA VOLUME REAKTOR YANG BERBEDA

Tania Surya Utami[1*], Rita Arbianti[2], Guruh Mehra Mulyana[3]
Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia
Kampus UI Depok, 16424
[*]E-mail address: nana@che.ui.ac.id

ABSTRAK

Microbial Fuel Cell (MFC) merupakan salah satu teknologi yang dikembangkan untuk mendapatkan sumber energi terbarukan. MFC berupa sel elektrokimia yang menghasilkan listrik akibat aktivitas mikroba yang mendegradasi senyawa organik. Untuk menentukan apakah MFC dapat diaplikasikan menjadi teknologi praktis, dilakukan evaluasi melalui parameter kinetika berbasis Monod dan efisiensi coulomb serta efisiensi energi. Penelitian ini menggunakan reaktor *tubular single chamber membranless* dengan volume 0,5 L dan 5 L. Fokus penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh peningkatan volume reaktor terhadap parameter kinetika dan efisiensi sistem. Data hasil percobaan di laboratorium berhasil dimodelkan dengan persamaan Monod. Nilai parameter kinetika untuk sistem MFC dengan volume 0,5 L adalah Pmax 0,032 mW/m^2 dan Ks 772,98 mg/L, sedangkan untuk reaktor 5 L nilai Pmax sebesar 1,59 mW/m^2 dan Ks 399,97 mg/L. Nilai efisiensi coulomb tertinggi untuk reaktor 0,5 L adalah sebesar 0,435% dan 2,84% untuk reaktor 5 L. Nilai efisiensi energi tertinggi pada sistem MFC adalah 0,015% dengan reaktor 5 L. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan nilai parameter kinetika dan nilai efisiensi pada peningkatan volume reaktor dari 0,5 L ke 5 L. Peningkatan yang terjadi cukup signifikan, pada parameter Pmax terjadi peningkatan hingga 50 kali lipat.

Kata kunci: efisiensi, *Microbial Fuel Cell*, parameter kinetika, peningkatan volume reaktor, reaktor tubular tanpa membran

ABSTRACT

Microbial fuel cell (MFC) is a technology developed to obtain new sources of renewable energy. MFC form an electrochemical cell which generates electricity as a result of microbial activities that degrade organic compounds. To determine whether the MFC can be adapted to a practical technology, evaluation conducted through the kinetic parameters based Monod equation, coulombic efficiency, and energy efficiency. This study uses a single chamber membranless tubular reactor with a volume of 0.5 L and 5 L. The focus of this study was to evaluate the effect of enhanced reactor volume to kinetic parameters and system efficiency. Data from experiments in the laboratory successfully modeled with Monod equation. Value kinetic parameters for the MFC system with a volume of 0.5 L is Pmax 0,032 mW/m^2 and Ks 772.98 mg/L, whereas for the 5 L reactor Pmax value of 1.59 mW/m^2 and Ks 399.97 mg/L. The highest value for the coulombic efficiency of 0.5 L reactor is equal to 0.435% and 2.84% for reactors 5 L, and highest value of energy efficiency in the system MFC is 0.015% for reactor 5 L. The results showed an increase in the value of kinetic parameters and efficiency on enhancing of the reactor volume from 0.5 L to 5 L. The increase was significant, for Pmax parameter increased up to 50 times.

Keywords: *efficiency, enhanced reactor volume, Microbial Fuel Cell, kinetic parameters, tubular membranless reactor*

PENDAHULUAN

Usaha untuk pengadaan energi alternatif yang dapat diperbaharui dan berkelanjutan sudah banyak dilakukan guna memenuhi kebutuhan energi sekarang dan di masa yang akan datang. *Microbial Fuel Cell* (MFC) adalah suatu teknologi yang mampu mengubah energi yang tersimpan dalam ikatan kimia senyawa organik menjadi energi listrik dengan memanfaatkan reaksi katalitik oleh mikroorganisme (Du dkk., 2007). MFC menyediakan kesempatan baru untuk produksi energi yang berkelanjutan dari bahan bakar yang *biodegradable*, dan dapat mereduksi senyawa substrat (Rabaey & Verstraete, 2005).

p- ISSN : 2407 – 184
e-ISSN : 2460 – 8416
Website : jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek

Evaluasi kinerja MFC merupakan salah satu proses untuk mengetahui keberhasilan sistem MFC yang dikembangkan. Parameter utama yang dikaji adalah nilai daya listrik yang dihasilkan. Dalam sistem MFC, daya listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh berbagai faktor operasional. Untuk menentukan apakah MFC dapat diaplikasikan menjadi teknologi praktis, dilakukan evaluasi melalui parameter kinetika berbasis Monod dan efisiensi coulomb serta efisiensi energi. Kedua parameter efisiensi ini menunjukkan tingkat keefektifan sistem dalam menghasilkan listrik terkait dengan proses transfer elektron yang terjadi.

Parameter kinetika dan efisiensi yang didapat nantinya akan dibandingkan dengan parameter kinetika dan efisiensi pada reaktor yang sudah diperbesar volumenya. Tujuan dilakukan pembesaran volume adalah untuk tahap awal evaluasi sistem MFC agar diperoleh gambaran hubungan listrik keluaran dengan volume reaktor yang digunakan. Penelitian ini diharapkan dapat menunjang pengaplikasian MFC.

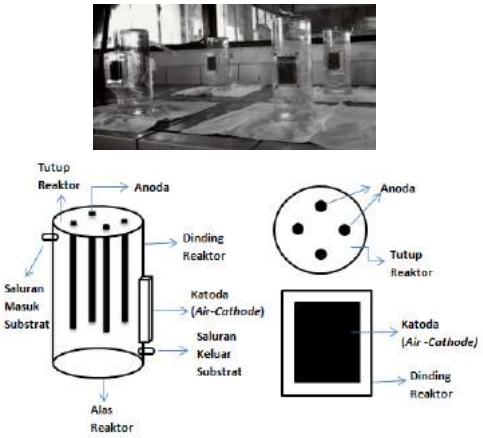
METODE

Persiapan Inokulum Bakteri

Konsorsium bakteri dari limbah cair tempe diinkubasi pada suhu ruang (27°C) selama 24 jam. Konsorsium dicampurkan dengan campuran dari limbah, larutan buffer, dan elektrolit dengan komposisi 45:45:10 (v/v) sebanyak 1% (v/v), dan diamkan selama 7 hari untuk proses penumbuhan biofilm pada permukaan anoda.

Kondisi Operasi dan Konstruksi Reaktor

Reaktor tanpa membran berbentuk tubular yang digunakan, dibuat dari bahan akrilik dengan volume 0,5 L dan 5 L (Gambar 1). Anoda dan katoda terbuat dari karbon yang dibentuk dengan ukuran tertentu. Anoda yang digunakan berbentuk silinder berjumlah empat buah, dengan luas 0,0042 m^2 untuk reaktor 0,5 L dan 0,0304 m^2 untuk reaktor 5 L. Katoda yang digunakan hanya berjumlah satu buah berbentuk plat, dengan luas katoda 0,002 m^2 untuk reaktor 0,5 L dan 0,013 m^2 untuk reaktor 5 L. Katoda kontak langsung dengan udara luar, atau disebut *air-cathode*.



Gambar 1. Reaktor yang digunakan

Masing-masing reaktor dihubungkan dengan rangkaian listrik dan resistor. Nilai resistor optimal untuk reaktor 0,5 L adalah 820 Ω dan untuk reaktor 5 L adalah 560 Ω. Pengambilan data tegangan dengan menggunakan multimeter APPA 109N yang dihubungkan dengan *personal computer* (PC). Semua percobaan dilakukan pada kondisi ruang (27°C).

Pada penelitian ini limbah cair tempe dimanfaatkan sumber inokulumnya saja untuk membentuk biofilm pada permukaan anoda reaktor. Untuk studi kinetika digunakan substrat tunggal glukosa untuk mempermudah analisis. Limbah tidak digunakan karena terdapat banyak makromolekul dalam kandungannya sehingga menyulitkan analisis terhadap sistem. Selain itu, limbah juga sulit divariasikan konsentrasi awalnya.

Perhitungan Data

Data dari multimeter yang diperoleh adalah tegangan listrik (mV atau V). Data diubah menjadi data arus dengan memasukkan nilai resistor yang digunakan, mengikuti Persamaan (1).

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

dimana I (A) arus, V (V) tegangan, dan R (ohm) resistor.

Data arus digunakan untuk menghitung *power density*. *Power density* digunakan untuk menentukan daya yang dihasilkan per meter luas anoda yang digunakan.

$$P = \frac{V\,(volt)\,x\;I(mA)}{A\,(m^2)} \quad (2)$$

dimana P (mW/m^2) *power density* and A (m^2) luas permukaan anoda.

p- ISSN : 2407 – 184
e-ISSN : 2460 – 8416
Website : jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek

Estimasi Parameter Kinetika

Persamaan Monod merupakan salah satu persamaan dasar yang banyak digunakan untuk membangun model kinetika pada sistem MFC (Logan, 2008; Torres dkk., 2007; Picioreanu dkk., 2007). Pada persamaan Monod, laju pertumbuhan sel dapat dinyatakan sebagai fungsi dari konsentrasi substrat. Persamaan Monod secara umum mengasumsikan hanya untuk pertumbuhan uniselular, yang bisa ditulis sebagai:

$$\mu = \mu_{max}\left(\frac{S}{K_s+S}\right) \quad (3)$$

dimana μ (mg/s) laju pertumbuhan spesifik, μmax (mg/s) laju pertumbuhan spesifik maksimum, S (mg/L) konsentrasi substrat, dan Ks (mg/L) konstanta paruh jenuh.

Persamaan Monod juga dapat digunakan untuk menghitung laju degradasi substrat dengan mengasumsikan substrat hanya didegradasi oleh enzim spesifik oleh mikroba tertentu. Laju degradasi substrat akan sebanding dengan konsentrasi mikroba yang dapat mendegradasi substrat. Substrat berkontribusi dalam pertumbuhan mikroorganisme, sehingga laju degradasi substrat dapat disetarakan dengan laju pertumbuhan mikroba, dan memberikan persamaan seperti di bawah ini (Okpokwasili dan Nweke, 2005):

$$q = \left(\frac{q_{max}S}{K_s+S}\right) \quad (4)$$

dengan q (mg/s) laju degradasi substrat spesifik, dan qmax (mg/s) laju degradasi substrat maksimum.

Berdasarkan mekanisme produksi listrik dalam MFC yang melibatkan metabolisme mikroba, maka persamaan Monod sangat sering diaplikasikan untuk menggambarkan model matematis dalam MFC (Logan, 2008).

Perhitungan Nilai Efisiensi

Nilai efisiensi coloumb adalah nilai yang membandingkan antara listrik yang terukur saat MFC beroperasi dibandingkan dengan listrik keluaran secara teoritis. Berikut persamaan untuk menghitung efisiensi coloumb untuk sistem batch,

$$C_E = \frac{M_S \int_0^{tb} I\,dt}{F b_{es} V_{an} S} \quad (5)$$

dengan C_E = *Coulombic efficiency*, M_S = berat molekul O_2, I = arus (A), F = konstanta Faraday (98485 C/mol elektron), b_{es} = mol elektron yang dihasilkan per mol O_2, V_{an} = volume liquid dalam kompartemen anoda (L), S = konsentrasi substrat dalam satu siklus batch (g/L). Untuk substrat berupa limbah, nilai konsentrasi substrat dinyatakan dalam bentuk perubahan COD.

Dalam sistem MFC, efisiensi energi menyatakan jumlah energi yang diperoleh dibandingkan dengan jumlah energi total yang terkandung dalam substrat. Nilainya dapat dihitung dari rasio daya yang diproduksi dalam interval waktu t dibagi dengan perubahan entalpi reaksi, yang dalam persamaan matematis, dapat dituliskan sebagai berikut (Liu dkk., 2005):

$$E_E = \frac{E_p}{E_{Ti}} \quad (6)$$

dengan E_p (J) merupakan total energi yang diproduksi sel yang dihitung dengan mengintegrasikan daya terhadap waktu, dan E_{Ti} merupakan total energi teoritis yang bisa diproduksi. E_{Ti} dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$E_p = \int_0^{tb} P\,dt \quad (7)$$

$$E_{Ti} = \frac{\Delta H S_i v}{M_i} \quad (8)$$

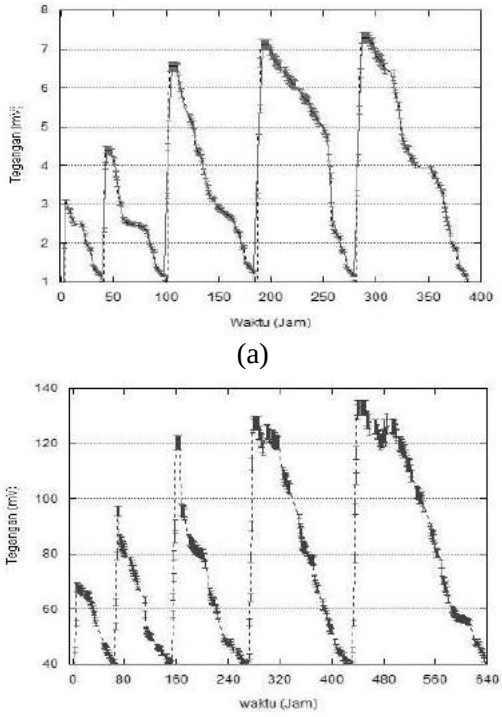
dengan : E_p adalah energi yang diperoleh dari sel MFC (Joule), P adalah daya (watt), t_b adalah waktu untuk satu siklus batch, E_{Ti} adalah energi teoritis yang bisa dihasilkan, ΔH adalah perubahan entalpi reaksi (J/mol), S_i adalah konsentrasi substrat (g/L), v adalah volume liquid dalam kompartemen anoda (L), dan M_i adalah berat molekul substrat (g/mol).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Listrik dengan Substrat Glukosa

Percobaan MFC dengan menggunakan glukosa dilakukan dalam mode *fed-batch*, yaitu konsentrasi awal glukosa ditingkatkan untuk setiap *batch* percobaan. Percobaan dilakukan sebanyak lima *batch*. Pada Gambar 2 di bawah ini dapat dilihat profil tegangan terukur dengan glukosa sebagai substrat, yang dihasilkan oleh sistem MFC dengan volume reaktor 0,5 L (a) dan 5 L (b). Konsentrasi glukosa yang digunakan untuk setiap *batch*-nya berturut-turut adalah 100 mg/L, 200 mg/L, 400 mg/L, 600 mg/L dan 800 mg/L.

p- ISSN : 2407 – 184
e-ISSN : 2460 – 8416
Website : jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek



(a)

(b)

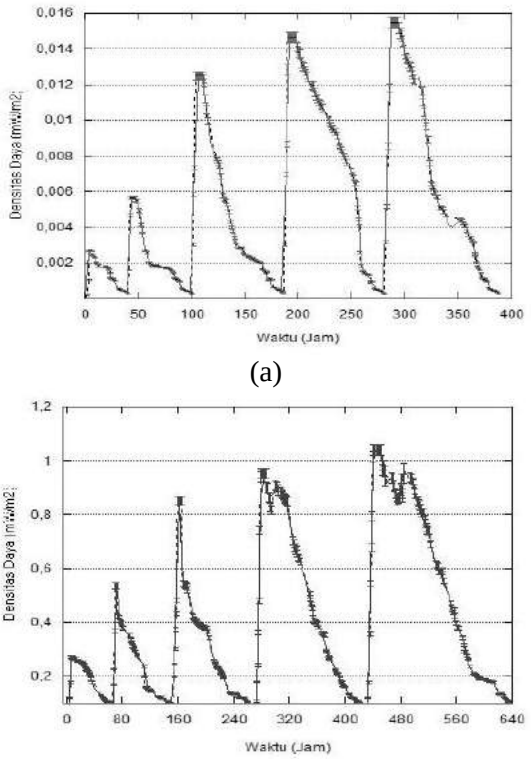
Gambar 2. Profil produksi listrik pada reaktor (a) 0,5 L dan (b) 5 L dengan substrat glukosa

Peningkatan konsentrasi glukosa mengakibatkan peningkatan tegangan maksimum dan waktu operasi pada masing-masing batch. Peningkatan tegangan disebabkan oleh semakin banyaknya molekul organik sebagai sumber elektron yang dapat didegradasi oleh bakteri, sehingga menyebabkan pula waktu yang dibutuhkan mikroba untuk memecah glukosa semakin panjang.

Peningkatan konsentrasi awal glukosa juga menyebabkan semakin stabilnya tegangan maksimum yang terukur. Fenomena ini merepresentasikan komunitas mikroba sudah semakin stabil dan dapat beradaptasi dengan baik terhadap lingkungan barunya. Hal ini dapat terlihat pada grafik dengan semakin lebarnya puncak yang terbentuk pada setiap *batch*. Hasil sama juga didapatkan oleh Zielke (2006) yang memvariasikan konsentrasi asetat sebagai substrat. Tegangan yang dihasilkan terus meningkat ketika asetat divariasikan konsentrasinya dari 0 mg/L hingga 800 mg/L (Zielke, 2006).

Kinetika Produksi Listrik MFC dengan Substrat Glukosa

Studi kinetika dilakukan untuk melihat profil densitas daya listrik keluaran dari sistem MFC sebagai fungsi dari konsentrasi substrat tunggal yang digunakan. Studi ini juga dilakukan untuk membandingkan hasil listrik yang diproduksi antara kedua volume reaktor yang digunakan, sehingga dapat diperkirakan pengaruh peningkatan volume terhadap produksi listrik maksimum pada sistem MFC.



(a)

(b)

Gambar 3. Profil daya listrik pada reaktor (a) 0,5 L dan (b) 5 L dengan substrat glukosa

Studi kinetika yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan persamaan Monod. Persamaan ini dipilih karena bisa menggambarkan secara sederhana kinetika pertumbuhan mikrobial baik dalam kultur murni ataupun campuran. Persamaan Monod juga biasa digunakan untuk mempelajari kinetika reaksi enzimatik yang tidak hanya melibatkan satu enzim, melainkan berbagai jenis enzim (Kovar, 1998; Logan, 2008), sehingga persamaan Monod dirasa cocok untuk digunakan dalam studi kinetika MFC dengan kultur campuran dan melibatkan reaksi enzimatik oleh bakteri.

p- ISSN : 2407 – 184
e-ISSN : 2460 – 8416
Website : jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek

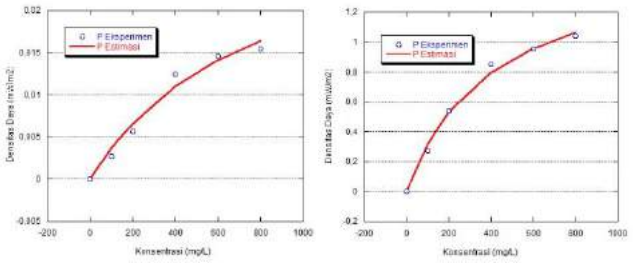
Tujuan utama pemodelan sistem MFC dengan persamaan Monod adalah untuk melihat keterkaitan antara densitas daya listrik yang dihasilkan dengan konsentrasi substrat awal. Hasil pemodelan ini dapat digunakan untuk memahami proses transfer elektron oleh mikroba baik pada reaktor dengan volume 0,5 L dan volume 5 L. Parameter kinetika yang dikaji dalam penelitian ini berkaitan langsung dengan densitas daya yang diproduksi.

Data densitas daya dari percobaan dengan substrat glukosa digunakan sebagai dasar untuk menentukan parameter kinetika dari sistem. Densitas daya yang digunakan untuk estimasi parameter kinetika adalah densitas daya maksimum pada masing-masing *batch* yang ditunjukkan sebagai puncak tertinggi pada Gambar 3. Tabel 1. di bawah ini merupakan hasil estimasi parameter kinetika berdasarkan persamaan Monod beserta nilai kuadrat error hasil estimasi terhadap data hasil penelitian. *Fitting* juga dilakukan untuk memperlihatkan secara visual hubungan data hasil penelitian dengan data hasil estimasi, yang diperlihatkan pada Gambar 4.

Tabel 1. Parameter kinetika berbasis Monod

Reaktor	Pmax (mW/m^2)	Ks (mg/L)	Kuadrat Error
0,5 L	0,03	772,89	$5,40 \times 10^{-6}$
5 L	1,59	399,99	$5,62 \times 10^{-3}$

Pmax menyatakan densitas daya maksimum yang dapat dihasilkan dari sistem MFC yang digunakan. Nilai Pmax merupakan representasi dari laju pertumbuhan maksimum pada persamaan Monod, dimana pada pertumbuhannya bakteri menggunakan substrat yang ada di lingkungannya. Pada saat bakteri memecah substrat untuk tumbuh dihasilkan elektron yang dimanfaatkan oleh sistem MFC sebagai listrik (Logan, 2008; Kovar, 1998). Nilai Pmax untuk reaktor dengan volume 5 L memiliki nilai 50 kali lebih besar dibandingkan dengan yang diperoleh dari reaktor 0,5 L.



(a) (b)

Gambar 4. Kurva *fitting* data hasil penelitian dengan data hasil estimasi (a) reaktor 0,5 L dan (b) reaktor 5 L

Ks menyatakan konsentrasi substrat pada saat densitas daya yang dihasilkan sama dengan setengah kali densitas daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh sistem MFC (Logan, 2008). Ks juga merupakan konstanta kesetimbangan ikatan antara substrat dan enzim yang dihasilkan oleh bakteri. Nilai Ks yang kecil menunjukkan ikatan yang kuat antara substrat dan enzim, sebaliknya nilai Ks yang besar menunjukkan ikatan yang lemah antara substrat dan enzim (Abdi, 2008).

Berdasarkan hasil yang didapat, reaktor 0,5 L memiliki nilai Ks yang tinggi menunjukkan lemahnya ikatan yang terjadi antara bakteri penghasil enzim dan substrat. Ikatan yang lemah ini membuat substrat yang terdegradasi tidak optimal, sehingga dibutuhkan substrat dengan konsentrasi yang lebih tinggi untuk mencapai Pmax. Dalam sistem MFC, aspek kinetika dikaji berdasarkan densitas daya yang dihasilkan. Degradasi substrat yang ditinjau hanya degradasi substrat oleh bakteri yang bisa menghantarkan elektron. Rendahnya nilai Pmax diikuti dengan nilai Ks yang tinggi mengindikasikan transfer elektron yang terjadi tidak maksimal.

Jika ditinjau dari hambatan sistem, MFC dengan reaktor 0,5 L memiliki hambatan internal yang tinggi. Tingginya hambatan sistem akan menghambat pertumbuhan komunitas mikroba *exoelectrogen* (Picoreanu, 2007) dan substrat akan banyak didegradasi oleh mikroba non-*exoelectrogen* (Lee, 2007). Hal ini mengakibatkan substrat yang terdegradasi tidak menghasilkan beda

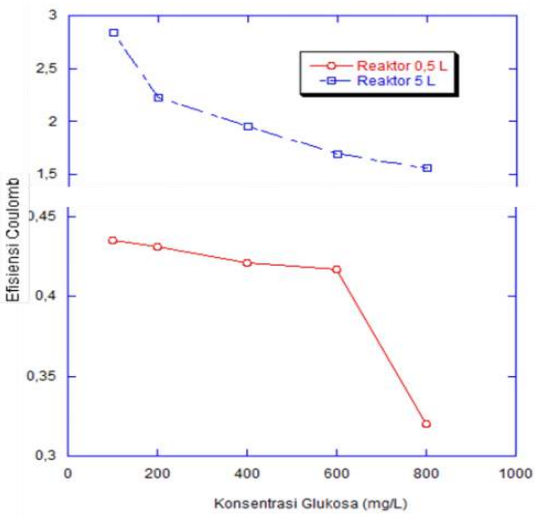
p- ISSN : 2407 – 184
e-ISSN : 2460 – 8416
Website : jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek

potensial pada system, sehingga tegangan yang terukur akan bernilai rendah.

Efisiensi Produksi Listrik MFC dengan Substrat Glukosa

Efisiensi sistem MFC, paling umum ditinjau melalui Efisiensi Coulomb (EC) dan Efisiensi Energi (EE). Kedua nilai efisiensi ini biasa dijadikan penentu apakah MFC dapat diaplikasikan menjadi teknologi praktis, baik sebagai penghasil energi maupun sebagai sistem pengolah limbah (Lee, 2007).

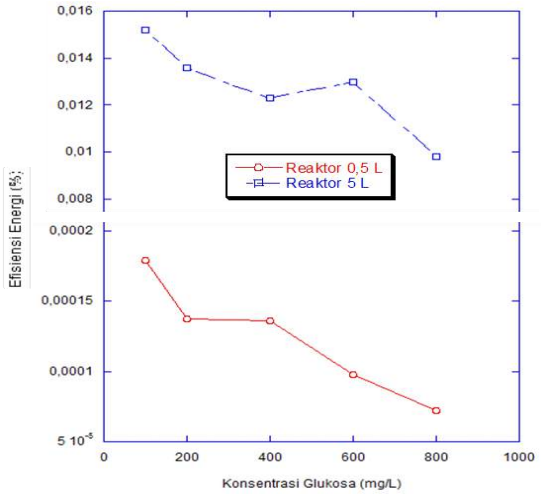
Nilai EC bisa digunakan untuk melihat keefektifan transfer elektron pada sistem yang telah ditumbuhi *biofilm*. EC berkaitan dengan jumlah elektron yang dikonversi menjadi arus listrik dibandingkan dengan jumlah elektron secara keseluruhan akibat dari sejumlah material organik yang terdegradasi. Gambar 5 di bawah ini menunjukkan nilai EC untuk setiap *batch* pada kedua reaktor yang digunakan.



Gambar 5. Efisiensi Coulomb untuk setiap *batch* percobaan

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai EC yang terus menurun seiring dengan penambahan nilai konsentrasi awal glukosa. Nilai EC yang rendah terjadi karena rendahnya densitas *biofilm* eksoelektrogen pada permukaan anoda akibat kompetisi antar komunitas mikroba (Lee, 2007). Pada penelitian ini, glukosa yang terdegradasi lebih banyak disebabkan oleh aktivitas mikroba non-eksoelektrogen yang memicu rendahnya produksi arus dan rendahnya nilai EC.

Sama halnya dengan EC, nilai EE juga mampu mengevaluasi proses transfer elektron yang terjadi pada sistem MFC. Nilai EE sendiri mengevaluasi dengan membandingkan jumlah daya listrik yang terukur terhadap jumlah energi total yang seharusnya diperoleh dari reaksi degradasi senyawa organik. Gambar 6 menunjukkan hasil perhitungan EE untuk setiap *batch* percobaan pada kedua reaktor yang digunakan.



Gambar 6. Efisiensi Energi untuk setiap *batch* percobaan

Konsentrasi awal glukosa yang lebih besar, cenderung menghasilkan nilai EE yang lebih kecil. Fenomena ini menggambarkan bahwa peningkatan densitas daya listrik tidak sebanding dengan peningkatan konsentrasi awal substrat. Meningkatnya kompetisi antar komunitas mikroba dalam sistem dapat menghasilkan beragam aktivitas metabolik yang mengurangi densitas daya listrik keluaran.

Rendahnya nilai EE bisa disebabkan oleh *energy losses* pada sistem. Sitorus (2010) menerangkan bahwa hasil listrik yang terukur dari sistem MFC akan lebih kecil dibandingkan dengan hasil listrik keluaran secara teoritis. Hal ini dikarenakan adanya potensial berlebih, yaitu kehilangan potensial yang berkaitan dengan transfer elektron dan hambatan internal.

Mode operasi *batch* juga memungkinkan terjadinya penurunan nilai densitas daya (Arbianti, 2004). Mode operasi *batch* tanpa menggunakan *stirrer* dapat menghambat laju transfer massa dan tingginya gradien konsentrasi substrat antara fasa ruah dan

p- ISSN : 2407 – 184
e-ISSN : 2460 – 8416
Website : jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek

sekitar *biofilm*. Dalam sistem dengan sebagai substrat, sangat jarang komunitas eksoelektrogen langsung memecah glukosa.

Menurut Lee dkk., (2007), komunitas eksoelektrogen lebih menyukai produk hasil fermentasi dari glukosa seperti asetat, untuk kemudian didegradasi kembali menghasilkan elektron. Oleh karena itu, dalam sistem dengan kultur campuran sangat diperlukan kolaborasi antara aktivitas metabolik mikroba fermentatif dengan metabolik mikroba eksoelektrogen. Hal ini akan memicu tingginya *concentration loss*, yang mengakibatkan lapisan *biofilm* semakin menebal, namun lebih didominasi oleh biomassa inert yang tidak mampu menghasilkan arus. Kondisi ini dapat menghambat laju transfer massa dan menurunkan konsentrasi elektron donor pada permukaan anoda, yang pada akhirnya berdampak pada rendahnya nilai efisiensi energi (Lee dkk., 2007).

SIMPULAN DAN SARAN

Hasil estimasi nilai parameter kinetika berbasis persamaan Monod adalah, untuk reaktor 0,5 L nilai Pmax sebesar 0,032 mW/m^2 dan Ks 772,98 mg/L, sedangkan untuk reaktor 5 L nilai Pmax sebesar 1,59 mW/m^2 dan Ks 399,97 mg/L. Nilai EC tertinggi untuk reaktor 0,5 L adalah sebesar 0,435% dan 2,84% untuk reaktor 5 L. Nilai EE tertinggi pada sistem MFC dengan reaktor 0,5 L adalah 0,000179% dan 0,0152% untuk reaktor 5 L.

Secara keseluruhan terjadi peningkatan nilai parameter kinetika dan nilai efisiensi baik EC maupun EE pada peningkatan volume reaktor dari 0,5 L ke 5 L. Peningkatan yang terjadi cukup signifikan, pada parameter Pmax terjadi peningkatan hingga 50 kali lipat.

DAFTAR PUSTAKA

Abdi, Saba. 2008. *Enzyme Kinetics-2*. http://faculty.ksu.edu.sa/73637/Documents/ Enzyme%20kinetics-2.pdf (Diakses 15 Juni 2016, pukul 09.39 WIB).

Arbianti, Rita. 2014. Penggunaan Microbial Fuel Cell untuk Pengolahan Limbah Cair Tempe dengan Mengukur Penurunan Nilai Chemical Oxygen Demand (COD). *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan*.

Caye M., Drapcho, Nghiem Phu Nhuan, T. H. W. 2008. *Biofuels Engineering Process Technology*. McGraw Hill.

Du, Zhuwei et.al. 2007. *A state of the art review on microbial fuel cell: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy*. USA: Elsevier.

Kovar, Karin. 1998. Growth Kinetics of Suspended Microbial Cells: From SingleSubstrate-Controlled Growth to Mixed-Substrate Kinetics. *Microiology and molecular biology review*. vol. 62 no. 3, p. 646-666.

Picioreanu C., Head I.M., Katuri K.P., Loosdrecht M.C.M.v., Scott K. 2007. A computational model for biofilm-based microbial fuel cells. *Water Research*. 41: 2921– 2940.

Lee, H.S., et.al. 2007. Evaluation of energy-conversion efficiencies in microbial fuel cells (MFCs) utilizing fermentable and non-fermentable substrates. *Water Research*. 42(6-7): 1501-1510.

Liu, H., Cheng, S., Logan, B.E. 2005. Production of Electricity from Acetate or Butyrate Using a Single-Chamber Microbial Fuel Cell. *Environ. Sci. Technol*. 39: 658-662.

Logan and Regan. 2006. Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. *TRENDS in Microbiology*. 14: 512-518.

Logan B.E. 2008. *Microbial Fuel Cells*. John Wiley & Sons Inc. New Jersey.

Okpokwasili, G.C., Nweke, C.O. 2005. Microbial growth and substrate utilization kinetics. *African Journal of Biotechnology*. 5 (4): 305-317.

Rabaey, Korneal and Verstraete, Willy. 2005. Microbial Fuel Cells: Novel Biotechnology for Energy Generation. *TRENDS in Biotechnology*. vol.23, no. 26.

Sitorus, Berlian. 2010. Diservikasi Energi Terbarukan melalui penggunaan air buangan dalam sel elektrokimia berbasis mikroba. *Jurnal ELKHA*. vol.2, no.1.

Torres C.I., Marcus A.K., Rittmann B.E. 2007. Kinetics of consumption of fermentation products by anode-respiring bacteria.

p- ISSN : 2407 – 184
e-ISSN : 2460 – 8416
Website : jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek

Applied Microbial and Cell Physiology. 77(3): 689-697.

Zielke, E.A. 2006. Application of Microbial Fuel Cell technology for a Waste Water Treatment Alternative.

J. Tek. Ling	Vol. 10	No. 2	Hal. 121 - 228	Jakarta, Mei 2009	ISSN 1441-318X

HYBRID SOLAR LIGHTING SEBAGAI ALTERNATIF TEKNOLOGI PENERANGAN ALAMI BANGUNAN UNTUK EFISIENSI ENERGI DAN PEMANFAATAN ENERGI TERBARUKAN

Suryo Anggoro

Peneliti di Pusat Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Abstract

Artificial (electric) and direct lighting technologies available today have the potential to greatly reduce the growth rate of electricity consumed through lighting worldwide. While electric lighting has been inefficient throughout much of its history, direct (natural) lighting is nearly free and often plentifully supplied by the sun. However, electric lighting systems are necessary when solar lighting is not adequate and these technologies are being greatly improved.
One relatively new method of lighting a building's interior combines both artificial and direct lighting to maximize efficiency is accomplished through the use of a paraboloidal, mirrored dish which actively tracks the sun to concentrate sunlight into an array of fiber optics.

Key words : *solar lighting, fiber optics*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Setelah ditemukannya pencahayaan buatan yang menggunakan sumber energi listrik secara efisien dan murah di pertengahan abad ke-20, pencahayaan alami dari cahaya matahari menjadi tergantikan fungsinya sebagai sumber penerangan interior bangunan. Penerangan listrik merubah persepsi arsitektur tentang pencahayaan dalam ruangan sehingga mengarah pada ketergantungan pada sumber penerangan listrik, seperti yang terjadi dewasa ini. Namun penggunaan penerangan listrik semakin mengarah pada non efisiensi dan pemborosan. Kecenderungan yang terjadi di hampir semua negara sekitar 25% dari energi listrik yang dihasilkan digunakan untuk penerangan[1)]. Ketika terjadi keterbatasan sumber energi, upaya penghematan energi menjadi sebuah keharusan, termasuk upaya efisiensi untuk penerangan bangunan.

Upaya-upaya efisiensi untuk penerangan bangunan telah dilakukan antara lain melalui penggunaan lampu hemat energi atau pemanfaatan *photovoltaic* serta modifikasi fasad, jendela dan bukaan dinding bangunan. Kecenderungan yang dilakukan dewasa ini adalah kembali menggunakan sumber cahaya matahari sebagai sumber penerangan. Walaupun sumber cahaya matahari sebagai sumber penerangan memiliki aspek akumulasi panas sebagai efek penyertanya[2)].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pencahayaan alami melalui jendela dan bukaan dinding bangunan juga membawa efek samping yang tidak diinginkan seperti silau, pembiasan cahaya dan panas/kalor yang memiliki pengaruh pada peningkatan suhu ruangan.

Bahan serat optik atau *fiber optic* ditemukan pada akhir abad 20 dan berdasarkan riset dan penelitian yang telah dilakukan berfungsi sebagai media penghantar gelombang optik, termasuk cahaya.

1.2. Tujuan

Tulisan ini berusaha mengkaji efektifitas fiber optik yang menggunakan prinsip hantaran cahaya untuk digunakan sebagai alternatif penerangan yang memanfaatkan cahaya alami matahari, khususnya di Indonesia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Hybrid solar lighting atau penerangan hibrid dengan energi matahari adalah penemuan baru di bidang penggunaan energi matahari. Teknologi ini berbeda dengan panel surya atau *photovoltaic* yang mengumpulkan energi matahari, mengkonversinya menjadi energi listrik dan menyimpannya untuk kemudian digunakan sebagai sumber listrik penerangan di dalam bangunan. Penerangan hibrid matahari mentransmisikan cahaya matahari langsung ke dalam bangunan sebagai penerangan melalui media kabel serat optik atau *fiber optic*, seperti halnya listrik dihantarkan melalui kabel.

Proses transmisi energi matahari dengan teknologi hibrid menjadi lebih efisien karena tidak memerlukan proses konversi energi. Muhs (2000) dan beberapa riset yang telah dilakukan menyebutkan bahwa panel surya memiliki kemampuan memanfaatkan cahaya matahari yang diterima sebesar 15% karena terjadi proses konversi cahaya menjadi listrik. Penerangan dengan teknolgi hibrid mampu memanfaatkan cahaya matahari yang diterima hingga 50%[3)].

Teknologi pemanfaatan media serat optik sebagai penghantar cahaya matahari telah dimulai sejak tahun 1979 di Jepang melalui proyek Himawari. Dengan semakin intensifnya riset dan penelitian lanjutan yang dilakukan maka media serat optik yang dipergunakan menjadi semakin efisien dan murah. Bahan serat optik yang semula menggunakan bahan serat kaca yang mahal kemudian menggunakan bahan serat plastik *fiber* yang lebih murah. Prototipe teknologi penerangan hibrid mulai diaplikasikan dan digunakan untuk kebutuhan penerangan komersial di tahun 2002 melalui riset yang dilakukan Oak Ridge National Laboratory[4)].

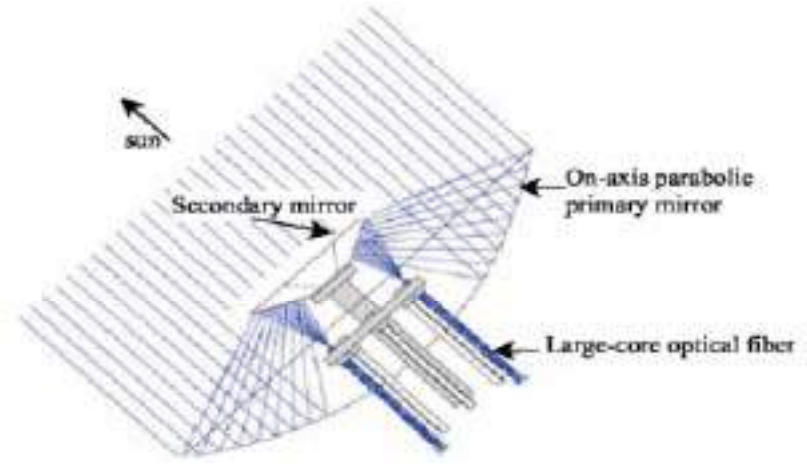
Cahaya matahari yang ditransmisikan dengan teknologi hibrid merupakan cahaya terkonsentrasi dengan tingkat intensitas tinggi yang diperoleh melalui prinsip penangkapan cahaya. Alat penangkap cahaya yang dipergunakan adalah piringan cermin berbentuk parabola (gambar 1,2 & 3).

Cahaya matahari yang jatuh pada permukaan cermin parabola akan dipantulkan secara terarah ke bagian atas tengah parabola dan kemudian ditangkap oleh cermin kedua yang berada di atas parabola. Cermin kedua ini memiliki fungsi untuk memfokuskan titik cahaya matahari yang jatuh pada penampang serat optik.

Serat optik yang dipergunakan untuk menghantarkan cahaya memiliki ukuran penampang sebesar 12mm dan terbuat dari bahan plasti fiber. Namun serat optik ukuran standar dengan penampang 3mm yang dibuat oleh industri manufaktur pada umumnya secara fungsional adalah sama[5,6,7)].

Parabola yang dipergunakan pada prototipe awal menggunakan bahan kaca utuh yang dibentuk dan sangat mahal. Namun prototipe selanjutnya menggunakan parabola dengan bahan plastik dengan pelapis cermin yang murah dan ringan [5,6)].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar.1. Piringan cermin parabola



Gambar. 2. Prototipe parabola



Gambar. 3. Prototipe parabola

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

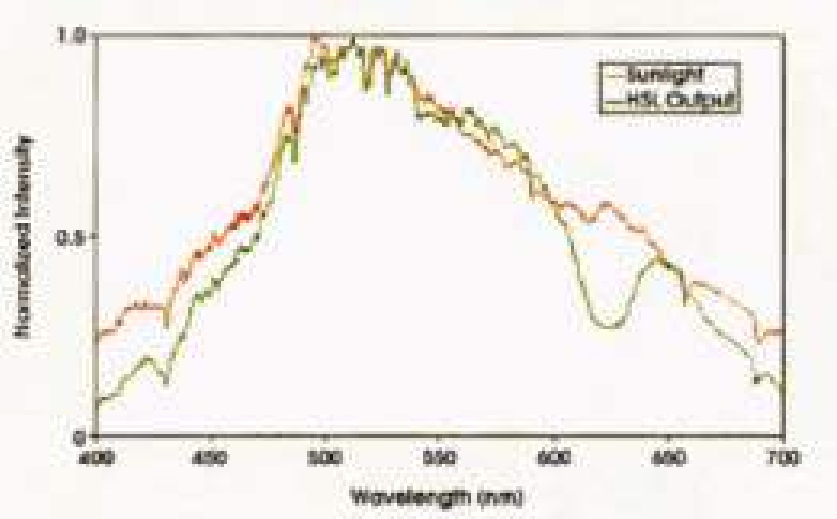
Kekuatan cahaya yang dihantarkan dan di transmisikan oleh serat optik hampir setara dengan kekuatan cahaya alami matahari dengan temperatur warna sebesar 6000°K dan berdasarkan hasil riset yang dilakukan oleh Lapsa, Ward dan Maxey kabel fiber optik dapat menghantarkan cahaya dengan keluaran intensitas sebesar 50.000 lumen dan spektrum warna yang utuh (380nm-730nm) serta tanpa sinar ultraviolet[5]. Karena sinar ultraviolet tidak ikut ditransmisikan maka efek positif yang terjadi adalah tidak ada hantaran panas atau kalor yang menyertai cahaya matahari yang ditransmisikan.

Kemampuan transmisi cahaya media serat optik sesuai dengan hasil penelitian Muhs dan Woods ternyata dipengaruhi oleh faktor panjang kabel serat optik. Hal ini terutama akibat pengaruh bahan, dan lapisan pelindung serat optik. Hasil penelitian menunjukkan kemampuan transmisi mempunyai penurunan rata-rata sebesar 15% per meter panjang [8] dengan hasil seperti pada tabel 1 :

Intensitas cahaya yang mampu ditransmisikan serat optik sebesar 50.000 lumen mampu untuk memenuhi kebutuhan penerangan ruangan seluas 1000ft^2 atau sekitar 93m^2. Dengan spektrum cahaya yang utuh maka kualitas cahaya untuk penerangan di dalam bangunan menjadi optimal, terutama memiliki efek pada persepsi warna ruang dan warna benda objek yang ada di dalam ruang.Perbandingan gelombang cahaya matahari dan cahaya yang ditransmisikan oleh serat optik ditunjukkan pada grafik di gbr.4. Dari grafik terlihat bahwa rentang panjang gelombang yang ditransmisikan oleh serat optik tidak jauh berbeda dengan cahaya matahari alami.

Tabel 1. Hasil Uji Transmisi kabel serat optik (sumber: Muhs dan Wood, 2004)

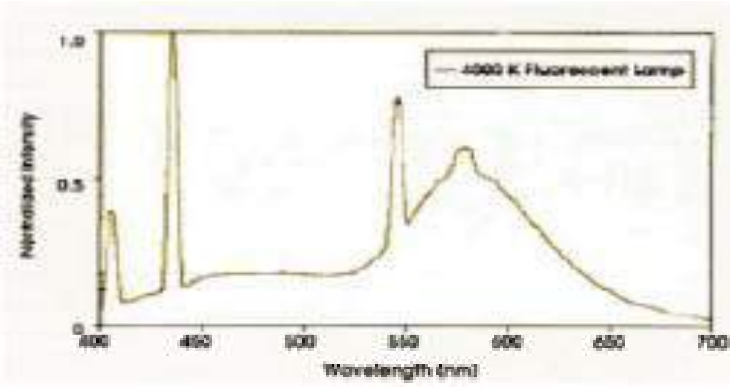
Panjang Fiber (m)	Transmisi (lumen)	Temp. warna (k)
4,5	5709	5033
5,5	5516	5073
6,5	5324	5111
7,5	5132	5250
8,5	4887	5182
9,5	4791	5243
10,5	4545	5298



Gambar 4. Perbandingan Grafik Panjang Gelombang Cahaya Matahari dan Output Serat Optik (sumber: Maxey,2008)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Sementara gelombang cahaya yang dihasilkan oleh lampu penerangan fluorescent standar menunjukkan panjang gelombang yang fluktuatif dan spektrum warna yang tidak utuh, seperti terlihat pada grafik di gbr.5.



Gambar. 5. Grafik Panjang Gelombang Lampu Penerangan Fluorescent (sumber: Maxey, 2008)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknologi penerangan hibrid yang menggunakan media serat optik sebagai penghantar cahaya matahari memiliki beberapa kelebihan dan efek positif sebagai berikut:

1. Hantaran panas atau kalor yang biasanya menyertai cahaya bisa ditiadakan sehingga bisa menghemat energi yang dipergunakan untuk pendinginan dalam bangunan, terutama di daerah tropis.
2. Spektrum utuh cahaya matahari yang ditransmisikan dan dikeluarkan tidak mengalami penurunan atau masih setara dengan cahaya alami matahari, sehingga kualitas cahaya untuk penerangan di dalam bangunan semakin baik. Hal ini terutama berguna bagi ruang-ruang arsitektur yang membutuhkan pencahayaan khusus seperti museum, galeri seni, rumah sakit, dan lain-lain.
3. Proses transmisi cahaya melalui media serat optik disalurkan dengan kabel, seperti halnya listrik. Tidak terjadi konversi energi, sehingga proses menjadi lebih efektif dan tidak terlalu rumit.
4. Tidak ada konversi energi, tidak ada hantaran listrik, sehingga aplikasi penerangan hibrid dapat diterapkan secara aman untuk ruang-ruang arsitektur yang sensitif atau rawan bahaya, seperti laboratorium kimia, reaktor nuklir, instalasi bawah air, ruang penyimpanan senjata, dll. Hal ini meniadakan resiko terjadinya ledakan atau kebakaran akibat hubungan pendek arus listrik.
5. Sistem transmisi cahaya matahari yang sederhana dan tanpa konversi energi lanjutan, menyebabkan peralatan penerangan hibrid menjadi sederhana, tidak terlalu rumit, mudah dalam proses instalasi dan memudahkan proses perawatan sehingga efisiensi sumberdaya manusia dan biaya perawatan.
6. Peralatan penerangan hibrid yang tidak membutuhkan ruang yang besar dan proses instalasi yang sederhana, memudahkan untuk diaplikasikan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pada bangunan yang sudah ada atau eksisting atau bangunan baru, tanpa merubah struktur bangunan.

7. Kekuatan cahaya yang ditransmisikan penerangan hibrid mampu mencapai 50000 lumen atau cukup untuk penerangan sebuah ruangan seluas 1000ft^2 atau sekitar 93m^2. Kekuatan sebesar 50000 lumen setara dengan 55 buah lampu 60watt standar dan 75 buah lampu bohlam warna 60watt [4,5]. Dengan demikian bisa menghemat energi listrik hingga sebesar 5000watt atau 5Kwh per 90m^2 ruang.
8. Hasil perhitungan ekonomi yang dilakukan Soydan dan en Gin (2002)[1)] dengan perbandingan ekonomi antara penerangan hibrid dan panel surya, yang menggunakan matahari sebagai sumber energinya, terlihat pada tabel 2 di bawah ini.
9. Skema instalasi penerangan hibrid pada bangunan terlihat pada ilustrasi gbr.5 berikut:
10. Tingkat efisiensi pemanfaatan cahaya matahari pada penerangan hibrid yang mencapai 50-70% menjadi alternatif potensial untuk digunakan sebagai penerangan bangunan di Indonesia. Hal ini karena kekuatan iluminasi matahari di Indonesia yang berada di garis ekuator sangat besar hampir sepanjang tahun. Berikut data iluminasi cahaya matahari bulanan selama satu tahun, dengan menggunakan data DKI Jakarta:

Tabel 2. Perbandingan Nilai Ekonomi dalam dollar Antara Penerangan Hibrid dengan Panel Surya (sumber: Soydan dan en Gin, 2002).

Parameter	Hibrid	Photovoltaics
Efisiensi	50-70%	5-12%
Instalasi $/Wp	$2.50/Wp	$10/Wp
Modal kembali	5 th	20 th
Biaya daur proses relatif	$4,700	$33,000



Gambar 5. Instalasi Penerangan Hibrid pada Bangunan

Tabel.3. Data Iluminasi Matahari daerah Khatulistiwa tiap Bulan selama satu tahun (sumber: Muhs, 2004)

Month	Hour									
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	28.6	38.2	45.7	51.4	53.7	55.2	51.8	46.8	42.1	33.1
2	13.7	25.4	33.9	39.8	43.9	44.4	41.1	37.3	29.1	18.3
3	13.8	24.7	33.5	39.5	43.1	44.1	41.8	37.7	31.4	20.1
4	15.9	25.0	32.3	39.5	43.1	42.2	40.6	34.9	27.2	15.9
5	16.6	24.1	29.7	34.4	36.2	36.1	35.4	30.3	22.1	12.7
6	17.9	25.4	30.0	31.1	34.6	35.3	35.8	30.1	21.0	12.4
7	14.4	23.5	30.7	36.4	40.5	41.7	42.8	37.3	29.2	19.2
8	13.8	24.0	33.0	39.1	44.1	46.2	46.1	42.6	33.2	20.7
9	16.4	28.0	37.5	44.7	47.3	48.3	46.0	39.1	29.0	16.8
10	17.3	27.9	37.2	42.2	46.2	47.2	44.7	39.4	28.7	15.8
11	16.2	26.6	34.7	41.4	45.5	45.6	41.6	32.8	23.2	14.7
12	14.4	24.4	32.5	39.2	41.8	42.4	37.8	32.0	24.0	14.7

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Teknologi penerangan hibrid yang menggunakan serat optik memiliki beberapa keterbatasan dalam beberapa hal, diantaranya:

1. Efektifitas transmisi cahaya pada kabel serat optik dipengaruhi oleh panjang kabel serat optik. Kemampuan transmisi berkurang rata-rata 15% per meter panjang. Panjang kabel serat optik yang optimal untuk transmisi cahaya <20 m, sehingga penerangan hibrid optimal untuk bangunan 2 lantai teratas, bangunan dengan bentuk podium dan bangunan tingkat rendah (*low rise*) yang memanjang, *town house*, ruko (rumah toko) dan sangat berguna untuk parkir *basement*.
2. Keterbatasan panjang kabel serat optik yang optimal untuk instalasi di dalam bangunan dapat dipecahkan dengan kemungkinan pemasangan piringan-piringan pada sisi bangunan per lantai yang menghadap arah lintasan matahari, seperti penggunaan panel Farans (HLVCO,2008).
3. Kemampuan tangkapan cahaya matahari dipengaruhi oleh faktor cuaca, seperti tutupan awan, hujan, asap. Sehingga penerangan hibrid perlu dikombinasikan dengan penerangan listrik untuk substitusi penerangan ruangan disaat cuaca di luar tidak memungkinkan untuk memperoleh tangkapan cahaya matahari yang maksimal.

4. KESIMPULAN

Teknologi penerangan hibrid sudah saatnya untuk diterapkan di Indonesia, sebagai sebuah alternatif penerangan bangunan yang hemat energi dan pemanfaatan energi terbarukan sinar matahari. Hal ini dengan mempertimbangkan faktor-faktor:

1. Letak geografis Indonesia di daerah khatulistiwa yang mendapat cahaya matahari dengan tingkat iluminasi yang sangat besar dan berlangsung hampir sepanjang tahun.
2. Perhitungan ekonomi penerangan hibrid berdasarkan beberapa penelitian dan aplikasi yang telah dilakukan menunjukkan penerangan hibrid mempunyai tingkat efisiensi dari sisi energi, modal, biaya instalasi serta investasi.
3. Penerangan hibrid memberikan keleluasaan aplikasi dan pengembangan inovasi penerangan bangunan yang memanfaatkan energi matahari.

DAFTAR PUSTAKA

1. Soydan Y & T en Gin, 2002.,"Lighting Building Interiors Requiring Lighting at Day Times by Conveying Daylight", Journal Departement of Mechanical Engineering Sakarya University, Esentepe, Turkey.
2. Fay, Charles., 2002, "Daylighting and Productivity: A Literature Review", The Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, New York
3. J.D. Muhs, 2000, "Design and Analysis of Hybrid Solar Lightýng and Full-Spectrum Solar Energy Systems", Presented at The American Solar Energy Society's, Solar 2000 Conference, Wisconsin
4. Maxey, Curt., 2008," Fiber Optics Brings Sunlight Inside. Photonics Spectra. Laurin Publication.
5. Lapsa, Melissa Voss, et al., 2006," Innovative Hybrid Solar Lighting Reduces Waste Heat and Improves Lighting Quality". Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

6. Earl, Duncan D and Jeff D Muhs., 2002, “Modelling and Evaluation of Chromatic Variations in a Hybrid Solar/ Electric Lighting System”. Technical Report. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory.
7. Wood, Byard D. and David L Beshears., 2006, “Adaptive Full-Spectrum Solar Energy Systems: Cross-Cutting R&D on adaptive full-spectrum solar energy systems for more efficient and affordable use of solar energy in buildings and hybrid photobioreactors”, Report Semi-Annual Technical Progress Report: For period ending January 31, 2006. Oak Ridge National Laboratory. Knoxville, TN: U.S. Dept. of Energy.
8. Muhs, Jeff D, Byard Wood and Rob Taylor., 2004, “The Sunlight Inside Initiative. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Identifikasi Sumber Energi Terbarukan (SET)

Oleh : Trian Zulhadi dan Said Fazli
Dosen Fakultas Ekonomi dan Ilmu Sosial UIN Suska Riau

Abstract

This study aims to identify renewable energy resources in Riau province. This study is very important because Riau has abundant natural resources, such as solar, wind, water, biogas, biomass and many more. The research findings in four regencies, namely Indragiri Hilir, Rokan Hilir, Kuantan Singingi and Rokan Hulu, show that water, wind, solar, and biomass energy are potential to be developed into Micro Hydro Power Plant, Water Power Plant, Solar Power Plant and Biomass Power Plant.

Key word, Renewable Energy Resources, (SET)

Pendahuluan

Provinsi Riau disamping memiliki sumber daya alam (SDA) berlimpah seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam juga memiliki potensi sumber energi terbarukan (SET) yang cukup banyak seperti energi surya, energi angin, energi air, energi gas bio (*Biogass*) dan *Biomass* serta energi yang berasal dari bahan nabati lainnya. Beberapa kajian mengenai potensi dan juga pemanfaatan energi terbarukan tersebut telah dilakukan di Riau. Pemanfaatan energi terbarukan (ET) itu juga telah ada diaplikasikan di beberapa lokasi di wilayah Riau seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk fasilitas penerangan di pedesaan, Pembangkit listrik tenaga mikrohidro untuk menghasilkan listrik skala kecil, pemanfaatan Gas Bio untuk bahan bakar alternatif dan pemanfaatan sumber energi terbarukan lainnya yang telah diaplikasikan di Riau.

Salah satu kabupaten yang sedang giat melakukan kajian mengenai manfaat sumber energi terbarikan (SET) untuk menghasilkan listrik maupun bahan bakar alternatif adalah Kabupaten Bengkalis. Pada tahun 2007, Badan Litbang dan Statistik Kabupaten Bengkalis telah melakukan kajian mengenai pemanfaatan energi Gas Bio untuk menghasilkan bahan bakar alternatif. Hasil kajian mendapati bahwa berdasarkan kelayakan teknis teknologi pemanfaatan energi bio gas mengindikasikan Kabupaten Bengkalis memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi gas bio dari kotoran ternak. Hal ini ditunjang dari faktor kelayakan teknis dalam membuat reaktor untuk gas bio yang relatif mudah di dapat dengan harga yang terjangkau. Selain itu juga, secara kelayakan ekonomis dalam pengembangan dan pemanfaatan teknologi energi bio gas tersebut seperti analisis *Net Present Value*, analisis *Payback Period*, analisis *Internal Rate of Return* dan analisis *Benefit Cost* mengindikasikan proyek pembelian instalasi gas bio sangat layak dan menguntungkan walaupun pada tahap awal investasi memerlukan modal yang relatif besar menuruk ukuran pendanaan di desa.

Pada tahun 2008, instansi Badan Litbang Kabupaten Bengkalis juga melakukan Studi Kelayakan Pengembangan PLTU Berbahan Bakar Tandan Kosong Kelapa Sawit. Hasil kajian mendapati bahwa pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai bahan bakar alternatif untuk pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) sangat memungkinkan dan dapat diimplementasikan di Bengkalis berdasarkan analisis kelayakan teknis, ekonomis, sosio-politik maupun kelayakan lingkungan. Dari hasil studi tersebut juga menunjukan Boiler yang sesuai untuk dibangun pada PLTU berbahan bakar TKKS di Bengkalis adalah Boiler jenis CFB. Parameter kelayakan pemanfaatan TKKS untuk PLTU seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Parameter kelayakan pengembangan PLTU berbahan bakar TKKS di Bengkalis.

Sumber: Balitbang Bengkalis, 2010

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pemanfaatan Sumber Daya Alam Terbarukan dan Tidak Terbarukan di 11 wilayah kabupaten/kota yang ada di Riau. Hasil penelitian menunjukan bahwa provinsi secara umum memiliki potensi energi terbarukan dan tidak terbarukan yang cukup banyak. Adapun sumber energi tersebut antara lain Minyak Bumi, Batu Bara, Gambut, Tenaga air, Tenaga surya, Tenaga Angin, Bio Disel, Bio Etanol, Bio Gas, Bio Mass dan Briket arang. Potensi masing-masing kawasan berbeda seperti potensi Gambut, Biodisel dan Briket Arang banyak terdapat di kabupaten Indragiri Hilir, Siak, Bengkalis, Pelalawan. Potensi tenaga surya banyak terdapat di Kota Dumai dan Kota Pekanbaru, tenaga air di Indragiri Hulu, Kuantan Singingi dan Kampar.

Pada tahun 2008, Badan Litbang Provinsi Riau mengadakan Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Menggunakan Sumber Daya Energi Alternatif Hibrid Solar Sistem di beberapa lokasi yaitu di Kabupaten Bengkalis dan Indragiri Hilir. Hasil kajian menunjukan bahwa potensi pemanfaatan pembangkit listrik sistem hibrid sesuai untuk di aplikasikan di Desa Lubuk Besar, Kabupaten Indragiri Hilir dimana pada wilayah studi tersebut tidak terdapat sumber energi terbarukan lain.

Tahun 2010, Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Riau mengadakan Studi Kelayakan mengenai Pembangunan Unit Gasifikasi Biomassa Pelepah Sawit Untuk Pembangkit Listrik Kapasitas 300 kW. Hasil penelitian menunjukan bahwa, provinsi Riau memiliki potensi pengembangan energi listrik berbahan bakar pelapah sawit, terutama di Kecamatan Mandah Kabupaten Indragiri Hilir dan Desa Sidomukti Kabupaten Pelalawan. Hasil penelitian tersebut juga mengkaji mengenai total biaya investasi untuk satu unit pembangkit listrik gasifikasi dari pelepah sawit senilai 1,815 Miliya Rupiah dengan biaya pemakaian listrik per kWh adalah Rp. 906,-.

Tujuan dan Manfaat Kajian

Tujuan kajian ini adalah mengidentifikasikan potensi sumber daya alam (SDA) berlimpah seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam juga memiliki potensi sumber energi terbarukan (SET) yang cukup banyak seperti energi surya, energi angin, energi air, energi gas bio (*Biogass*) dan *Biomass* serta energi yang berasal dari bahan nabati lainnya di Provinsi Riau

Sedangkan manfaat kajian ini adalah :

1. Kajian ini memberikan manfaat kepada Pemerintah Provinsi Riau untuk mengambil langkah atau kebijakan pembangunan yang terarah dibidang energi kelistrikan
2. Kajian ini juga memberikan manfaat untuk pengembangan keilmuan akademik bagi peneliti, dosen di perguruan tinggi dibidang energi

Landasan Teori Kajian

Sumber daya energi merupakan kebutuhan pokok dan merupakan komponen mutlak ketika kita ingin membangun sebuah peradaban masyarakat suatu bangsa ataupun dunia saat ini. Ketiadaan sumber daya energi atau ketidak mampuan suatu masyarakat atau negara dalam menyediakan sumber daya energi mengakibatkan lemahnya kemampuan suatu masyarakat atau negara tersebut dalam membangun peradabannya (Boedoyo. M. S., Sugiyono. A, 2000).

Bahkan bisa berujung kepada terjadinya krisis multidimensi. Berbagai konflik dan peperangan di berbagai belahan dunia terjadi hanya karena memperebutkan sumber daya energi. Pada periode 1990-an paling tidak 5 juta orang terbunuh, dan 17-21 juta orang tersingkirkan ke barak-barak pengungsian. Rakyat di Negara-negara miskin yang paling menderita dimana peperangan tersebut berlangsung. Sementara para elit dan Negara kaya justru memperoleh untung setelah dapat menguasai sumber-sumber energi tersebut seperti minyak bumi (Ariati. R., 2009).

Indonesia adalah negeri yang kaya raya akan sumber daya alamnya termasuk potensi untuk pemenuhan energi bagi kebutuhan warga Negara. Namun ironisnya sumber daya alam tersebut tidak mampu dikelola dengan baik sebagai potensi sumber energi bagi pembangunan peradaban masyarakat dan bangsa negeri ini. Faktanya sekarang ini negeri kita mengalami krisis energi baik untuk pemenuhan bahan bakar maupun energi untuk listrik. "Tikus mati di lumbung padi," sebuah istilah yang tepat untuk menggambarkan kondisi pengelolaan sumber daya alam bagi pemenuhan energi negeri ini.

Listrik bagian dari kebutuhan warga yang mesti dipenuhi oleh pemerintah tidak bisa diakses oleh seluruh penduduk dan parahnya lagi pemenuhan bagi kelompok warga yang sudah terjangkaupun mengalami defisit sehingga

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

di banyak daerah selalu terjadi pemadaman bergiliran. Bukan saja ini sangat berpengaruh pada penyediaan listrik bagi rumah tangga namun juga berpengaruh pada kemampuan warga dan dunia usaha dalam berproduksi (Ardita. I. M., Prasetyo. C. W., Sulistyo. A., 2008).

Sementara itu berbagai solusi yang ditawarkan masih bersifat parsial dan jangka pendek. Pemenuhan energi untuk listrik masih mengandalkan energi fosil yang bersifat terbatas dan tidak terbarukan. Hal ini terlihat dari rencana pembangunan pembangkit listrik 10 GWh dengan mengandalkan batu bara sebagai pengganti bahan bakar minyak yang semakin menipis (TIM EBTKE – KESDM., 2010). Padahal kita ketahui sumber energi fosil baik migas maupun batu bara adalah bahan utama penyebab terjadinya pencemaran udara dan emisi gas rumah kaca. Sedangkan potensi energi alternatif atau energi terbarukan yang cukup melimpah di negeri ini tidak benar-benar dimanfaatkan dengan baik dan tidak menjadi prioritas utama yang didahulukan dalam rangka mengatasi krisis listrik yang terjadi.

Untuk itu, demi meningkatkan dan menunjang pemanfaatan energi baru dan terbarukan tersebut, pemerintah telah mengeluarkan peraturan-peraturan, kebijakan-kebijakan maupun langkah-langkah yang harus segera dilaksanakan untuk mempercepat pembangunan di sektor keenergian. Kebijakan dan peraturan yang terkait dengan pengembangan dan pemanfaatan energi baru dan terbarukan tersebut antara lain:

UU No. 30 Tahun 2007 Tentang Energi

Undang-undang ini memprioritaskan penyediaan dan pemanfaatan energi baru dan terbarukan (DESDM., 2003).

Setiap orang berhak memperoleh energi (Pasal 19 ayat 1)

1. Penyediaan dan pemanfaatan energi baru dan energi terbarukan wajib ditingkatkan oleh Pemerintah dan pemerintah daerah (Pasal 20 ayat 4 dan pasal 21 ayat 2)
2. Penyediaan dan pemanfaatan energi dari sumber energi baru dan sumber energi terbarukan yang dilakukan oleh badan usaha, bentuk usaha tetap, dan perseorangan dapat memperoleh kemudahan dan/atau insentif dari Pemerintah dan pemerintah daeraha sesuai kewenangannya untuk jangka waktu tertentu hingga tercapai nilai keekonomiannya (Pasal 21 ayat 3)

UU No. 15 tahun 1985 tentang Ketenagalistrikan, PP No. 3 Tahun 2005 dan PP No. 26 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik

Dalam rangka peningkatan peran energi terbarukan untuk pembangkitan tenaga listrik, Pemerintah telah menerbitkan Peraturan Pemerintah No. 3 tahun 2005 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah No. 10 tahun 1989 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik. Dalam Peraturan Pemerintah ini dinyatakan bahwa guna menjamin ketersediaan energi primer untuk penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum, diprioritaskan penggunaan sumber energi setempat dengan kewajiban mengutamakan pemanfaatan sumber energi terbarukan (DESDM., 2005).

Undang-undang ini mencakup antara lain:

1. Mengatur usaha penyediaan ketenagalistrikan oleh PKUK/PIUKU,
2. Mengatur usaha penyediaan dan pemanfaatan tenaga listrik.

UU No. 27/2003 tentang Panas Bumi dan PP No. 59/2007 Kegiatan Usaha Panas Bumi

Undang-undang dan Pereaturan Pemerintah ini mengatur tentang pengelolaan dan pengembangan sumber energi panas bumi baik sebagai komoditi tambang maupun sebagai sumber energi bagi pemanfaatan langsung dan tidak langsung (listrik).

Indonesia memiliki potensi panas bumi yang sangat besar yaitu sekitar 27.000 MW yang dapat dimanfaatkan secara langsung dan tidak langsung. Saat ini panas bumi yang sudah dimanfaatkan untuk pembangkitan tenaga listrik baru sebesar 807 MW atau sekitar 3% dari total potensi yang ada (DESDM., 2004).

Undang-undang No. 27 tahun 2003 diterbitkan untuk mendukung pengembangan, penjabarannya disusun dalam *Blue Print* Pengembangan Panas Bumi yang mentargetkan pada tahun 2020, kapasitas terpasang pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) menjadi 6.000 MW.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kepmen ESDM No. 0002 tahun 2004 tentang Kebijakan Energi Hijau

Kebijakan Pengembangan *Energi Terbarukan* dan Konservasi Energi (Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 002 tahun 2004), pada dasarnya mengatur (Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi., 2000):

a) Pemanfaatan *energi terbarukan* (ET) yang optimal,

b) Teknologi pemanfaatan energi (baik dari sumber energi terbarukan maupun fosil) yang bersih dan efisien,

c) Budaya hemat energi.

Inpres No. 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (*biofuel*) sebagai Bahan Bakar Lain

Peraturan ini memuat tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Sebagai Bahan Bakar Lain, yang menginstruksikan kepada menteri-menteri terkait, Gubernur dan Bupati/Walikota untuk mengambil langkah-langkah percepatan penyediaan dan pemanfaatan Biofuel, yang terdiri dari (Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi., 2007)

a) Penetapan kebijakan insentif dan tarif, serta keringanan fiskal bagi penyediaan dan pemanfaatan,

b) Penetapan standar dan mutu, sistem dan prosedur pengujian serta tata niaga *biofuel,*

c) Penyediaan lahan dan bibit tanaman bahan baku *biofuel,*

d) Pengembangan produksi dalam negeri teknologi dan peralatan penyedia dan pemanfaat

Inpres No. 2 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Batu bara yang dicairkan (*liquefied coal*) sebagai Bahan Bakar Lain

Mengintruksikan Menteri-menteri terkait, Gubernur dan Bupati/ Walikota mengambil langkah-langkah percepatan penyediaan dan pemanfaatan batu bara yang dicairkan, yang terdiri dari (DESDM, 2004):

a) Penetapan kebijakan insentif dan tarif, serta keringanan fiskal bagi penyediaan dan pemanfaatan

b) Menjamin ketersediaan pasokan batu bara sebagai bahan bakar yang dicairkan

c) Penetapan standar dan mutu, sistem dan prosedur pengujian serta tata niaga batu bara yang dicairkan

d) Pengembangan produksi dalam negeri teknologi dan peralatan penyedia dan pemanfaat

e) Meningkatkan pemanfaatan batu bara yang dicairkan sebagai bahan bakar di sektor transportasi

f) Pelaksanaan sosialisasi penyediaan dan pemanfaatan

Permen ESDM No. 002/2006 tentang Pengusahaan Pembangkit Listrik Tenaga Energi Terbarukan Skala Menengah

Kewajiban PKUK atau PIUKU untuk membeli tenaga listrik dari energi baru terbarukan dengan kapasitas sampai dengan 10 MW dari Koperasi dan Badan Usaha Lain (DESDM., 2005). Persyaratan:

a) Persyaratan administrasi

b) Persyaratan teknis, termasuk lindungan lingkungan

c) Permohonan ijin

d) Harga jual tenaga listrik (mengikuti PerMen 5/2009 tentang Pedoman Harga Pembelian Tenaga Listrik oleh PT. PLN dari Koperasi atas Badan Usaha Lain):

e) Didasarkan pada Harga Perkiraan sendiri (HPS) yang ditetapkan oleh PT. PLN (Persero)

Metodelogi Kajian

Survei potensi energi terbarukan dalam studi ini dilakukan terhadap 4 kabupaten yaitu Kabupaten Indragiri Hilir (INHIL), Kabupaten Rokan Hilir (ROHIL), Kabupaten Rokan Hulu (ROHUL) dan Kabupaten Kuantan Singingi (KUANSING). Pada tahun 2010.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Sumber Data Kajian adalah Data Primer, Data yang diperoleh langsung kelapangan dengan melihat langsung kondisi kelistrikan di Provinsi Riau. Data Sekunder, Data mentah yang sudah diolah didapati dari dinas pertambangan Energi Provinsi Riau dan kabupaten Kota, Bapeda Provinsi dan Kabupaten Kota, PLN dan sumber lain yang relevan dengan kajian ini.

Analisa data kajian ini melakukan analisa *Deskriftif Kualitatif* analisis dengan melihat langsung situasi kelistrikan di wilayah kajian dan melakukan ekplorasi dan kemudian di buat identifikasi Sumber Energi Terbarukan (SET) dan kemudian dibuat sebuah hasil kajian

Hasil Kajian Dan Gambaran Umum Wilayah Kajian

a. Kondisi Penyediaan Listrik Di Provinsi Riau

Krisis listrik di Riau makin rumit mengingat rasio elektrifikasi listrik di Riau hingga tahun 2009 ini baru mencapai 44,69 persen yang masih jauh dari rata-rata rasio elektrifikasi nasional yaitu sebesar 56 persen. Kondisi ini membuktikan bahwa kebutuhan listrik di Riau lebih dari separuh belum terpenuhi.

Kondisi demografi Riau saat ini penduduknya sudah mencapai 5.070.952 jiwa dengan kepadatan penduduk sebesar 46,98 jiwa/km dan pertumbuhan penduduk sebesar 5,23 persen per tahun. Dengan luas wilayah Riau lebih kurang 109.931,71 km_2 dengan total daratan sebesar 80,11 persen, untuk memenuhi kebutuhan listrik di Riau secara total dibutuhkan daya listrik 300 MW (Distamben Riau, 2010). Menanggapi hal tersebut, PT. PLN wilayah Riau dan Kepri mengatakan, dengan rasio elektrifikasi 44,69 persen saat ini daya tersambung 89.362 kVA, daya penjualan listrik 176,892 MWh per bulan dengan total pelanggan 541.445 yaitu sebanyak 331.441 pelanggan terdapat di Pekanbaru (*Isolated System*), Dumai berjumlah 139.986 pelanggan dan Rengat berjumlah 70.041 pelanggan.

Dari jumlah daya yang tersambung tersebut, komposisi pelanggan yang tertinggi adalah pelanggan Rumah Tangga (RT) dengan persentase mencapai 87 persen. Kemudian urutan pelanggan kedua tertinggi adalah dari kalangan bisnis mencapai 10 persen. Sementara itu daftar tunggu yang sudah masuk PLN berjumlah sekitar 100 ribu pelanggan, belum termasuk yang belum melapor.

PLN dan Pemprov Riau sudah berupaya dengan optimal untuk membangun sumber energi untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat dengan cara meminta penambahan kekurangan daya dari pemerintah pusat khususnya PLN dan melakukan penambahan daya dengan melibatkan Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) dan swasta, namun upaya untuk mengatasi krisis energi ini butuh waktu yang lama dan proses yang panjang.

Krisis listrik di wilayah Sumatera diprediksikan akan terjadi hingga 2011/2012 mendatang karena berdasarkan jadwal *Code Project* pembangkit Sumatera, pembangkit unit besar baru akan dibangun pada tahun 2010/2011 yang mengindikasikan bahwa Provinsi Riau juga akan mengalami pemadaman bergilir terus menerus mulai dari dua jam hingga 14 jam sehari sampai 2012 (Distamben Riau, 2010).

PT. PLN, khususnya PLN wilayah Riau dan Kepulauan Riau (Kepri) tidak dapat berbuat banyak atas permasalahan kelistrikan yang melanda provinsi Riau. Pada saat ini, PLN hanya dapat melakukan upaya-upaya penangan krisis listrik jangka pendek karena meski jumlah pembangkit listrik saat ini memadai namun jika keadaan musin tidak mendukung (kemarau) dan suplai bahan bakar terbatas akan menyebabkan kondisi pembangkit listrik akan selalu mengalami kerusakan. Tabel 2 di bawah menunjukan kondisi dan keadaan daya listrik di wilayah provinsi Riau.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 2: Kondisi Neraca Daya Sub-Sistem Riau.

Sumber*: Distamben Riau, 2010*

Investasi listrik dari masing-masing perusahaan cukup membantu masyarakat, seperti RAPP dengan bantuan energi listrik 4 MW yang dapat melayani 5.000 rumah masyarakat di Pangkalan Kerinci, IKPP dengan bantuan 2 MW yang dapat melayani perumahan di daerah Perawang. Tabel 3 menunjukan energi listrik yang ditersedia dari beberapa perusahaan-perusahaan besar yang ada di Riau.

Tabel 3 : Pasokan Daya Listrik dari Swasta/BUMD di Provinsi Riau.

Sumber*: Distamben Riau, 2010*

Hasil Survei di Kabupaten Indragiri Hilir (INHIL)

Survei penelitian ini di lakukan di dua kecamatan, yaitu Kecamatan Batang Tuaka dan Kecamatan Mandah. Desa yang menjadi wilayah survei di dua kecamatan tersebut adalah Desa Sungai Raya dan Desa Sungai Junjangan (Kecamatan Batang Tuaka) serta Desa Bekawan dan Pulau Cawan (Kecamatan Mandah) Rasio elektrifikasi desa-desa yang ada di dua kecamatan tersebut masing-masing adalah 54,54% dan 58,33% yang mengindikasikan bahwa hampir separuh dari jumlah desa yang ada di kedua kecamatan tersebut masih dalam kondisi belum berlistrik Dengan jumlah penduduk masing-masing adalah kecamatan Batang Tuaka jumlah penduduk 25.576 jiwa orang, dengan 6.382 Kepala Rumah Tangga dan Kecamatan Mandah jumlah penduduk 44.168 jiwa orang dengan 10.516 kepala rumah tangga

Sedangkan potensi energi air ((*Hydro Energy*) di kabupaten Indragiri Hilir sangat potensial untuk membuat Pembangkit Listrik Tenaga *Hydro (* PLTH) untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 4: Parameter yang berhubungan dengan sungai di Kecamatan Batang Tuaka.

Sumber*: Data hasil Survei, 2010.*

Sedangkan potensi Energi Surya atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sangat potensial untuk dikembangkan di Kabupaten Indragiri Hilir untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 5 dibawah ini

Tabel 5 : Potensi total energi surya di Kecamatan Batang Tuaka dan Mandah

Sumber*: Data hasil Survei, 2010*

Potensi Energi Biomassa dan Nabati di Kabupaten Indragiri Hilir sangat potensial dikembangkan dapat dilihat pada tabel 6 berikut ini

Tabel 6: Data potensi sumber energi terbarukan (Biomassa dan Nabati) di KecamatanBatang Tuakadan Mandah.

Sumber*: Dinas Perkebunan INHIL, 2009*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Potensi Energi Angin di Kabupaten Indragiri Hilir sangat potensial dikembangkan dapat dilihat pada tabel 7 berikut ini

Tabel 7 : Potensi energi angin di Kecamatan Batang Tuaka dan Mandah

Sumber: Data hasil Survei, 2010

Hasil Survei di Kabupaten Rokan Hilir (ROHIL)

Survei penelitian di lakukan di dua kecamatan, yaitu Kecamatan Pasir Limau Kapas dan Kecamatan Sinaboi. Desa yang menjadi wilayah survei di dua kecamatan tersebut adalah Desa Pulau Jemur dan Desa Teluk Pulai (Kecamatan Pasir Limau Kapas) serta Desa Sungai Bakau dan Sinaboi (Kecamatan Sinaboi). Dari data yang diperoleh Kecamatan Limau Kapas sebanyak 50% belum teraliri listrik dan Kecamatan Sinobai pula sebanyak 50% belum teraliri listrik. Sedangkan jumlah penduduk Kecamatan Limau Kapas sebanyak 38.339 jiwa orang, dan Kecamatan Sinobai sebanyak 12.044 jiwa orang

Potensi Energi Air di Kabupaten Rokan Hilir untuk dapat dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTH) dapat dilihat pada tabel 8 berikut ini

Tabel 8: Parameter sungai-sungai di Kabupaten Rokan Hilir

Sumber: Data hasil Survei, 2010.

Potensi Energi Surya di Kabupaten Rokan Hilir untuk dapat dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Surya dapat dilihat pada tabel 9 berikut ini

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 9: Potensi Energi Surya di Kecamatan Pasir Limau Kapas dan Sinaboi

Sumber*: Data hasil Survei, 2010.*

Potensi Energi BioMasa (Nabati) di Kabupaten Rokan Hilir untuk dapat dikembangkan Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa dapat dilihat pada tabel 10 berikut ini

Tabel 10: Data potensi sumber energi terbarukan (Biomassa dan Nabati) di Kecamatan Pasir Limau Kapas dan Sinaboi.

Sumber*: Data hasil Survei, 2010.*

Potensi Energi Anging di Kabupaten Indragiri Hilir untuk dapat dikembangkan Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Angin dapat dilihat pada tabel 11 berikut ini

Tabel 11: Potensi energi angin di Kecamatan Pasir Limau Kapas dan Sinaboi

Sumber: Data hasil Survei, 2010

Hasil Survei di Kabupaten Kuantan Singingi (KUANSING)

Survei Penelitian di lakukan di dua kecamatan, yaitu Kecamatan Gunung Toar Desa yang menjadi wilayah survei kecamatan tersebut adalah Desa Teberau Panajang dan Desa Siberobah (Kecamatan Gunung Toar),

Di kecamatan Gunung Toar sangat potensial dikembangkan Sumber Listri Tenaga Nabati, Biomasa, dan Air untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 12 berikut ini

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 12: Data potensi sumber energi terbarukan (Biomassa dan Nabati), dan Air. di Kecamatan Gunung Toar.

Sumber : Data hasil Survei, 2010

Sedangkan energi surya juga potensial dikembangkan di kembangkan di Kecamatan Gunung Toar pada dua Desa tersebut dapat dilihat pada tabel 13 dan 14 dibawah

Tabel 13: Data potensi energi angin yang diukur di Desa Tebarau Panjang Pada tanggal 25 November 2010.

Sumber*: Data hasil Survei, 2010*

Tabel 14 : Data potensi energi angin yang diukur di Desa Sibarobah Pada tanggal 25 November 2010.

Sumber: Data hasil Survei, 2010

Hasil Survei di Kabupaten Rokan Hulu (ROHUL)

Survei penelitian di lakukan di dua kecamatan, yaitu Kecamatan Rokan IV Kota dan Kecamatan Tambusai. Desa yang menjadi wilayah survei di dua kecamatan tersebut adalah Desa Cipang Kanan dan Batang Kumu.

Kondisi sosial demografi pada 2 desa, memiliki topografi wilayah adalah daerah daratan. sedangkan pola pemukiman penduduk adalah mengelompok dan sebagian lainnya terpencar. Sumber mata pencaharian mayoritas penduduk dari sektor pertanian dan perkebunan sawit. Besarnya penghasilan rata-rata penduduk berkisar Rp. .2. 500.000,- – Rp..5.000.000,- /KK/bulan.

Potensi Sumber Energi Terbarukan (Biomassa, Nabati, Mikro Hydro) dapat dikembangkan untuk menjadi Sumber Pembangkit Tenaga Listri dapat dilihat pada tabel 15 berikut ini

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 15 : Data potensi sumber energi terbarukan (Biomassa,Nabati Mikro Hydro) di Kabupaten Rokan Hulu

Sumber: Data hasil Survei, 2010

Potensi Energi Surya juga tepat dikembangkan di Kabupaten Rokan Hulu dapat dilihat pada tabel 16 dan 17 berikut ini

Tabel 16: Data potensi energi surya yang diukur di Desa Cipang Kanan Pada tanggal 30 November 2010.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 17 : Data potensi energi surya yang diukur di Batang Kumu Pada tanggal 30 November 2010.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Potensi Energi Angin di kembangkan di Kabupaten Rokan Hulu untuk dapat dijadikan Pembangkit Listri Tenaga Angin dapat dilihat pada Tabel 18 dan 19 berikut ini

Tabel 18: Data potensi energi angin yang diukur di Desa Cipang kanan
Pada tanggal 30 November 2010.

Sumber: Data hasil Survei, 2010

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 19: Data potensi energi angin yang diukur di Desa Batang Kumu Pada tanggal 30 November 2010.

Sumber*: Data hasil Survei, 2010*

Kesimpulan

Teridentifikasi bahwa potensi Sumber Energi Terbarukan (SET) di Provinsi Riau masih banyak bahkan berlimpah untuk dikembangkan, Sumber Air, Sumber Angin, Sumber Panas Matahari, Sumber Biomas (Nabati lainnya) masing-masing sumber ini bisa dimanfaat menjadi Pembangkit Listrik berkekuatan maksimal mengingat bahwa masih ada Desa-Desa di Wilayah Provinsi Riau belum tersentu dengan Aliran Listrik saat ini.

Saran – Saran

Sesuai dengan Undang-undang No. 30 Tahun 2007 Tentang Energi Setiap orang berhak memperoleh energi (Pasal 19 ayat 1). Oleh karena itu pemerintah wajib hukumnya untuk menyediakan energi yang cukup kepada masyarakat oleh karena itu penulis meyarankan sebagai berikut:

1. Memberikan keleluasaan kepada pihak swasta untuk mengelolah energi ini dengan tepat sesuai dengan peraturan dan undang-undang atau hukum yang berlaku di negara ini
2. Memberikan keleluasaan kepada masyarakat untuk juga dapat mengelolah energi ini dengan tepat sesuai dengan peraturan dan undang-undang atau hukum yang berlaku di negara ini
3. Pemerintah Provinsi Riau memberikan ruang anggaran yang pantas kepada masyarakat untuk dapat mengelolah Sumber-Sumber Energi Terbarukan ini (SET) untuk kemakmuran masyarakat itu sendiri dengan membuat pola *corporet* artinya pemerintah yang menyediakan modal dan lahan kemudian masyarakat yang mengelolah Sumber-Sumber energi tersebut hasilnya dijual kepada pemerintah kembali jadi secara makro ekonomi berjalan dengan tepat.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DAFTAR PUSTAKA

Ariati. R., 2009., Pengembangan Desa Mandiri Energi Berbasis Non Bahan Bakar Nabati Dan Keterkaitannya
Dengan Program Elektrifikasi Nasional., *dipresentasikan pada Seminar Nasional Peranan EBT*
dalam Mengatasi Krisis Energi dan Menghambat Laju Pemanasan Global., Surakarta.

Boedoyo. M. S., Sugiyono. A., 2000., *Optimasi Suplai Energi dalam Memenuhi Kebutuhan Tenaga Listrik*
Jangka Panjang di Indonesia, dalam Wahid, L.O.M.A. dan E. Siregar, Editor, Pengaruh Krisis Ekonomi
terhadap Strategi Penyediaan Energi Nasional Jangka Panjang, hal. 19-23, ISBN 979-95999-0-3, BPPT,
Jakarta.

BPPT., 2006., *Energy Demand Forecast for the Period 2002 up to 2025 Using MAED Model.Jakarta*.

Bryce, P., 1998., Small-scale Village Electrification; an NGO Perspective.,

Presented at Village Power '98., Univ.
of Technology Sydney.

DESDM., 2005, *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025*, Jakarta.

DESDM., 2004., KEBIJAKAN ENERGI NASIONAL 2003 – 2020., Jakarta.

Direktur Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun
2007 Tentang Energi, Sosialisasi Undang-Undang Tentang Energi, Surabaya, 14 Oktober 2008.

Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2000. Renstra EBT.Draft Laporan.

Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2007. Pengembangan DME., Bulletin Energi Hijau No. XV.

Gunnar Boye Olesen, Michael Kvetny, and Emilio Lebre la Rovere,2009.

Sustainable Energy Vision 2050:A
proposal to achieve a sustainable energy system,following environmental and social imperatives**.** *INFORSE*
- International Network for Sustainable Energy INFORSE (http://www.inforse.org/europe/ VisionWorld.htm).

Ibrahim. H. D., 2008., Mempercepat Implementasi Pengembangan Energi Terbarukan Untuk Ketenagalistrikan.,
Dewan Pakar METI., Jakarta..

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

INFORSE (http://www.inforse.org/europe/VisionWorld.htm).

Purnomo Yusgiantoro., Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Upaya

Pengembangan Energi Alternatif,
Pertemuan untuk Peningkatan Pemanfaatan Energi Alternatif, Jakarta, 2 Juni 2008.

Pusat Data dan Informasi ESDM, 2009.

Sugiyono. A., 2008., Pengembangan Bahan Bakar Nabati Untuk Mengurangi

Dampak Pemanasan Global., BPPT.,
Jakarta.

Sugiyono. A., 1997., Perencanaan Energi Nasional dengan Model MARKAL:

Laporan Teknis.

Universitas Darma Persada, 2007. Laporan Seminar Nasional Pemanfaatan

Sumber Energi Terbarukan Setempat
Untuk Mendukung Terciptanya Desa E_{3i}, Jakarta.

Zonooz. M. R. F., et al., 2009., A Review of MARKAL Energy Modeling.,

European Journal of Scientific Re-
search Vol. 26 No. 3., ISSN: 1450-216X.,
http://www.eurojournals.com/ejsr.htm.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional

Muhamad Azhar
Fakultas Hukum, Universitas Diponegoro
azhar@live.undip.ac.id

Dendy Adam Satriawan
Mahasiswa Fakultas Hukum, Universitas Diponegoro
dendysatria603@gmail.com

Abstract

This study aims to determine the implementation of new energy and renewable energy policies in the context of national energy security. The research method used is legal research that uses a regulatory approach. The results of the study show that the implementation of new energy and renewable energy policies in the context of national energy security has proceeded as it should. This can be seen from the role of the government in making policies (beleid) and management actions (bestuursdaad), arrangements (regelendaad), management (beheersdaad) and supervision (toezichthoudensdaad) for the purpose of maximizing the people's prosperity.

Keywords: *Energy Policy, Renewable Energy, National Energy Security*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Implementasi kebijakan energi baru dan energi terbarukan dalam rangka ketahanan energy nasional. Metode penelitian yang diguankan adalah penelitian hukum yang menggunakan pendekatan peraturan perundang-undangan. Hasil penelitian menunjukan bahwa Implementasi kebijakan energi baru dan energi terbarukan dalam rangka ketahanan energy nasional telah berjalan sebagaimana mestinya. Hal tersebut dapat dilihat dari dari peran pemerintah untuk mengadakan kebijakan (beleid) dan tindakan pengurusan (bestuursdaad), pengaturan (regelendaad), pengelolaan (beheersdaad) dan pengawasan (toezichthoudensdaad) untuk tujuan sebesar-besarnya kemakmuran rakyat.

Kata kunci: *Kebijakan Energi, Energy Terbarukan, Ketahanan Energi Nasional*

A. Pendahuluan

Penggunaan energi di Indonesia masih di dominasi oleh penggunaan energi tak terbarukan yang berasal dari fosil, khususnya minyak bumi dan batu bara[1], namun seiring berjalannya waktu, ketersediaan energi fosil semakin menipis dan untuk mengantisipasinya energi baru terbarukan (EBT) merupakan alternatif terbaik[2]. Penggunaan energi baru dan terbarukan harus menjadi perhatian utama pemerintah Indonesia tidak hanya sebagai upaya untuk mengurangi pemakaian energi fosil melainkan juga untuk mewujudkan energi bersih atau ramah lingkungan[3].

Kekayaan sumber energi yang ada di Indonesia dikuasai oleh negara sebagaimana diatur dalam Konstitusi, yaitu pada pasal 33 ayat (3) Undang Undang Dasar 1945 yang berbunyi " bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat ". Secara tegas Pasal 33 ayat (3) UUD NRI 1945 mengandung 3 (tiga) unsur penting, yaitu:[4] 1. Substansi (sumber daya alam); 2. Status (dikuasai oleh negara); 3. Tujuan (untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat). Berdasarkan konstitusi, eksistensi penguasaan dan pengusahaan sumber daya alam yang fundamental bagi kehidupan berbangsa dan bernegara dilakukan oleh negara[5].

Rakyat secara kolektif dikonstruksikan oleh UUD 1945 memberikan mandat kepada negara untuk mengadakan kebijakan *(beleid)* dan tindakan pengurusan *(bestuursdaad)*, pengaturan *(regelendaad)*, pengelolaan *(beheersdaad)* dan pengawasan *(toezichthoudensdaad)* untuk tujuan sebesar-besarnya kemakmuran rakyat[6]. Maka seluruh sumber energi harus dikuasai oleh negara dan wajib dipergunakan serta

[1] Muhammad Azhar, *The New Renewable Energy Consumption Policy of Rare Earth Metals to Build Indonesia's National Energy Security*, Conference Guidelines The 1st Sriwijaya Internasional Conference on Environmental Issues, di Hotel Horison Ultima, Palembang, Indonesia, 26 – 27 September 2018, hlm. 86.

[2] Biro Komunikasi, Layanan Informasi Publik dan Kerja Sama Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Jurnal Energi : Program Strategis EBTKE dan Ketenagalistrikan*, Edisi 02, 2016, hlm. 9.

[3] Aan Jaelani, *Renewable Energy Policy in Indonesia: The Qur'anic Scientific Signals in Islamic Economics Perspective*, International Journal of Energy Economics and Policy, Vol.7 No.4, 2017, hlm. 193.

[4] Zen Umar Purba, *Kepentingan Negara dalam Industri Perminyakan Indonesia, Hukum Internasional, Konstitusi dan Globalisasi*, Jurnal Hukum Internasional Vol.4 No.2, Januari 2007, Lembaga Pengkajian Hukum Internasional, FH Universitas Indonesia, halaman 257-258.

[5] Ahmad Redi, *Hukum Pertambangan Indonesia*, Jakarta: Gramata Publishing, 2014, hlm. 3.

[6] Komisi Yudisial Republik Indonesia, *Kompilasi Putusan Pengujian UU Oleh MK : Putusan Yang Dikabulkan Tahun 2003 – 2015*, Jakarta: Biro Rekrutmen, Advokasi, dan Peningkatan Kapasitas Hakim, Komisi Yudisial Republik Indonesia, 2015, hlm. 1009.

diusahakan secara optimal untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat Indonesia, guna mewujudkan salah satu cita-cita bangsa Indonesia yaitu memajukan kesejahteraan umum.

Penggunaan energi meningkat pesat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk[7]. Perkembangan teknologi yang semakin pesat memicu peningkatan kebutuhan akan energi, dalam hal ini peningkatan akan kebutuhan tenaga listrik dalam kehidupan sehari-hari masyarakat semakin meningkat. Konsumsi tenaga listrik selama lima tahun (2012-2016) terakhir mengalami peningkatan rata-rata 6,7% pertahun[8].

Energi listrik, sebagai salah satu hasil pemanfaatan kekayaan alam dan teknologi mempunyai peranan penting bagi negara dalam mewujudkan pencapaian tujuan pembangunan nasional[9]. Energi listrik seakan menjadi kebutuhan primer masyarakat. Pergeseran kebutuhan energi ini dalam kebutuhan hidup masyarakat tampak nyata di masa depan dengan kemajuan teknologi, seperti mulai dikembangkannya kompor elektrik, alat transportasi eletrik, dan alat-alat pemenuh kebutuhan manusia lainnya yang berbahan dasar listrik sebagai penggeraknya.

Kebutuhan masyarakat akan energi listrik terus bertumbuh setiap tahunnya[10]. Dalam waktu yang akan datang kebutuhan listrik akan terus meningkat seiring dengan adanya peningkatan dan perkembangan baik dari jumlah penduduk, jumlah investasi, perkembangan teknologi termasuk didalamnya perkembangan dunia pendidikan untuk semua jenjang pendidikan[11]. Guna memenuhi pertumbuhan kebutuhan listrik yang semakin meningkat, pemerintah terus berupaya untuk mengembangkan teknologi dan membangun pembangkit-pembangkit tenaga listrik yang sesuai dengan asumsi pertumbuhan ekonomi dan proyeksi kebutuhan listrik.

---

[7] Syamsir Abduh, *Pengelolaan Dana Ketahanan Energi*, Mineral & Energi, Vol.14 No.2, Juni 2016, Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, hlm. 4.

[8] Draft RUPTL PLN 2018-2027, hlm. IV-1.

[9] Komisi Yudisial Republik Indonesia, Op.cit, hlm. 1097.

[10] Muhamad Bobby Fadillah, *Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2015-2024 Wilayah PLN Kota Pekanbaru Dengan Metode Gabungan*, Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik, Vol.2 No.2, 2015, hlm. 1.

[11] Ahmad Wahid, *Analisis Kapasitas dan Kebutuhan Daya Listrik untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura*, Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, Vol.2 No.1, 2014, hlm. 2.

Pada dasarnya program pengembangan pembangkit tenaga listrik merupakan proyek pembangunan ketenagalistrikan yang diharapkan dapat menerapkan secara maksimal Asas Manfaat dalam pembangunan ketenagalistrikan sesuai Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan. Yang dimaksud dengan "asas manfaat" adalah bahwa hasil pembangunan ketenagalistrikan harus dapat dimanfaatkan sebesar-besarnya bagi kesejahteraan dan kemakrnuran rakyat[12].

Dalam usaha penyediaan tenaga listrik guna memenuhi peningkatan kebutuhan listrik masyarakat di seluruh wilayah Indonesia, Pemerintah dalam UU No.30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan telah menyatakan bahwa usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum dilaksanakan oleh badan usaha milik negara, badan usaha milik daerah, badan usaha swasta, koperasi dan swadaya masyarakat.

UU Ketenagalistrikan menyatakan bahwa badan usaha milik negara diberikan prioritas pertama dalam melakukan usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum. Badan usaha milik negara yang diberi prioritas pertama guna melakukan usaha penyediaan tenaga listrik adalah Perusahaan Listrik Negara (PLN). Penunjukan PLN sebagai badan usaha penyedia tenaga listrik telah sesuai dengan amanat konstitusi dalam pasal 33 ayat 2 UUD NRI 1945 yang mengatakan bahwa cabang-cabang produksi yang penting bagi negara dan yang menguasai hajat hidup orang banyak dikuasai oleh negara.

Pengusahaan dan penyediaan tenaga listrik adalah suatu cabang produksi yang penting bagi negara dan menguasai hajat hidup orang banyak, maka sudah tepat apabila PLN selaku badan usaha milik negara ditunjuk guna melakukan usaha penyediaan tenaga listrik. PLN adalah perusahaan yang diberi hak dan wewenang khusus serta tanggung-jawab pembangkitan, transmisi dan distribusi tenaga listrik yang berlaku di seluruh wilayah Indonesia sesuai dengan PP RI No.18 tahun 1972[13]. PLN berkewajiban menyediakan tenaga listrik dalam jumlah yang cukup kepada masyarakat di seluruh Indonesia secara terus menerus, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

[12] Penjelasan Pasal 2 ayat (1) huruf a UU No.30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan

[13] Pasal 7 Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1972 Tentang Perusahaan Umum "Listrik Negara"

Dalam melaksanakan peningkatan usaha penyediaan tenaga listrik. PLN berkewajiban menyusun sebuah dokumen tentang perencanaan sepuluh tahunan ke depan yang disebut Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL), hal ini sesuai dengan ketentuan Peraturan Pemerintah No.10 Tahun 1989 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik sebagaimana telah dua kali diubah dan perubaran yang terbaru yakni dengan

B. Pembahasan

1. Kebijakan Pemerintah dalam Bentuk Peraturan Kebijakan menurut Hukum Administrasi

Menurut Kamus Umum Belanda Indonesia, kata *beleid'* berarti kebijakan[14]. Dalam kepustakaan Belanda, ada berbagai istilah yang dipergunakan untuk menujuk eksistensi peraturan kebijakan, antara lain *pseudowetgeving*, *spiegelrecht*, dan *beleidsregel*[15]. Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia memberikan pengertian kata "kebijakan" sebagai berikut[16]:

Dalam perundang-undangan di Indonesia kata kebijakan disebut dalam Undang-undang Nomor 25 Tahun 2004 tentang Sistem Perencanaan Pembangunan Nasional, tepatnya pada pasal 1 angka 15 yang berbunyi "Kebijakan adalah arah/tindakan yang diambil oleh Pemerintah Pusat/Daerah untuk mencapai tujuan."

Menurut P.J.P Tak, seperti dikutip S.F Marbun pengertian peraturan kebijakan yakni[17]:

"Beleidsregels zijn algemene regel die een bestuursinstantie stelt omtrent de uitoefening van ee bestuursbevoegheid jegens de burgers of een andere bestuursinstantie en voor welke regelstelling de grondwet nochde formele wet direct een uitdrukkelijke gronslag biedien Beleidsregels berusten dus niet op een bevoegdheid tot wetgeving en kunnen daarom ook geen algemeen verbindende voorschriften zijn-maar op een bestuursbevoedg heid van een bestuursorgaan en betreffen de uitoefening van die bevoegdheden." (peraturan kebijaksanaan adalah peraturan umum yang

[14] Wojowasito, *Kamus Umum Belanda Indonesia*, Jakarta: Ichtiar Baru – Van Hoeve, 1995, hlm. 66.

[15] Hotma, P. Sibuea, *Asas Negara Hukum, Peraturan Kebijakan & Asas-asas Umum Pemerintahan yang Baik*, Jakarta : Penerbit Erlangga, 2010, hlm.101

[16] Departemen Pendidikan Nasional, Kamus Besar Bahasa Indonesia Pusat Bahasa, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2008, hlm. 190.

[17] S.F Marbun, Op.cit, hlm. 174.

dikeluarkan oleh instansti pemerintahan berkenaan dengan pelaksanaan wewenang pemerintah terhadap warga negara atau terhadap instansi pemerintahan lainnya dan pembuatan perundangan tersebut tidak memiliki dasar yang tegas dalam UUD dan undang-undang formal baik langsung maupun tidak langsung. Artinya peraturan kebijaksanaan tidak didasarkan pada kewenangan pembuatan undang-undang - dan oleh karena itu tidak termasuk peraturan perundang-undangan yang mengikat umum – tetapi diletakkan pada wewenang pemerintah suatu organ administrasi negara dan terksit dengan pelaksanan pemerintah.)

Pelaksanaan pemerintahan sehari-hari menunjukkan betapa badan atau pejabat tata usaha negara seringkali menempuh berbagai langkah kebijaksanaan tertentu, antara lain menciptakan apa yang kini sering dinamakan *peraturan kebijaksanaan* (*beleidsregel, policy rule*)[18]. Suatu peraturan kebijaksanaan pada hakekatnya merupakan produk dari perbuatan tata usaha negara yang bertujuan "*naar buiten gebracht schriftelijk beleid* (menampakkan keluar suatu kebijakan tertulis)" namun tanpa disertai kewenangan pembuatan peraturan dari badan atau pejabat tata usaha negara yang menciptakan peraturan kebutuhan tersebut[19]. Peraturan kebijakan pada dasarnya diciptakan oleh pejabat administrasi negara untuk melaksanakan tugas-tugas pemerintah, yang merupakan konsekuensi atas negara hukum kesejahteraan yang membebankan tugas yang sangat luas kepada pemerintah untuk menyelenggarakan kesejahteraan rakyat (*welfare state*)[20].

Peraturan kebijakan ini pada dasarnya memberikan peluang bagaimana suatu badan atau pejabat administrasi negara untuk menjalankan kewenangan pemerintahan (*beschikking bevoegheid*) dalam rangka penyelenggaraan tugas-tugas pemerintahan[21]. Dalam implementasinya peraturan kebijakan dapat diuji dengan melihat ciri-cirinya. Secara singkat, Van Kreveld mengemukakan bahwa peraturan kebijakan memiliki ciri-ciri sebagai berikut[22]:

[18] Philipus M. Hadjon, Pengantar Hukum Admninistrasi Indonesia, Yogyakarta : Gadjah Mada University Press, 1999, hlm. 152.
[19] Philipus M. Hadjon, Loc.cit.
[20] Hotma, P. Sibuea, Loc.cit.
[21] Philipus M. Hadjon, Op.cit, hlm 153.
[22] Hotma, P. Sibuea, Op.cit, hlm. 104.

1. Peraturan itu, langsung ataupun tidak langsung, tidak berdasar pada ketentuan *formele wet* maupun *Grondwet* yang memberikan kewenangan mengatur, dengan perkataan lain tidak mempunyai dasar hukum yang tegas dalam *wet*.
2. Peraturan itu dapat: a). Tidak tertulis, kemudian terhadi serangkaian keputusan instansi pemerintah yang berdiri sendiri dalm rangka menyelengarakan kewenangan pemerintah yang tidak terkait: b) ditetapkan dengan tegas secara tertulis oleh suatu instansi pemerintah.
3. Peraturan itu pada umumnya menunjukkan bagaimana suatu instansipemerintah akan bertindak, dalam menyelenggarakan kewenangan pemerintah yang tidak terikat, terhadap setiap orang dalam situasi sebagaimana dalam peraturan itu.

Seperti halnya Van Kreveld, Bagir Manan seperti dikutip oleh S.F. Marbun juga menyatakan beberapa ciri-ciri dari peraturan kebijakan sebagai berikut[23] : a. Peraturan kebijaksanaan bukan merupakan peraturan perundang-undangan; b. Asas-asas pembatasan dan pengujian terhadap peraturan perundang-undangan tidak dapat diberlakukan pada peraturan kebijaksanaan; c. Peraturan kebijaksanaan tidak dapat diuji secara *wetmatigheid*, karena memang tidak ada dasar peraturan perundang-undangan untuk membuat peraturan kebijaksanaan tersebut; d. Peraturan kebijaksanaan dibuat berdasarkan Freies Ermessen dan ketiadaan wewenang administrasi bersangkutan membuat peraturan perundang-undangan; e. Pengujian terhadap peraturan kebijaksanan lebih diserahkan pada *doelmatigheid* sehingga batu ujinya adalah asas-asas umum pemerintahan yang baik; f. Dalam praktik diberi format dalam berbagai bentuk dan jenis aturan, yakni keputusan, instruksi, surat edaran, pengumuman, dan lain-lain, bahkan dapat pula dijumpai dalam bentuk peraturan.

Berkaitan dengan bentuknya Van Kreveld, menyatakan "peraturan kebijakan" dapat dituangkan dalam berbagai bentuk, seperti garis-garis kebijaksanaan (beleidslipijnen), kebijaksanaan (het beleid), peraturan (voorschriften), pedoman (rechtlijnen), petunjuk (regelingen), surat edaran (circularies), resolusi (resoluties), intruksi (aanschrijvingen), nota kebijaksanaan (beleids-nota's), peraturan menteri (reglemens ministriele), keputusan (beschikkingen), pengumuman (en

[23] S.F, Marbun, *Op.cit*., hlm. 175.

bekendmakingen)[24]. Selain itu menurut pendapat Phillip M. Hadjon, dalam praktik penyelenggaraan pemerintahan, ada peraturan kebijakan yang berbentuk pengumuman, pedoman, surat edaran, petunjuk teknis (juknis), petunjuk pelaksanaan (juklak), dan sebagainya[25].

2. Energi, Energi Baru dan Terbarukan Dalam Ketahanan Energi Nasional

Istilah energi berasal dari bahasa Yunani, yaitu *energia* yang berarti ativitas (*energos* yang berarti aktif)[26]. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia pengertian energi, yakni sebagai berikut[27]: **Ener.gi** n *Fis* kemampuan untuk melakukan kerja (misalnya untuk energi listrik dan mekanika); daya (kekuatan) yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan, misalnya dapat merupakan bagian suatu bahan atau tidak terikat pada bahan (seperti sinar matahari); tenaga.

Energi adalah sumber daya yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan termasuk bahan bakar, listrik, energi mkanik dan panas[28]. Energi selalu berasal dari sumber energi, sumber energi adalah sesuatu yang dapat menghasilkan energi, baik secara langsung maupun melalui proses konversi atau transformasi[29]. Sumber energi merupakan sebagian dari sumber daya alam yang meliputi minyak dan gas bumi, batu bara, air, panas bumi, gambut, biomassa, dan sebagainya, baik secara langsung atau tidak langsung dapat dimanfaatkan sebagai energi[30].

Pengertian energi terdapat pada Undang-undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, yang tercantum pada bab I Ketentuan umum Pasal 1 angka (1) yakni Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja yang dapat berupa panas, cahaya, mekanika, kimia, dan elektromagnetika.

Sumber energi merupakan salah satu sumber daya alam[31]. Sebagai sumber daya alam, energi harus dimanfaatkan sebesar-besarnya bagi kemakmuran masyarakat dan

[24] S.F, Marbun, Op.cit, hlm. 176.
[25] Hotma, P. Sibuea, Op.cit, hlm. 107.
[26] Sutarno, *Sumber Daya Energi* , Yogyakarta : Graha Ilmu, 2013, hlm. 1.
[27] Departemen Pendidikan Nasional, Op.cit, hlm. 373
[28] Daryanto, *Energi : Masalah dan Pemanfaatannya Bagi Kehidupan Manusia*, Yogyakarta: Pustaka Widyatama, 2007, hlm. 9.
[29] Lihat Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi pasal 1 ayat (2).
[30] Daryanto, Loc.cit.
[31] Daryanto, Op.Cit, hlm. 26

pengelolaannya harus mengacu pada asas pembangunan berkelanjutan[32]. Jadi, sumber daya energi adalah sumber daya alam yang dapat diolah oleh manusia sehingga dapat digunakan bagi pemenuhan kebutuhan energi[33]. Sumber daya energi ini disebut sumber energi primer, yaitu sumber daya energi dalam bentuk apa adanya yang tersedia di alam[34].

Sumber daya energi merupakan kekayaan alam sebagaimana diamanatkan oleh segenap rakyat Indonesia melalui Pasal 33 Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 negara memiliki kuasa terhadapnya dan wajib dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Peranan energi sangat penting artinya bagi peningkatan kegiatan ekonomi dan ketahanan nasional, sehingga pengelolaan energi yang meliputi penyediaan, pemanfaatan, dan pengusahaannya harus dilaksanakan secara berkeadilan, berkelanjutan, optimal, dan terpadu[35].

Alam telah menyediakan sumber energi secara gratis dan melimpah untuk dimanfaatkan oleh seluruh mahluk hidup. Namun untuk mendukung aktivitas hidup umat manusia di muka bumi, manusia juga perlu mengelola dan mengembangkan energi-energi yang sudah tersedia di alam, guna memenuhi kebutuhan hidupnya.

Dalam Pasal 2 Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007, diatur asas-asas dalam melakukan pengusahaan dan pengelolaan energi, yaitu : Asas Kemanfaatan; Asas Efisiensi Berkeadilan; Asas Peningkatan Nilai Tambah; Asas Keberlanjutan; Asas Kesejahteraan Masyarakat; Asas Pelestarian Fungsi Lingkungan; Asas Ketahanan Nasional; Asas Keterpaduan

Asas-asas dalam mengelola energi yang tercantum pada pasal 2 Undang-Undang Energi memiliki penjelasan masing-masing sebagai berikut[36]: Asas kemanfaatan, maksud dari asas ini adalah dalam usaha pengelolaan energi harus memenuhi kebutuhan masyarakat; Asas efisiensi berkeadilan, maksud dari asas ini adalah dalam pengelolaan energi harus mencapai pemerataan akses terhadap energi dengan harga yang ekonomis dan terjangkau; Asas peningkatan nilai tambah, maksud dari asas ini adalah dalam pengelolaan energi harus mencapai nilai ekonomi yang optimal; Asas

[32] Elinur, Loc.cit.
[33] Sutarno, Op.cit, hlm. 3.
[34] *Loc.cit.*
[35] Lihat Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi bagian Menimbang huruf b.
[36] Penjelasan pasal 2 Undang-undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007.

keberlanjutan, maksud dari asas ini adalah dalam pengelolaan energi harus menjamin penyediaan dan pemanfaatan energi untuk generasi sekarang dan yang akan datang; Asas kesejahteraan masyarakat, maksud dari asas ini adalah dalam pengelolaan energi harus mencapai kesejahteraan masyarakat yang sebesar-besarnya; Asas pelestarian fungsi lingkungan, maksud dari asas ini adalah dalam pengelolaan energi harus menjamin kualitas fungsi lingkungan yang lebih baik; Asas ketahanan nasional, maksud dari asas ini adalah dalam pengelolaan energi harus mencapai kemampuan nasional dalam pengelolaan energi; Asas keterpaduan, maksud dari asas ini adalah pengelolaan energi harus mencapai pengelolaan energi secara terpadu antar sektor.

Melalui asas-asas dalam melakukan pengusahaan dan pengelolaan energi yang diyatakan dalam Undang-Undang nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, diharapkan arah pengusahaan, pembangunan, dan pengelolaan energi nasional dapat mewujudkan pembangunan energi berkeadilan. Energi berkeadilan adalah memberikan akses energi secara merata kepada seluruh rakyat Indonesia melalui pembangunan infrastruktur sektor ESDM serta pengoptimalan potensi sumber energi setempat dengan harga terjangkau dan berkelanjutan, hal ini sesuai dengan amanat Undang-Undang Dasar 1945 Pasal 33, yakni energi harus digunakan sebesar-besarnya kemaslahatan rakyat, bangsa dan negara[37].

Dalam pasal 33 Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945, negara diberikan mandat untuk menguasai seluruh sumber daya energi dengan tujuan agar dipergunakan secara bijak demi sebesra-besarnya kemakmuran seluruh rakyat Indonesia.

Energi baru adalah energi yang dikembangkan dari hasil ristek dan pengembangan teknologi yang tidak dapat dimasukkan dalam kelompok energi fosil atau energi terbarukan, contonya seperti energi nuklir, energi plasma (magneto hidro dinamika), atau energi cell bahan bakar (fuel cell)[38]. Energi baru merupakan jenis-jenis energi yang perkembangannya didorong oleh intervensi teknologi.

[37] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Lomba Foto Energi Berkeadilan,* https://www.esdm.go.id/id/page/lomba-foto-energi-berkeadilan-2018 (diakses pada 04 November 2018, pukul 20.37)

[38] Ariono Abdulkadir, S*eri Ketenagalistrikan Jilid 2: Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi*, Bandung: ITB, 2011, hlm. 115.

Menurut Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, pengertian Energi Baru terdapat pada pasal 1 ayat (5) yakni energi yang berasal dari sumber energi baru. Sedangkan, Sumber energi baru adalah sumber energi yang dapat dihasilkan oleh teknologi baru baik yang berasal dari sumber energi terbarukan maupun sumber energi tak terbarukan, antara lain nuklir, hidrogen, gas metana batu bara (coal bed methane), batu bara tercairkan (liquified coal), dan batu bara tergaskan (gasified coal)[39].

Pada pengertian sumber energi baru dalam Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi telah diklasifikasikan macam-macam jenis energi baru, yakni nuklir, hidrogen, gas metana batu bara (coal bed methane), batu bara tercairkan (liquified coal), dan batu bara tergaskan (gasified coal). Dalam hal penguasaan dan pengaturannya, sumber energi baru diserahkan oleh rakyat kepada negara dan dimanfaatkan sebesar-besanya untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat.

Pengertian energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber energi terbarukan[40]. Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dapat digunakan tanpa batas waktu dan tidak akan pernah habis karena dapat dipulihkan dalam waktu relatif singkat[41]. Menurut Undang-undang Nomor 30 Tahun tentang Energi, pengertian energi terbarukan tercantum pada pasal 1 ayat (6), yakni " sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut."

Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang sangat ramah lingkungan, karena tidak menghasilkan pencemaran lingkungan dan tidak termasuk salah satu penyebab dari perubahan iklim dan pemanasan global, karena energi yang dihasilkan berasal dari proses alam yang berkelanjutan seperti angin, air, sinar matahari, panas bumi, dan biofuel[42]. Negara Indonesia adalah negara yang memiliki potensi sumber energi terbarukan dalam jumlah yang sangat besar karena pengaruh astronomis dan geografis negara Indonesia. Potensi sumber energi terbarukan yang terkandung di Indonesia seperti energi panas bumi, surya, air, laut/samudra, bioenergi.

[39] Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi pasal 1 ayat (4).
[40] Lihat Undang-undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi Pasal 1 ayat (7)
[41] Daryanto, Op.Cit, hlm. 26.
[42] Kementerian Sumber Daya Energi dan Mineral, Loc.cit

Indonesia terletak di garis khatulistiwa yang menyebabkan Indonesia beriklim tropis, mayoritas daerah-daerah di Indonesia senantiasa di sinari terik matahari. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia menunjukan bahwa radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut turut sebagai berikut : untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia sekitar 4.5 kWh/m2.hari dengan variasi bulanan sekitar 10% dan Kawasan Timur Indonesia sekitar 5.1 kWh/m2.hari dengan variasi bulanan sekitar 9%, dengan demikian potensi penyinaran matahari di Indonesia rata-rata sekitar 4.8 kWh/m2.hari dengan variasi bulanan sekitar 9%[43].

Indonesia adalah negara yang juga kaya akan potensi panas bumi, karena termasuk dari daerah vulkanik. Hal ini disebabkan karena kondisi geografis Indonesia yang dilewati oleh jalur Cincin Api yakni jalur gunung berapi membentang di Indonesia dari ujung Pulau Sumatera sepanjang Pulau Jawa, Bali, NTT, NTB menuju Kepulauan Banda, Halmahera, dan Pulau Sulawesi. Berdasarkan survei menunjukkan bahwa terdapat 70 lokasi panas bumi bertemperatur tinggi dengan kapasitas total mencapai 19.658 MW. Sebagian besar dari lokasi tersebut belum dilakukan eksploitasi secara intensif[44].

Selanjutnya Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga air, karena terdapat sumber energi tenaga air yang melimpah di Indonesia. Potensi ini disebabkan kondisi topografi Indonesia bergunung dan berbukit serta dialiri oleh banyak sungai dan daerah daerah tertentu mempunyai danau/waduk yang cukup potensial sebagai sumber energi air[45].

Indonesia sebagai negara agraris mempunyai potensi biomassa yang relatif besar yang berasal dari limbah pertanian, perkebunan, kehutanan, limbah ternak dan limbah kota (sampah)[46].

Secara umum Indonesia masuk kategori negara tanpa angin, mengingat bahwa kecepatan angin minimum rata-rata yang secara ekonomis dapat dikembangkan sebagai

[43] Abubakar Lubis, "*Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan*", Jurnal Teknik Lingkungan, Vol.8 No.2, Mei 2007, hlm. 161.
[44] Loc.cit.
[45] Ibid, hlm. 157.
[46] Daryanto, Op.Cit, hlm. 111.

penyedia jasa energi adalah 4m/ dt[47]. Namun di beberapa wilayah Indonesia memiliki potensi akan sumber energi angin. Wilayah tersebut antara lain Nusa Tenggara Timur (NTT), Nusa Tenggara Barat (NTB), Sulawesi Selatan dan Tenggara, Pantai Utara dan Selatan Jawa dan Karimun Jawa.

Indonesia adalah negara yang kaya akan potensi energi laut/samudra, karena Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki lebih banyak perairan daripada daratan. Luas wilayah laut Indonesia adalah 65% dari total seluruh wilayah Indonesia yakni 3.544.743,9 km², dengan garis pantai yang membentang sepanjang 81.000 km, yang terdiri dari laut dalam dan laut dangkal. Dengan melihat luas wilayah laut dan samudra negara Indonesia, dapat diperkirakan bahwa Indonesia memiliki sumber energi laut/samudra berupa energi panas laut, energi pasang surut, energi gelombang, energi arus laut yang dapat menghasilkan energi listrik.

C. Simpulan

Implementasi kebijakan energi baru dan energi terbarukan dalam rangka ketahanan energy nasional telah berjalan sebagaimana mestinya. Hal tersebut dapat dilihat dari dari peran pemerintah untuk mengadakan kebijakan (beleid) dan tindakan pengurusan (bestuursdaad), pengaturan (regelendaad), pengelolaan (beheersdaad) dan pengawasan (toezichthoudensdaad) untuk tujuan sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Pengelolaan kebijakan energi baru dan energi terbarukan tertuang dalam Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007. Pengelolaan energi baru dan energi terbarukan harus senan tiasa berdasarkan pada asas-asas dalam melakukan pengusahaan dan pengelolaan energi, yaitu : Asas Kemanfaatan; Asas Efisiensi Berkeadilan; Asas Peningkatan Nilai Tambah; Asas Keberlanjutan; Asas Kesejahteraan Masyarakat; Asas Pelestarian Fungsi Lingkungan; Asas Ketahanan Nasional; Asas Keterpaduan.

Daftar Pustaka

Aan Jaelani, Renewable Energy Policy in Indonesia: The Qur'anic Scientific Signals in Islamic Economics Perspective, International Journal of Energy Economics and Policy, Vol.7 No.4, 2017

Abubakar Lubis, "Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan", Jurnal Teknik Lingkungan, Vol.8 No.2, Mei 2007

[47] Abubakar Lubis, Op.cit, hlm 160.

Ahmad Redi, Hukum Pertambangan Indonesia, Jakarta: Gramata Publishing, 2014.

Ahmad Wahid, Analisis Kapasitas dan Kebutuhan Daya Listrik untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, Vol.2 No.1, 2014.

Ariono Abdulkadir, Seri Ketenagalistrikan Jilid 2: Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, Bandung: ITB, 2011.

Biro Komunikasi, Layanan Informasi Publik dan Kerja Sama Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jurnal Energi : Program Strategis EBTKE dan Ketenagalistrikan, Edisi 02, 2016.

Daryanto, Energi : Masalah dan Pemanfaatannya Bagi Kehidupan Manusia, Yogyakarta: Pustaka Widyatama, 2007.

Departemen Pendidikan Nasional, Kamus Besar Bahasa Indonesia Pusat Bahasa, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2008.

Diktum kedua Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1567 K/21/MEM/2018 Tentang Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara Persero Tahun 2018 s.d 2027.

Hotma, P. Sibuea, Asas Negara Hukum, Peraturan Kebijakan & Asas-asas Umum Pemerintahan yang Baik, Jakarta : Penerbit Erlangga, 2010,

IPP (Independent Power Producer) adalah perusahaan produsen listrik swasta yang dibentuk oleh konsosium untuk melakukan perjanjian PPA dengan PLN.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Executive Summary RUPTL PT PLN (PERSERO) 2018-2027, dalam acara Diseminasi RUPTL 2018-2027, Jakarta, 22 Maret 2018,

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Lomba Foto Energi Berkeadilan, https://www.esdm.go.id/id/page/lomba-foto-energi-berkeadilan-2018 (diakses pada 04 November 2018, pukul 20.37)

Komisi Yudisial Republik Indonesia, Kompilasi Putusan Pengujian UU Oleh MK : Putusan Yang Dikabulkan Tahun 2003 – 2015, Jakarta: Biro Rekrutmen, Advokasi, dan Peningkatan Kapasitas Hakim, Komisi Yudisial Republik Indonesia, 2015, hlm. 1009.

Muhamad Bobby Fadillah, Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2015-2024 Wilayah PLN Kota Pekanbaru Dengan Metode Gabungan, Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik, Vol.2 No.2, 2015

Muhammad Azhar, The New Renewable Energy Consumption Policy of Rare Earth Metals to Build Indonesia's National Energy Security, Conference Guidelines The 1st Sriwijaya Internasional Conference on Environmental Issues, di Hotel Horison Ultima, Palembang, Indonesia, 26 – 27 September 2018

Philipus M. Hadjon, Pengantar Hukum Admninistrasi Indonesia, Yogyakarta : Gadjah Mada University Press, 1999,

Sutarno, Sumber Daya Energi , Yogyakarta : Graha Ilmu, 2013

Syamsir Abduh, Pengelolaan Dana Ketahanan Energi, Mineral & Energi, Vol.14 No.2, Juni 2016, Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral,

Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi

Wojowasito, Kamus Umum Belanda Indonesia, Jakarta: Ichtiar Baru – Van Hoeve, 1995,

Zen Umar Purba, Kepentingan Negara dalam Industri Perminyakan Indonesia, Hukum Internasional, Konstitusi dan Globalisasi, Jurnal Hukum Internasional Vol.4 No.2, Januari 2007, Lembaga Pengkajian Hukum Internasional, FH Universitas Indonesia,

ISSN : 2087 -

EXPLORE

Jurnal Sistem Informasi & Telematika

(Telekomunikasi, Multimedia & Informatika)

Robby Yuli Endra, Ahmad Cucus, Freddy Nur Affandi, M. Bintang Syahputra
DETEKSI OBJEK MENGGUNAKAN HISTOGRAM OF ORIENTED GRADIENT (HOG) UNTUK MODEL SMART ROOM

Halimah, Bobby Bachri
PEMANFAATAN MODEL ENTERPRISE ARCHITECTURE PLANNING (EAP) UNTUK PROTOTYPE E-DOCUMENT KEPEGAWAIAN (DOSEN) PADA BAGIAN SUMBER DAYA MANUSIA DI INSTITUT INFORMATIKA DAN BISNIS DARMAJAYA

Darsi
PENERAPAN FUZZY INFERENCE SYSTEM (FIS) METODE SUGENO UNTUK MENENTUKAN KANDIDAT DOSEN TERBAIK DI UNIVERSITAS MEGOW PAK TULANG BAWANG

Ida Ayu Putu Anggie Sinthiya, Danang Kusnadi
ANALISIS EMISI GAS RUMAH KACA (GRK) DAN PEMETAAN ZONA EMISI MENGGUNAKAN GIS (GEOSPASIAL INFORMATION SYSTEM) DI KABUPATEN PRINGSEWU, LAMPUNG

Budi Usmanto, Bernadhita H.S.T
PROTOTYPE SISTEM PENDETEKSI DAN PERINGATAN DINI BENCANA ALAM DI INDONESIA BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)

Oktafianto, Ponidi
SISTEM KEAMANAN GEDUNG BERBASIS SMS GATEWAY DAN MEDIA SOSIAL DENGAN MIKROKONTROLLER ATMEGA32

Pamuji Setiawan, Elisabet Yunaeti Anggraeni
PURWARUPA SISTEM PENGAIRAN SAWAH OTOMATIS DENGAN ARDUINO BERBASIS ARTIFICIAL INTELEGENT

Erlangga, Yanuarius Yanu Dharmawan
PENENTUAN PENERIMA KINERJA DOSEN AWARD MELALUI METODE TSUKAMOTO DENGAN KONSEP LOGIKA FUZZY

Yuthsi Aprilinda, Emy Sugandasari, Freddy Nur Afandi, Fenty Ariani
AUTOMATIC COUNTING MENGGUNAKAN METODE HAVERSINE UNTUK MENGHITUNG JUMLAH PENUMPANG BUS

Taqwan Thamrin, Erlangga, Wiwin Susanty
IMPLEMENTASI RUMAH LISTRIK BERBASIS SOLAR CELL

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

UBL
SOLUTION FOR PRESENT AND FUTURE

EXPLORE

ISSN 2087-2

Jurnal Sistem Informasi dan Telematika
(Telekomunikasi, Multimedia, dan Informasi)
Volume 9, Nomor 2, Oktober 2018

NO	JUDUL PENELITIAN / NAMA PENULIS	HALAMAN
1.	DETEKSI OBJEK MENGGUNAKAN HISTOGRAM OF ORIENTED GRADIENT (HOG) UNTUK MODEL SMART ROOM Robby Yuli Endra , Ahmad Cucus, Freddy Nur Affandi, M. Bintang Syahputra	99-105
2.	PEMANFAATAN MODEL ENTERPRISE ARCHITECTURE PLANNING (EAP) UNTUK PROTOTYPE E-DOCUMENT KEPEGAWAIAN (DOSEN) PADA BAGIAN SUMBER DAYA MANUSIA DI INSTITUT INFORMATIKA DAN BISNIS DARMAJAYA Halimah, Bobby Bachry	106-113
3	PENERAPAN FUZZY INFERENCE SYSTEM (FIS) METODE SUGENO UNTUK MENENTUKAN KANDIDAT DOSEN TERBAIK DI UNIVERSITAS MEGOW PAK TULANG BAWANG Darsin	114-120
4	ANALISIS EMISI GAS RUMAH KACA (GRK) DAN PEMETAAN ZONA EMISI MENGGUNAKAN GIS (GEOSPASIAL INFORMATION SYSTEM) DI KABUPATEN PRINGSEWU, LAMPUNG Ida Ayu Putu Anggie Sinthiya, Danang Kusnadi	121-126
5	PROTOTYPE SISTEM PENDETEKSI DAN PERINGATAN DINI BENCANA ALAM DI INDONESIA BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT) Budi Usmanto, Bernadhita H.S.U	127-136
6	SISTEM KEAMANAN GEDUNG BERBASIS SMS GATEWAY DAN MEDIA SOSIAL DENGAN MIKROKONTROLLER ATMEGA328 Oktafianto, Ponidi	137-142
7	PURWARUPA SISTEM PENGAIRAN SAWAH OTOMATIS DENGAN ARDUINO BERBASIS ARTIFICIAL INTELEGENT Pamuji Setiawan, Elisabet Yunaeti Anggraeni	143-151
8	PENENTUAN PENERIMA KINERJA DOSEN AWARD MELALUI METODE TSUKAMOTO DENGAN KONSEP LOGIKA FUZZY Erlangga, Yanuarius Yanu Dharmawan	152-161
9	AUTOMATIC COUNTING MENGGUNAKAN METODE HAVERSINE UNTUK MENGHITUNG JUMLAH PENUMPANG BUS Yuthsi Aprilinda ,Emy Sugandasari, Freddy Nur Afandi, Fenty Ariani	162-177
10	IMPLEMENTASI RUMAH LISTRIK BERBASIS SOLAR CELL Taqwan Thamrin, Erlangga, Wiwin Susanty	178-185

Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Bandar Lampung

JIST	Volume 9	Nomor 2	Halaman	Lampung Oktober 2018	ISSN 2087 - 2062

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Manajemen Sistem Informasi dan Telematika
(Telekomunikasi, Multimedia & Informatika)
Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Bandar Lampung

PENANGGUNG JAWAB
Rektor Universitas Bandar Lampung

Ketua Tim Redaksi:
Ahmad Cucus,S.Kom,M.Kom

Wakil Ketua Tim Redaksi:
Marzuki,S.Kom,M.Kom

TIM PENYUNTING :

PENYUNTING AHLI (MITRA BESTARI)
Mustofa Usman, Ph.D (Universitas Lampung)
Wamiliana, Ph.D (Universitas Lampung)
Dr.Iing Lukman,M.Sc. (Universitas Malahayati)

Penyunting Pelaksana:
Robby Yuli Endra S.Kom., M.Kom
Yuthsi Aprilinda, S.Kom, M.Kom
Fenty Ariani, S.Kom.,M.Kom

Pelaksana Teknis:
Wingky Kesuma, S.Kom
Elva Riana Siregar, S.Kom

Alamat Penerbit/Redaksi:

Pusat Studi Teknologi Informasi - Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Bandar Lampung
Gedung Business Center lt.2
Jl.Zainal Abidin Pagar Alam no.26 Bandar Lampung
Telp.0721-774626
Email: *explore@ubl.ac.id*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PENGANTAR REDAKSI

Jurnal explore adalah jurnal yang diprakrasai oleh program studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer Universitas Bandar Lampung, yang di kelola dan diterbitkan oleh Fakultas Ilmu Komputer / Pusat Sudi Teknologi Informasi.

Pada Edisi ini, explore menyajikan artikel/naskah dalam bidang teknologi informasi khususnya dalam pengembangan aplikasi, pengembangan machine learning dan pengetahuan lain dalma bidang rekayasa perangkat lunak, redaksi mengucapkan terima kasih dan selamat kepada penulis makalah ilmiah yang makalahnya kami terima dan di terbitkan dalam edisi ini, makalah ilmah yang ada dalam jurnal ini memberikan kontribusi penting pada pengembangan ilmu dan teknologi.

Selain itu, sejumlah pakar yang terlibat dalam jurnal ini telah memberikan kontribusi yang sangat berharga dalam menilai makalah yang dimuat, oleh sebab itu, redaksi menyampaikan banyak terima kasih.

Pada kesempatan ini redaksi kembali mengundang dan memberikan kesempatan kepada para peneliti, di bidang pengembangan perangkat lunak untuk mempublikasikan hasil penelitiannya dalam jurnal ini.

Akhirnya redaksi berharap semoga makalah dalam jurnal ini bermanfat bagi para pembaca khususnya bagi perkembangan ilmu dan teknologi dalam bidang perekaan perangkat lunak dan teknologi pada umumnya.

REDAKSI

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Explore – Jurnal Sistem Informasi dan Telematika
ISSN 2087-2062

IMPLEMENTASI RUMAH LISTRIK BERBASIS SOLAR CELL

Taqwan Thamrin[1], Erlangga[2], Wiwin Susanty[3]
Program Studi Sistem Informasi,
Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bandar Lampung
Jl. Zainal Abidin PA no. 26 , Bandar Lampung 35142, Lampung
Email: taqwanthamrin@ubl.ac.id, erlangga@ubl.ac.id, wiwin.susanti@ubl.ac.id

ABSTRAK

Energi matahari adalah sumber energi terbarukan yang ketersediaannya tidak terbatas. Untuk mendapatkan energi listrik yang berasal dari matahari diperlukan panel surya sehingga energi dari matahari dapat berubah menjadi energi listrik, teknologi Solar, juga dikenal sebagai photovoltaik (pv) yang terbentuk dalam modul surya yang terbentuk dari bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor mampu melakukan arus listrik ketika ada energi kinetik yang menggerakkan partikel elektron di dalamnya ke pita konduksi. Dalam hal ini sinar matahari mengandung gelombang elektromagnetik atau energi foton yang mampu menghasilkan energi kinetik untuk melepaskan ikatan elektron dalam semikonduktor yang menyebabkan arus listrik. Makalah ini menjelaskan mengenai implementasi dan penerapan rumah listrik berbasis solar cell.

***Kata Kunci**: Photovoltaic, Energi terbarukan, Solar cell, Rumah Listrik*

1. Pendahuluan

Listrik merupakan kebutuhan primer manusia saat ini, sesuai dengan kemajuan zaman semakin pesat kebutuhan listrik hampir semua kalangan mulai dari daerah perkotaan hingga pedesaan saat ini. Di Indonesia untuk kebutuhan listrik masyarakat menggunakan layanan PLN (Perusahaan Listrik Negara). Hampir semua masyarakat Indonesia menikmati layanan listrik dari perusahaan tersebut.

Pulau Sebesi merupakan salah satu daerah yang masyarakatnya belum pernah merasakan terangnya listrik seperti daerah lain di kota-kota besar di pulau jawa. Listrik di wilayah ini belum masuk di karenakan jangkauan PLN untuk masuk ke daerah terpencil/pulau. Warga pernah mewacanakan pembuatan fasilitas listrik sederhana dengan bersumber pada tenaga diesel. Namun, ternyata suplai Listrik menyala hanya selama enam jam dari pukul 18.00 sampai dengan pukul 24.00 setiap harinya.

Pulau Sebesi (*Sebesi Island*) dengan titik koordinat 5°59′0″LS,105°29′50″BT adalah sebuah pulau yang secara administratif berada di wilayah Desa Tejang, Kecamatan Rajabasa, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Berbentuk seperti gunung berapi dengan ketinggian 844m, secara geografis pulau ini terletak di selat Sunda atau wilayah selatan perairan Lampung. Lebih tepatnya pulau Sebesi berada di sebelah selatan dari Pulau Sebuku, sebelah timur Pulau Serdang dan Pulau Legundi, serta sebelah Timur Laut Gugusan Krakatau.

Nama Pulau Sebesi diduga berasal dari bahasa Sansekerta, Sawesi (Savvesi). Masyarakat sekitar biasa menyebut Pulau Sebesi dengan sebutan Pulo [6]. Pulau Sebesi terdiri dari 1 desa dan 4 dusun utama dan beberapa dusun kecil yang berada dibawah naungan dusun utama. Empat dusun utama tersebut adalah Dusun Bangunan, Dusun Inpres, Dusun Segenom, dan Dusun Regahan Lada.

Oleh karena itu permasalahan tersebut di atas muncul ide untuk memanfaatkan energi surya sebagai sumber pembangkit listrik, sebab Indonesia merupakan negara tropis yang sangat potensial untuk mengembangkan energi surya. Energi surya merupakan energi terbarukan yang murah, mudah, dan yang paling penting adalah ramah lingkungan.

Hasil pemanfaatan energi surya tidak menghasilkan limbah industri yang menyebabkan kerusakan pada peralatan atau menurunkan masa *lifetime* peralatan tersebut. Instalasi dan pemeliharaan panel surya termasuk mudah sehingga memungkinkan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

bagi masyarakat sekitar untuk melakukan *maintenance* sendiri untuk panel surya tersebut.

1.1 Identifikasi Masalah

Energi Surya merupakan energi utama yang diterima bumi, kurang lebih 173 triliun kilowatt energi diterima melalui bagian atas atmosfer: 30 % direfleksikan kembali, 47% diserap oleh molekul-molekul di atmosfer, diubah panjang gelombangnya kemudian diradiasikan kembali sebagai radiasi infra-merah; dan sisanya 23% sebagai besar dirubah melalui proses gerakan thermo-chemo-dinamik di permukaan bumi, seperti angin, arus laut, dan juga proses penguapan dan fotosintesis dan lain sebagainya. Energi hasil fotosintesis pada umumnya disimpan dalam bentuk tumbuhan yang kemudian dalam proses alam sebagian berubah menjadi fosil karbon, seperti batu bara, minyak, dan gas alam.

Energi surya melalui konversi dimanfaatkan menjadi energi listrik, yang diperoleh dengan sistem *photovoltaic*. Rumah Listrik berbasis *Solar Cell* ini diarahkan agar dapat dimanfaatkan oleh kantor desa tejang pulau sebesi dalam melayani masyarakat penduduk Pulau Sebesi desa Tejang yang operasional pelayanan di siang hari masih belum dijangkau oleh jaringan PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel).

1.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam paper implentasi rumah listrik berbasis *solar cell* ini adalah sebagai berikut :

a. Menjadikan sumber energi yang tidak akan pernah habis.
b. Dapat memberikan sumbangan dan memperkaya hasil penelitian yang ada.
c. Menambah pengetahuan dalam penerapan model rumah listrik berbasis solar cell.

2. Landasan Teori

2.1 Konsep Rumah Listrik

Pembangkit listrik tenaga surya/*solar cell* mempunyai konsep yang sederhana. Yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik [4]. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui *solar cell*. *Solar cell* ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem *solar sel* sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan [3].

Bandingkan dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik (PLTD). Suaranya bising. Selain itu gas buang yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (*green house gas*) yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita. Sistem *solar cell* yang digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel *solar cell*, rangkaian kontroler pengisian (*charge controller*), dan aki (batere) 12 volt yang *maintenance free*.

Panel *solar cell* merupakan modul yang terdiri beberapa *solar cell* yang digabung dalam hubungan seri dan paralel tergantung ukuran dan kapasitas yang diperlukan. Yang sering digunakan adalah modul *solar cell* 20 watt atau 30 watt. Modul *solar cell* itu menghasilkan energi listrik yang proporsional dengan luas permukaan panel yang terkena sinar matahari [4].

2.2 Photovoltaic

Cara kerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan menggunakan *Grid-Connected* panel *solar cell Photovoltaic* untuk perumahan. Modul *solar cell Photovoltaic* merubah energi surya menjadi arus listrik DC. Arus listrik DC yang dihasilkan ini akan dialirkan melalui suatu *inverter* (pengatur tenaga) yang merubahnya menjadi arus listrik AC, dan juga dengan otomatis akan mengatur seluruh sistem [7]. Listrik AC akan didistribusikan melalui suatu panel distribusi yang akan mengalirkan listrik sesuai yang dibutuhkan peralatan listrik. Besar dan biaya konsumsi listrik yang dipakai di rumah akan diukur oleh suatu *Watt-Hour Meters*.

Komponen utama sistem surya *photovoltaic* adalah modul yang merupakan unit rakitan beberapa *solar cell photovoltaic* [4]. Untuk membuat modul *photovoltaic* secara pabrikasi bisa menggunakan teknologi kristal dan thin film. Modul *photovoltaic* kristal dapat dibuat dengan teknologi yang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

relatif sederhana, sedangkan untuk membuat sel *photovoltaic* diperlukan teknologi tinggi.

Modul *photovoltaic* tersusun dari beberapa sel *photovoltaic* yang dihubungkan secara seri dan paralel. Biaya yang dikeluarkan untuk membuat modul *solar cell* yaitu sebesar 60% dari biaya total. Jadi, jika modul *solar cell* itu bisa diproduksi di dalam negeri berarti akan bisa menghemat biaya pembangunan PLTS.



Gambar 2. 1 Modul *Solar Cell*

2.3 Prinsip Kerja *Solar Cell*

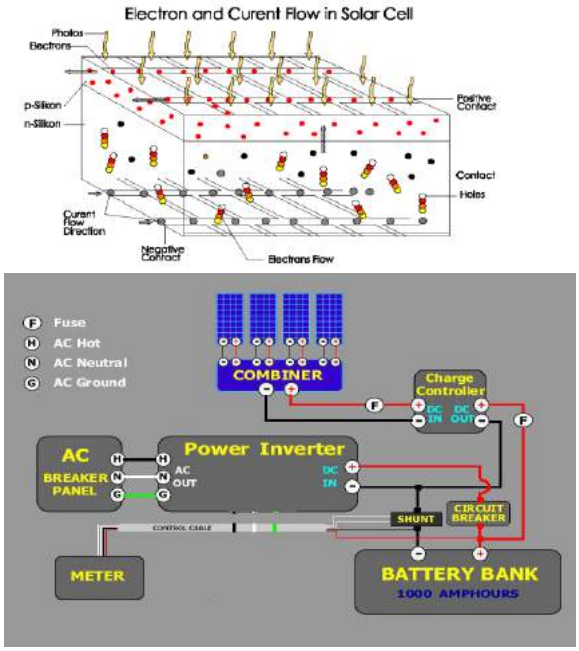
Secara sederhana prinsip kerja *solar cell photovoltaic* dapat dijelaskan dengan memisalkan sebagai dioda. Diode ini terdiri dari semikonduktor tipe N dan semikonduktor tipe P. Untuk membentuk semikonduktor silicon tipe N, yaitu ditambahkan bahan yang bervalensi 5 yang biasa digunakan antara lain Foster dan Arenakum [1].

Sedangkan untuk membentuk semikonduktor tipe P maka semikonduktor dengan valensi 4 ditambah dengan bahan yang bervalensi 3 biasanya dikenal dengan bahan ketidak murnian. Jenis bahan ini adalah Boron, aluminium, kalsium, dan indium. Penambahan bahan ketidak murnian ini akan menyebabkan satu bahan elektron sehingga berbentuk lubang (*hole*). Lubang ini dapat berpindah tempat yang satu ke tempat yang lain di dalam kristal. Yang terjadi adalah electron-elektron Kristal mengisi lubang yang kosong, sehingga timbul lubang baru. Lubang baru tersebut berpindah disebabkan karena ada electron yang mengisinya, maka setiap lubang akan memiliki muatan positif yang sama dan berlawanan dengan muatan negatif electron.

Bila cahaya matahari yang berupa energy foton datang mengenai sisi permukaan lebih besar dari energy ceah atau gap yang memisahkan pita valensi dan pita konduksi, maka elektron-elektron bergerak dari pita valensi ke pita konduksi melalui hubungan (junction) P-N. Lubang yang berada pada sisi tipe N bergerak ke posisi tipe P, dan sebaliknya elektron yang berada pada sisi tipe P bergerak ke sisi tipe N. Jika energy foton yang diterima dan diserap cukup besar, maka lubang akan bertahan di sisi tipe P dan elektron bertahan di sisi tipe N, sehingga mengakibatkan perbedaan tegangan antara kedua sisi tersebut (sisi tipe P dan tipe N).

Bila sisi P dan N dihubungkan dengan suatu beban tersebut sehingga dapat diperoleh energi listrik. Karena cahaya menembus kedua lapisan ini, maka akan berbentuk hole elektron. Medan elektrik yang terdapat pada batas lapisan menghalangi lubang (hole) dan elektron yang berkombinasi kembali, dengan demikian alat ini merupakan suatu alat pembangkit listrik kecil yang energinya diperoleh dari cahaya matahari.

Dari prinsip kerja *Solar Cell* di atas: beberapa panel surya/*solar cell* diparalel untuk menghasilkan arus yang lebih besar. *Combiner* pada gambar di atas menghubungkan kaki positif panel surya/*solar cell*s satu dengan panel surya/*solar cell* lainnya.



Gambar 2. 2. Prinsip Kerja *Solar Cell*

Kaki/kutub negatif panel satu dan lainnya juga dihubungkan. Ujung kaki positif

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

panel surya/*solar cell* dihubungkan ke kaki positif charge controller, dan kaki negatif panel surya/*solar cell* dihubungkan ke kaki negative charge controller. Tegangan panel surya/*solar cell* yang dihasilkan akan digunakan oleh *charge controller* untuk mengisi baterai. Untuk menghidupkan beban perangkat AC (*alternating current*) seperti Televisi, Radio, komputer, dll, arus baterai disupply oleh *inverter*.

2.4 Baterai

Baterai adalah alat yang menyimpan daya yang dihasilkan oleh *solar cell* yang tidak segera digunakan oleh beban. Daya yang disimpan dapat digunakan saat periode radiasi matahari rendah atau pada malam hari. Komponen baterai kadang-kadang dinamakan akumulator (*accumulator*). Baterai menyimpan listrik dalam bentuk daya kimia. Baterai yang paling biasa digunakan dalam aplikasi surya adalah baterai yang bebas pemeliharaan bertimbal asam (*maintenance-free lead-acid batteries*), yang juga dinamakan baterai *recombinant* atau VRLA (klep pengatur asam timbal atau *valve regulated lead acid*). Baterai terbentuk oleh sekelompok elemen atau sel yang diletakan secara seri.

Baterai timbal-asam terdiri dari dua elektroda timbal yang berada dalam larutan elektrolit air dan asam sulfat. Perbedaan potensial sekitar 2 volt terjadi di antara elektroda, tergantung pada nilai seketika kondisi penyimpanan baterai. Baterai yang paling umum dalam aplikasi surya *photovoltaic* mempunyai tegangan nominal sebanyak 12 atau 24 volt. Maka sebuah baterai 12 V berisi 6 sel secara seri. Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam sistem *photovoltaic*, yaitu untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak disediakan oleh *array* panel-panel surya, dan untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel setiap kali daya itu melebihi beban.

Jika baterai tidak menyimpan cukup daya untuk memenuhi permintaan selama periode tidak adanya matahari, sistem akan kehabisan daya dan tidak siap memenuhi konsumsi [3]. Di sisi lainnya, memperbesar sistem (dengan menambahkan terlalu banyak panel dan baterai) mahal dan tidak efisien.

Ketika mendesain sistem yang mandiri, perlu mengkompromikan antara biaya komponen dengan ketersediaan daya dari sistem. Satu cara untuk melakukan ini adalah memperkirakan jumlah hari dimana sistem beroperasi secara mandiri. Sebaliknya, jika sistem surya bertanggung jawab atas daya yang menyediakan ke peralatan pelanggan, mungkin dapat mengurangi jumlah hari otonomi sampai satu atau dua hari [3].



Gambar 2. 3. Baterai 12 V, 100 Ah

2.5 Inverter

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak balik (AC). *Inverter* mengkonversi DC dari perangkat seperti batere, panel surya/*solar cell* menjadi AC. Penggunaan inverter dari dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)/Rumah Listrik adalah untuk perangkat yang menggunakan AC (*Alternating Current*) [2].



Gambar 2. 4. *Inverter*

3. Metode Penelitian

3.1 Analisa Kebutuhan

Pada tahap ini akan dibuat sebuah perencanaan *siteplan prototype* sebelum tahap analisa dan studi kelayakan bisnis dan selanjutnya. Lokasi yang direncanakan untuk implementasi rumah listrik berbasis *solar cell*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dengan kapasitas 2400W (*Watt*). Pulau sebesi desa tejang kabupaten lampung selatan, karena daerah ini terletak di sebuah pulau yang belum terjangkau oleh PLN selama 24 jam.

3.2 Model Matematis Perencanaan Sistem

Rumah listrik berbasis *solar cell* sangat bergantung pada sinar matahari, maka dalam instalasinya memerlukan kebutuhan daya seperti:

a. Jumlah daya yang dibutuhkan per hari (*Watt*)
b. Besar arus yang dihasilkan panel (*Ampere hour*)
c. Jumlah unit baterai (*Ampere hour*)

Maka dari ke-3 poin tersebut, dapat diberi persamaan matematis nya:

a. **Jumlah Pemakaian**

$$(ET) = Pbebanx\ n\ x\ lama\ pemakaian$$

Dimana :

n = banyaknya beban/peralatan elektronik yg digunakan

P_{beban}= daya yang dibutuhkan untuk dapat menggunakan peralatan tsb.

Lama pemakaian = lama pemakaian peralatan per hari (dalam satuan jam).

b. **Jenis panel surya,**

Terdapat beberapa jenis dengan daya yang dihasilkan berbeda. Namun, panel surya yang digunakan adalah 260 Wp (*watt peak*) type *policrystaline* dengan perkiraan tersinari matahari selama 5 jam maksimum tenaga surya per hari.

Maka,

Jumlah panel yang dipakai = $\frac{ET}{(260\ x\ 5)}$

c. **Jumlah baterai**

$$(Imax) = \frac{ET}{Vs}$$

Dimana :

Vs = daya baterai (volt/Ampere hour)

3.3 Perhitungan *Solar Cell*

I. Kebutuhan *Solar Cell*

Jumlah *solar cell*s panel yang dibutuhkan, satu panel dihitung 260 Wp (*Watt Peak*, perhitungan adalah 5 jam maksimum tenaga surya): Kebutuhan *solar cell*s panel : (2400 / 260) = 9 panel surya.

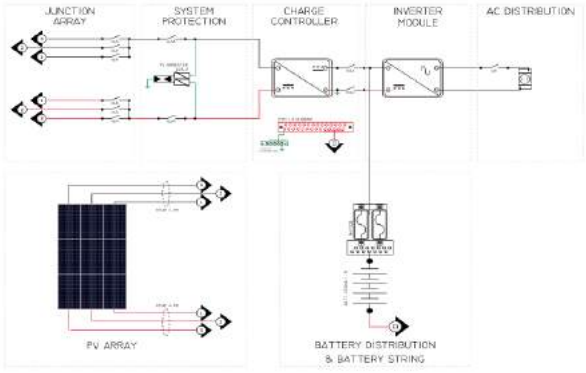
II. Kebutuhan Baterai

Jumlah kebutuhan baterai 12 Volt dengan masing-masing 100 Ah: Kebutuhan baterai minimun (baterai hanya digunakan 50% untuk pemenuhan kebutuhan listrik).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Desain *Wiring* Diagram

Desain *wiring* diagram rumah listrik terlihat pada gambar di bawah ini,



Gambar 4. 1 Desain *Wiring* Diagram

4.2 Desain *Wiring Controller*

Desain *controller* terlihat pada gambar di bawah ini,

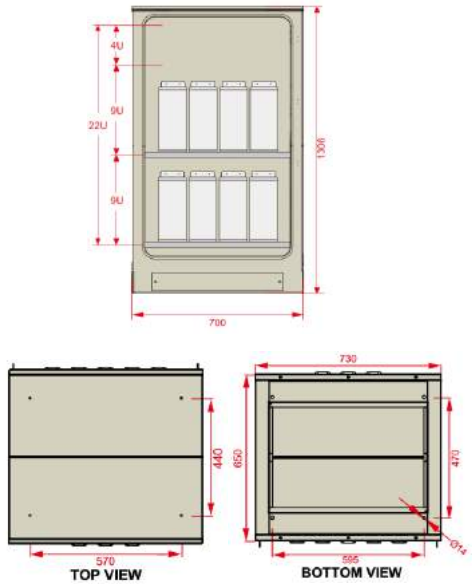


Gambar 4. 2 Desain *Controller*

4.3 Desain *Wiring* Baterai

Desain pengkabelan *baterai* terlihat pada gambar di bawah ini,

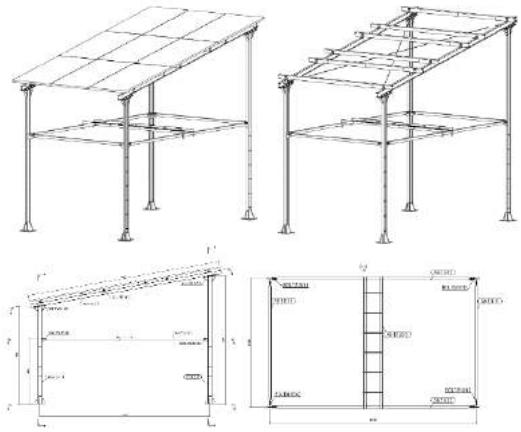
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 4. 3 Desain *Wiring Baterai*

4.4 Desain Rangka Sistem

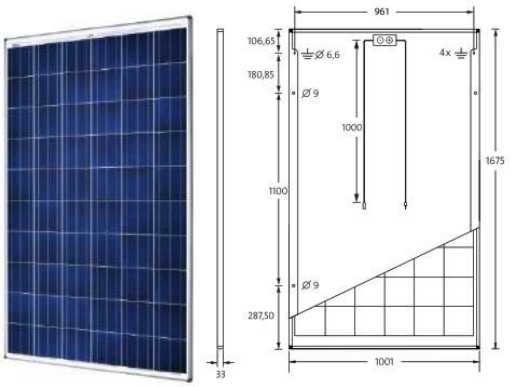
Desain rangka *solar cell* (PV) modul seperti terlihat pada gambar di bawah ini,



Gambar 4. 4 Desain Rangka Pv Modul

4.5 Modul *Photovoltaic* yang digunakan

Jenis modul surya yang digunakan adalah 260 wp type *polycristaline*, sebanyak 9 modul, seperti terlihat pada gambar di bawah ini,



Gambar 4. 5 Modul *Solar cell* type *polycristallin*

4.6 Pemasangan Sistem

Tahapan pemasangan dan implementasi sistem rumah listrik berbasis *solar cell* terlihat pada gambar di bawah ini, panel surya terdiri dari 9 panel.



Gambar 4. 6 Implementasi Rumah Listrik berbasis *Solar Cell*

5. Kesimpulan

Kesimpulan dari paper dengan judul rumah listrik berbasis *solar cell* adalah sbb:

1. Teknologi *Solar Cell* (*Photovoltaic*/PV) adalah teknologi yang memanfaatkan energi surya untuk dikonversikan ke energi listrik dengan menggunakan peralatan yang terbentuk dari bahan semikonduktor (umumnya silikon).
2. Teknologi PV ini pada awalnya ditujukan untuk menggantikan energi bahan bakar fosil yang suatu saat akan habis dan untuk implementasi di daerah-daerah terpencil.
3. Memberikan pengetahuan, pemahaman, dan keterampilan dalam perancangan rumah listrik berbasis *solar cell*.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4. Memberikan kontribusi positif bagi desa tejang pulau sebesi terutama di bidang ketenagalistrikan serta membangun desa berbasis mandiri energi.

6. *Acknowledgements*

Ucapan terima kasih pada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemenristek Dikti), Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan atas sumber dana dan terlaksananya program pengembangan desa mitra tahun anggaran 2018.

DAFTAR PUSTAKA

[1] APERC (2004). *New and Renewable Energy in the APEC Region, Prospects for El ectricity Generation*. Japan, APERC 2004.

[2] Daryanto (2007), Energi: Masalah dan Pemanfaatannya bagi Kehidupan Manusia, 2007.

[3] Junichi Arai, Kenji Iba, Toshihisa Funabashi, Yosuke Nakanishi, Kaoru Koyanagi, Ryuichi Yokoyama (2008). *Power Electronics And Its Applications To Renewable Energy In Japan*. IEEE Circuits And Systems Magazine, Vol.8 Issue.3, 2008.

[4] Martin Galad, Pavol Spanik, (2014). *Design of Photovoltaic Solar Cell Model for Stand-Alone Renewable System*, Elektro, IEEE Conference Publications, 2014

[5] Rislima Sitompul (2011). Teknologi energi terbarukan yang tepat untuk aplikasi di masyarakat pedesaan, PNPM Mandiri.

[6] Profil Sumberdaya Pulau Sebesi, (2002), Desa Tejang Pulau Sebesi, Kecamatan Rajabasa, Kabupaten Lampung Selatan.

[7] Taqwan Thamrin, Erlangga, dan Wiwin Susanty (2017), Design Implementation of a Photovoltaic for Solar Home System, the 4th International Conference of Engineering and Technology Development (ICETD).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Redaksi :
Research Of Information Technology Universitas Bandar Lampung
Gedung Business Center Lt. 2
Jl. Zainal Abidin No. 26 Bandar Lampung
Telp. 0721 - 7746
e-Mail : explorerit@ubl

JARINGAN MIKRO ARUS SEARAH (*DC MICROGRID*) SEBAGAI UPAYA KETERSEDIAAN ENERGI LISTRIK DALAM PENGEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN

Budiyanto[1]
yan.budiyanto@yahoo.com
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Jakarta

Rudy Setiabudy[2]
rudy@eng.ui.ac.id
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Indonesia

ABSTRAK

Pengembangan sumber energi terbarukan merupakan pengembangan sumber energi yang potensial, seperti tenaga angin, matahari, dan sel bahan bakar hidrogen. Pembangkit listrik terdistribusi memberikan solusi atas penggunaan jaringan listrik mikro arus searah (JLMAS), Pengembangan JLMAS akan memberikan konstribusi dalam pengembangan distribusi pembangkitan dari beberapa energi terbarukan dalam mengatasi ketersediaan energi listrik. JLMAS merupakan gabungan dari beberapa energi terbarukan yang menyuplai ke jaringan mikro, yang dapat bekerja bersamaan dengan jaringan distribusi utama melalui konverter dua arah (Biderectional Converter DC-AC) maupun bekerja sendiri dalam jaringan listrik mikro arus searah, makalah ini menjelaskan konsep JLMAS yang dapat diterapkan dalam sistim jaringan distribusi dari beberapa energi terbarukan

Kata kunci : jaringan listrik mikro arus searah, energi terbarukan, pembangkit listrik terdistribusi, konverter dua arah, energi listrik

I. Pendahuluan

Seiring dengan peningkatan kebutuhan energi listrik maka perlu adanya sumber energi yang memadai, lebih – lebih mengingat kandungan sumber energi fosil tidak dapat diperbaharui, energi terbarukan akan menjadi solusi untuk mengatasi keberlangsungan akan kebutuhan energi listrik , hal ini juga akan berdampak pada pengurangan gas emisi (CO_2). Pengembangan sumber energi terbarukan merupakan sumber energi potensial seperti angin, matahari, dan sel bahan bakar hal ini dapat memberikan konstribusi dalam ketersediaan tenaga listrik.

Ekonomi, teknologi, dan lingkungan telah mengubah pola pembangkitan dan penyaluran energi listrik. Pola pembangkitan energi listrik sudah mulai berubah dari pola sentralisasi menjadi pola yang lebih kecil, yaitu pola terdistribusi, hal ini untuk mengurangi adanya rugi-rugi secara ekonomi yang cukup besar. Jaringan listrik mikro (*Microgrid*) merupakan salah satu pola pembangkitan terdistribusi yang bisa melingkupi berbagai macam sumber energi, mulai dari sumber fosil, maupun sumber energi terbarukan seperti angin, matahari, biogas.

Konsep jaringan listrik mikro (*microgrid*) petama dikembangkan oleh R,H.Lassete pada 2002, yaitu merupakan pola pembangkitan terdistribusi yang melingkupi berbagai macam sumber energi, mulai dari sumber energi fosil, maupun sumber energi terbarukan seperti: sel surya, angin, dan biogas. Jaringan listrik mikro merupakan sistem jaringan interkoneksi dari berbagai macam sumber energi yang terdistribusi kedalam suatu jaringan kecil yang dapat beroperasi secara mandiri maupun terhubung ke jaringan jaringan utama (PLN) [1,2].

Jaringan listrik mikro arus serah (JLMAS) adalah suatu jaringan yang disuplai oleh beberapa pembangkit terdistribusi (*distributed generation*/DG) yang berskala kecil, jaringan listrik mikro terletak di sekitar pusat beban, yang dapat memenuhi kebutuhan sendiri dan dapat mensuplai ke jaringan utama dengan memperhatikan kesetabilan dan

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

keandalan sistem yang ada [3]. Beberapa tahun terahir jaringan listrik mikro arus searah telah diusulkan untuk menandingi jaringan listrik arus bolak balik [4]. Beberapa keuntungan dari jaringan listrik mikro arus searah [5]:

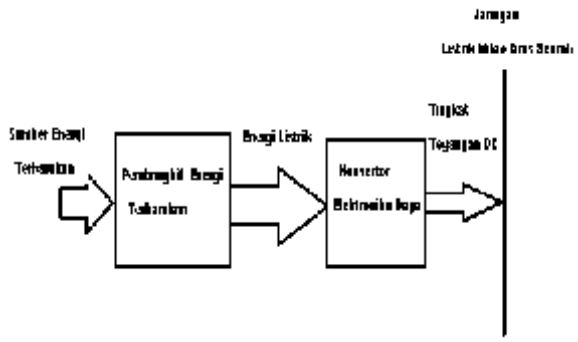
a. Efesienensi yang tingi; Jaringan listrik mikro arus searah dapat mengurangi tahap konversi dari konvertor sehingga mempunyai efesiensi yang tinggi.
b. Stabilitas yang lebih baik; Tidak dibutuhkan sinkroniksasi yang menyebabkan osilasi seperti pada jaringan listrik mikro arus bolak – balik.
c. Kualitas daya yang baik; Jaringan listrik mikro arus serah tidak mengirimkan daya rektif sehingga kualitas daya lebih baik.
d. Kehandalan yang tinggi; Jaringan listrik mikro arus searah mempunyai komponen yang lebih sedikit, sehingga memiliki waktu yang lebih singkat bila sistem mengalami kegagalan hal ini menjadikan sistem mempunyai kehandalan yang tinggi.

Jaringan listrik mikro arus searah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan daya listrik yang meningkat seiring dengan pengembangan sistem jaringan mikro. Jaringan listrik mikro akan ekonomis bila digunakan untuk memasok daya listrik di daerah yang terisolasi seperti, pegunungan dan daerah terpencil. Jaringan listrik mikro arus searah dapat menghilangkan konvertor DC-AC atau AC –DC sehingga didapat efesiensi yang tinggi, biaya yang rendah dan jarak jaringan yang pendek.

JLMAS menggunakan pembangkit yang ramah lingkungan dengan menggunakan sumber arus searah, demikian juga pada peralatan – peralatan beban juga menggunakan arus searah seperti pada peralatan elektronik dan digital. Sistem jaringan listrik mikro arus searah dibangun seperti layaknya sistem tenaga listrik yang ada, bagian dari sistem jaringan listrik mikro terdiri dari [6]:

a. Pembangkit tenaga atau pembangkit terdistribusi
b. Konvertor
c. Beban
d. Unit penyimpan energi
e. Jaringan transmisi
f. Sistim pengendali dan saluran komunikasi

Diagram jaringan listrik mikro arus searah dapat dilihat seperti pada Gambar 1. di bawah ini



Gambar 1. Diagram Jaringan Listrik Mikro Arus Searah [6]

2. Pembangkit Terdistribusi

Kebijakan tentang lingkungan terhadap utilitas listrik pada abad 21 merupakan sebuah tantangan dan sebuah kesempatan untuk pengembangan teknologi dan operasi kerja utilitas listrik. Hal ini akan memicu minat terhadap pembangkit terdistribusi (*distributed generation*/DG) untuk tahun-tahun mendatang. Perubahan struktur utilitas listrik telah membuka pintu persaingan pasar pembangkit dan pendistribusian tenaga listrik. Utilitas listrik sekarang mencari teknologi terbaru untuk menyediakan kualitas daya yang bagus dan handal untuk para pelanggannya. Pilihan pada pembangkit tenaga listrik non-konvensional skala kecil sekarang menjadi lebih menarik perhatian bagi utilitas listrik karena teknologi ini menghasilkan energi listrik dengan dampak pencemaran lingkungan yang rendah, mudah penggunaannya dilapangan, dan sangat efisien.

Model pembangkit terdistribusi seperti sel surya, turbin angin, sel bahan bakar, dan mikro turbin dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam sistim tenaga listrik, jenis pembangkit distribusi tidak membutuhkan investasi yang besar, rugi – ruginya kecil, efisiensi tinggi dan kehandalan yang tinggi. Pembangkit ini dapat digunakan pada jaringan listrik mikro yang dianggap sebagai teknik penyelesaian stuktur jaringan utama yang rumit, dan merupakan bagian dari pensuplai daya ke jaringan utama. Pembangkit terdistribusi mempunyai kelemahan yaitu kapasitas pembangkitanya kecil dibanding dengan pembangkit konvesional. Kelemahan ini dapat dipecahkan dengan memasang beberapa pembangkit distribusi kedalam jaringan listrik mikro yang dapat dihubungkan ke jaringan utama. Jaringan listrik mikro bukan bagian dari jaringan utama, karena bila jaringan utama di suplai oleh pembangkit distribusi maka akan timbul hubung singkat, persolan monitoring rel-time, dan pengendali sistem. Untuk mengatasi persoalan tersebut dibuatlah bus arus searah (DC bus) untuk menggabungkan suplai pembangkit terdistribusi, gabungan dari beberapa pembangkit distribusi kedalam jaringan kecil disebut jaringan listrik mikro arus searah. [7].

Sistem DG dapat menggunakan sumber energi terbarukan maupun sumber energi konvensional. Teknologi yang menggunakan sumber-sumber energi konvensional antara lain turbin gas, dan mikro-turbin. Perhatian terhadap perubahan iklim global, efek rumah kaca, dan dampak lingkungan yang bersih menjadikan ketertarikan terhadap sistem DG dari energi terbarukan banyak diminati. Saat ini kemajuan teknologi membuat persaingan harga antara teknologi energi terbarukan dengan teknologi konvensional. Banyak macam teknologi baru dari DG yang menggunakan sumber energi terbarukan, saat ini sumber energi terbarukan yang mempunyai prospek menjanjikan yaitu sistem konversi tenaga angin ke listrik (*Wind electric conversion system* WECS), sistem geotermal (panas bumi), sistem *solar-thermal-electric*,system *photovoltaic* (PV), dan sistem sel bahan bakar.[8].

Penggunaan sistem pembangkit DG pada jaringan distribusi yang ada, akan memberikan keuntungan terhadap utilitas listrik, pelanggan, dan masyarakat [9]

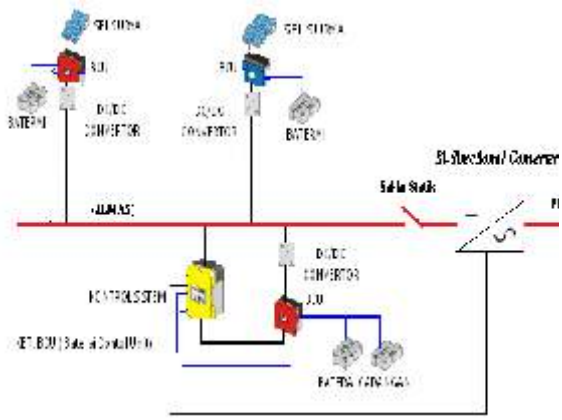
a. Keuntungan terhadap utilitas listrik adalah antara lain mengurangi rugi-rugi pada jaringan dan rugi-rugi pada transformator serta mengurangi dampak terhadap lingkungan, mengurangi gangguan pada sistem transmisi dan distribusi, meningkatkan kehandalan sistem, meningkatkan kualitas daya, dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem.
b. Keuntungan terhadap pelanggan atas pengunaan sistem DG adalah mendapatkan kualitas daya yang baik dan handal dengan biaya yang lebih murah dan dengan dampak polusi terhadap lingkungan yang sedikit.

Dan keuntungan terhadap masyarakat secara keseluruhan dari penggunaan DG yaitu lingkungan yang lebih baik, produktivitas yang tinggi, dan efisien dalam menggunakan sumber energi yang tersedia

3. Perancangan JLMAS

Penelitian ini membuat suatu rancang bangun (prototype) jaringan listrik mikro arus searah (JLMAS) yang dilengkapi dengan sistem pengendali terkordinasi dari masing – masing pembangkit, pembangkit yang digunakan terdiri dari dua sumber energi terbarukan dan satu buah unit baterai cadangan (storage battery), sedangkan apabila baterai cadangan mengalamai kekurangan energi maka PLN mensuplai JLMAS dan baterai cadangan. Diagram JLMAS dapat dilihat pada Gambar 2

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

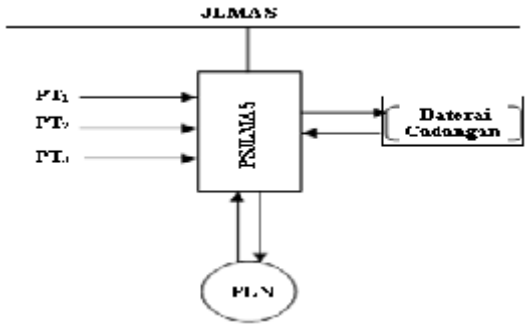


Gambar 2. Diagram JLMAS

Sistem ini terdiri dari :

- 2 (dua) pembangkit enegi terbarukan yaitu sel surya.
- 3 (tiga) unit pengendali pengisi baterai (*battery control unit*).
- 1 (satu) unit pengendali jaringan listrik mikro arus searah (PSJLMAS)
- 1 (satu) unit baterai cadangan (*battery storage*)
- 3 (tiga) unit konverter DC-DC
- 1 (satu) unit konverter dua arah (*Bi-derectional converter*)

Dalam penelitian ini energi terbarukan yang digunakan sebagai pembangkit adalah sel surya dimana fungsinya sebagai pembangkit listrik tenaga matahari, untuk mengatur pengisian baterai dan suplai beban digunakan unit pengendali baterai (*battery control unit*), sedangkan untuk menaikan tegangan arus searah digunakan konverter DC-DC dari 12 Vdc- 254 Vdc, bila baterai cadangan mengalami kekurangan pasokan dari energi terbarukan maka melalui konverter dua arah akan disuplai dari PLN sedangkan bila kelebihan pasokan energi akan dikirim ke PLN. Sistem kerja JLMAS dapat dikendalikan secara terintegrasi sehingga keandalan sistem dapat terjamin dari pasokan daya listrik. Kerja dari JLMAS dapat dilihat pada blok diagram Gambar 3.

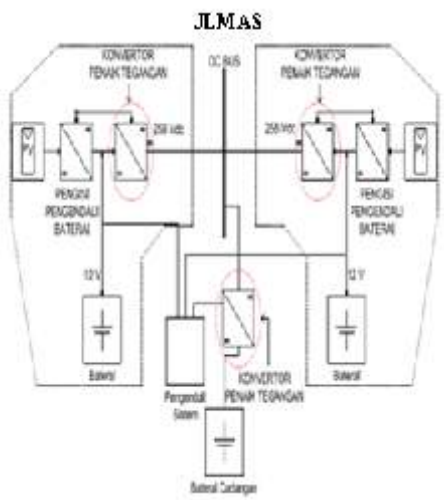


Gambar 3. Sistem Kerja JLMAS

Dimana :

- PT_1 = Keluaran tegangan baterai sel surya 1
- PT_2 = Keluaran tegangan baterai sel surya 2
- PT_3= Keluaran tegangan baterai cadangan
- PSJLMAS = Pengendali sistem jaringan listrik mikro arus searah

Sistem Jaringan JLMAS dibangkitkan oleh dua buah sumber energi terbarukan yaitu sel surya dan satu baterai cadangan. Sistem JLMAS ini dilengkapi dengan sistim pengendali agar pasokan daya listrik pada JLMAS tetap mendapat suplai daya, walaupun salah satu atau dua sumber energi terbarukan mengalami penurunan pasokan energi atau kegagalan. Sistem JLMAS akan tetap tersuplai oleh baterai cadangan sehingga JLMAS tetap beroperasi. Bilamana baterai cadangan mengalami kekurangan pasokan energi maka PLN akan mensuplai JLMAS, implementasi dari sistem JLMAS dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5



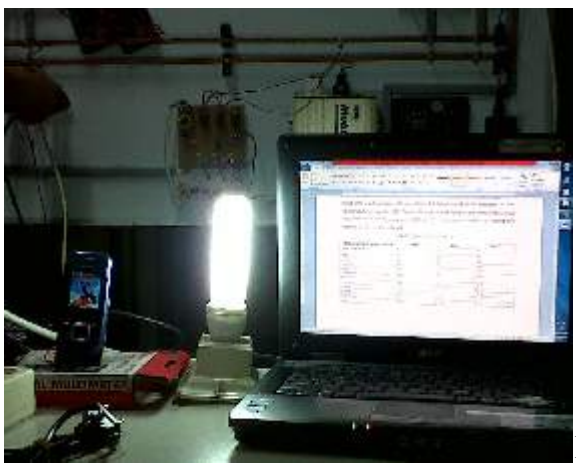
Gambar 4. Skema rangkaian JLMAS



Gambar 5. Prototype JLMAS

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Beban yang digunakan dalam pengujian JLMAS adalah beban yang di gunakan dalam sistem arus bolak – balik yaitu beban jenis adaptor swiching (*switch mode power supplay* /SMPS), beban – beban ini bekerja dalam batas tegangan 100 – 240 Vac, seperti Gambar 6. Hasil pengamatan jenis beban- beban dapat bekerja dengan baik pada tegangan konstan



Gambar 6. Beban – beban SMPS

Dalam experimen ini sel surya disimulasikan dengan menggunakan power suplai yang mensuplai beban dan mengisi baterai melalui unit pengisi baterai (BCU), beban yang digunakan adalah lampu hemat energi yang dinaikan arusnya mulai dari 0,03 A sampai 0,35 A, Hasil tegangan dan arus pada masing – masing pembangkit sel surya 1 dan sel surya 2, serta pada baterai cadangan dapat di lihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

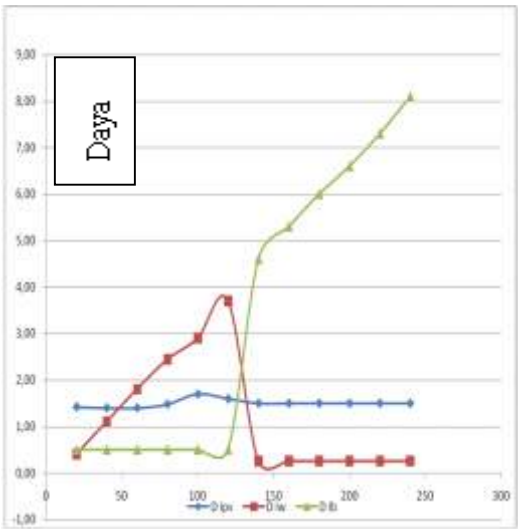
Tabel 1. Arus dan Tegangan Baterai Cadangan

Beban (W)		Baterai Cadangan	
Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tega ngan (V)
0,03	253,4	0,5	13
0,06	253,4	0,5	13
0,09	253,4	0,5	13
0,11	253,4	0,5	13
0,15	253,4	0,5	13
0,17	253,4	0,5	13
0,2	254,7	4,6	13
0,23	254,7	5,3	13
0,26	254,6	6	13
0,29	254,6	6,6	13
0,32	254,6	7,3	13
0,35	254,6	8,1	13

Tabel 2. Arus dan Tegangan Pada Sel Surya

Sel surya 1		Sel surya 2	
Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)
1,42	12,51	0,4	13,54
1,4	12,52	1,1	12,8
1,4	12,53	1,8	12,4
1,48	12,49	2,44	12,15
1,7	12,61	2,9	12,15
1,6	12,58	3,7	11,8
1,5	12,62	0,25	13,05
1,5	12,62	0,25	13,32
1,5	12,59	0,25	13,4
1,5	12,57	0,25	13,43
1,5	12,56	0,25	13,41
1,5	12,55	0,25	13,36

Dari hasil simulasi tersebut didapatkan Grafik dari ketiga sumber, sel surya1 (Ip), sel surya 2 (Iw) dan baterai cadanga (Ibc), seperti terlihat dalam Gambar 7.



Ipv, Iw dan Ib (A)

Gambar 7. Grafik P Vs Ipv,Iw, Ibc

Dari hasil experimen yang ditunjukan dalam Tabel 2, dan Gambar 7 bahwa sel surya 1 mensulai beban relatif konstan, hal ini dikarenakan kemampuan dari power suplai konstan, dan kapasitas baterai juga maksimum, sehingga mampu untuk mensuplai beban dan baterai. Pengendali akan bekerja apabila baterai pada sel surya mengalami penurunan sampai 10 V, sehingga baterai cadangan akan bekerja.

Sedangkan pada sel surya 2 kemampuan dari power suplai mengalami penurunan, dan beban bertambah besar melebihi kemampuan power suplai, sehingga baterai pada turbin juga mensuplai beban, saat penurunan tegangan baterai mencapai 10 V, maka terdeteksi oleh sensor tegangan meskipun waktunya relatif singkat, sehingga baterai cadangan bekerja. Baterai cadangan tetap akan mensuplai ke JLMAS sampai tegangan pada baterai turbin angin mencapai batas atas dari setting yaitu sebesar 13,6 V.

Tegangan dari JLMAS yang dihasilkan dalam Tabel 1. relatif konstan dari berbagai kondisi hal ini dikarenakan pada konvertor DC tegangan masukan 10 – 13 Vdc menghasilkan tegangan keluaran konstan sebesar 254 Vdc, sehingga perlu dijaga tegangan sisi masukan konvertor. Dengan adanya sistem pengendali yang menjaga tegangan masukan pada konvertor maka tegangan keluaran atau JLMAS menjadi konstan.

5. Simpulan

Sistem JLMS akan membuka peluang dalam pengembangan energi terbarukan, mengingat sumber energi terbarukan lebih banyak menghasilkan tegangan arus searah.

Pengunaan konverter dc-dc akan menghemat luasan sel surya yang dibutuhkan karena berfungsi menaikan tegangan sel surya yang lebih besar.

Tegangan arus serah yang dihasilkan dari pembangkit energi terbarukan akan lebih mudah di paralel dengan jaringan listrik mikro arus searah, sehingga tidak perlu sinkronisasi.

Dengan adanya konveter dua arah maka JLMAS dapat bekerja berdampingan dengan sistem jaringan listrik mikro arus bolak- balik.

Tegangan yang dihasilkan dalam sistem JLMAS konstan, yaitu sebesar 254 Vdc, karena dijaga oleh keluaran konveter dc-dc.

6. Daftar Pustaka

1. Lasseter, R.,(2002), MicroGrids. IEEE PES Winter Meeting,. Vol.1, pp.305-308
2. Lasseter, R.H.; Paigi, P.,(2004), Microgrid: A Conceptual Solution. Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual. German 20-25 June 2004. Vol.6, pp.4285-4290
3. Xiaofeng Sun; Zhizhen Lian;Baocheng Wang; Xin Li," A Hybrid Renewable DC Microgrid Voltage Control". Power Electronics and Motion Control Conference, 2009. IPEMC '09. IEEE 6th International, 2009. Page(s): 725 - 729
4. Kakigano, H.; Miura, Y.; Ise, T.; Configuration and control of a DC microgrid for residential houses "Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, 2009 Digital Object Identifier:10.1109/TDASIA.2009.5356837 Publication Year: 2009 , Page(s): 1 – 4

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

5. DC zonal micro-grid architecture and control, IEEE,2008
6. Piotr Biczel; Lukas Michalski," Simuling Model of Power Electronic Converters for DC Microgrid Simulation, '. Power Quality, Alternative Energy and Distributed System, IEEE 2009
7. Hiroaki Kakigano, Yushi Miura, Toshifumi Ise and Ryohei Uchida, DC Micro-grid for Super HighQualityDistribution-System Configuration and Control of Distributed Generations and Energy Storage Devices". 37th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Korea, 2006, pp. 3148-3154
8. Ramakumar.R.Chiradeja.P.,"Distri buted Generation and Renewable Energy Systems," Energy Conversion Engineering Conference, 2002. IECEC '02. 2002 37th .
9. Chiradeja, P.. and Ramakumar, R. "Benefits of Distributed Generation-A Simple Case Study." Paper presented at 32* Annual Frontiers of Power Conference, Stillwater, OK, pp. X 1-9, October 1999

PERPUSTAKAAN NASIONAL

KAJI EKSPERIMENTAL MESIN STIRLING TIPE β MENGGUNAKAN VARIASI BAHAN BAKAR BIOMASSA

Fenoria Putri[1)], **Dwi Arnoldi**[2)], **Dicky Seprianto**[3)]
[1)2)3)]Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139 Telp: 0711-353414 Fax: 0711-453211
E-mail: putripolsri@gmail.com

Abstrak

Dengan latar belakang semakin menipisnya cadangan bahan bakar mineral, maka tujuan jangka panjang dari penelitian ini adalah memberikan solusi alternatif untuk mendapatkan energi mekanik yang tidak bergantung dengan bahan bakar mineral. Target khusus yang ingin dicapai adalah sosialisasi pemakaian bahan bakar nabati (biomassa) yang bersifat tarbarui (renewable). Metode yang dikembangkan adalah pemanfaatan Energi kalor dari pembakaran Biomassa untuk menggerakkan mesin Stirling. Penelitian ini bersifat Induktif dengan metode Kaji Eksperimental. Penelitian dimulai dengan melakukan Rancang bangun satu unit prototipe mesin Stirling tipe β satu silinder dengan kapasitas 5000 cc, dilanjutkan dengan melakukan pengujian mesin. Prototipe sudah diujicobakan beroperasi dengan tiga jenis bahan bakar biomassa, yaitu: gas hasil fermentasi ampas tebu, gas hasil fermentasi sampah basah serta api hasil pembakaran serbuk kayu gergajian dengan hasil sebagai berikut:.

- *Gas hasil fermetasi ampas tebu, menghasilkan data-data: putaran optimum mesin 950 rpm, daya spsifik 456 Watt/kg b bakar dan efisiensi 23 %*
- *Gas hasil fermetasi sampah basah, menghasilkan data-data: putaran optimum mesin 720 rpm, daya spsifik 405 Watt/kg b bakar dan efisiensi 21%*
- *Serbuk kayu gergajian, menghasilkan data-data: putaran optimum mesin 680 rpm, daya spsifik 324 Watt/kg b bakar dan efisiensi 21%*

Kata kunci *: Mesin Stirling, Energi terbarukan, pembakaran luar*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cadangan bahan bakar mineral, yang meliputi minyak bumi(BBM), Gas alam serta batu bara, kian lama kian menipis. Bahan bakar tersebut sudah lama dikenal masayarakat dunia sebagai sumber energi kalor yang mudah didapatkan serta mudah dipakai pada mesin-mesin konversi energi kalor-mekanik: motor Diesel, motor bensin, turbin gas dan sistem tenaga uap. Di sisi lain keperluan industri akan sumber energi kalor yang dapat dikonversikan menjadi energi mekanik semakin meningkat. Dampak dari penomena ini adalah: tidak lama lagi bahan bakar mineral akan habis. Beberapa solusi yang telah dikembangkan antara lain pemanfaatan energi alam (air terjun, panas bumi, angin serta sinar matahari). Akan tetapi hal tersebut masih belum sepenuhnya dapat tersosialisasi karena masih menemui beberapa permasalahan, antara lain: biaya awal yang mahal, kurang praktis serta tidak konstan karena bergantung pada iklim/cuaca. Sementara itu pemakaian energi nuklir juga belum dapat diterima sepenuhnya oleh masyarakat, disebabkan bahaya radiasi sebagaimana bom niklir yang terjadi di Hiroshima pada tahun 1945 yang lalu. Data statistik untuk pemakaian energi di Indonesia 15 tahun terakhir, dalam satuan Giga Jouler (GJ) dapat dilihat pada tabel berikut :

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1. Pemakaian Energi di Indonesia*

Jenis pemakaian	Tahun 1995-2000	Tahun 2000-2005	Tahun 2005-2010
Industri	178 x 10^6 GJ (45 %)	193 x 10^6 GJ (47 %)	215 x 10^6 GJ (46 %)
Transportasi	124 x 10^6 GJ (37 %)	131 x 10^6 GJ (38 %)	139 x 10^6 GJ (38 %)
Rumah tangga	78 x 10^6 GJ (18%)	82 x 10^6 GJ (15 %)	88 x 10^6 GJ (16 %)
Total	380 x 10^6 GJ	406 x 10^6 GJ	442 x 10^6 GJ

*Data dari: Buletin ESDM, Januari 2011 melelui website: http/www/esdm.inf.ktyu.go.id/

Di sisi lain, cadangan bahan bakar mineral dunia, jika dieksplorasi tanpa batas, akan habis dalam waktu: 65 tahun (untuk BBM) dan 150 tahun (batu bara). Pemakaian enrgi alam yang lain, seperti Sinar matahari, angin serta air terjun, masih terkendala pada kontinyuitas serta investasi awal yang mahal. Alternatif lain yang masih menimbulkan pro dan kontra adalah pemakain energi kalor hasil proses reaksi fusi dan fisi atom yang umum disebut energi nuklir. Solusi ini masih belum sepenuhnya dapat diimplementasikan mengingat dampak negatif yang ditimbulkan jika terjadi kegagalan. Kasus ledakan rekator nuklir Chernobyll (1979) dan yang terakhir dampak gempa bumi pada reaktor Fukushima di Jepang (Februari, 2011) hingga saat ini masih menghantui masyarakat akan dampak bahaya radiasi yang ditimbulkan.

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya (Widagdo, T, 1998), yang memiliki obyek penelitian Mesin Stirling tipe α dan dioperasikan dengan bahan bakar bakar batu bara. Tujuan khusus yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan Korelasi Impirik dari Variabel-variabel penelitian yang sudah ditetapkan pada penelitian ini. Variabel-variabel penelitian yang berkaitan langsung dengan kinerja mesin adalah: daya mesin, putaran optimum, efisiensi serta daya spesifik mesin. Sedang variabel lain yang tidak berhubungan lengsung dengan kinerja mesin antara lain: getaran, kebisingan serta polutan yang dihasilkan dari proses pembakaran mesin. Prototipe akan diujicobakan beroperasi dengan tiga jenis bahan bakar biomassa, yaitu: gas hasil fermentasi ampas tebu, gas hasil fermentasi sampah basah serta api hasil pembakaran serbuk kayu gergajian.

Kegitan tersebut merupakan implementasi dari pemanfaatan energi kalor yang berasal dari pembakaran matrial nabati (Biomassa). Sebagaimana diketahui bahwa biomassa adalah bahan bakar yang bersifat *renewable,* berasal dari tumbuh-tumbuhan dan ketersediannya tidak terbatas. Luaran penelitian terdiri dari:

- Laporan Penelitian yang berupa *hard copy* yang akan didistribusikan ke beberapa perpustakaan di Indonesia
- Laporan penelitian dalam bentuk *soft copy* yang akan diunggah ke internet melelui website: polsri.co.id
- Artikel ilmiah yang akan dipublikasikan melalui jurnal dan majalah ilmiah
- Data-data penelitian yang dapat dijadikan referensi bagi para peneliti lain untuk kegiatan penelitian sejenis
- Perangkat keras dalam bentuk rancang bangun mesin Stirling tipe **β** dilengkapi dengan SOP (*Satndard Operation Prosedure)* untuk pengoperasian mesin. Bermanfaat sebagai materi ajar mahasiswa pada disiplin ilmu Konversi Energi Kalor-Mekanik

Informasi yang akan dipublikasikan diusahakan bersifat lugas, logis dan runut, sehingga mudah dimengerti oleh masyarakat umum yang *concern* pada perkembangan teknologi, meliputi: dosen, peneliti maupun para mahasiswa

2.1 Perumusan Masalah

Keutamaan (*Urgency*) penelitian terletak pada pemanfaatan energi kalor (panas) yang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar nabati (biomassa), dimana bahan bakar tersebut tidak dapat dimanfaatkan oleh mesin pembengkit daya yang ada selama ini. Beberapa biomassa yang sudah dipakai secara komesial, seperti biodiesel, biopremium, *black liquor* dan lain-lain, masih terbatas pada pemakaiannya. Karena mereka dioperasikan sebagai bahan bakar pengganti untuk mesin yang selama ini dioperasikan menggunakan bahan bakar mineral. Material biomassa yang akan dijadikan sumber energi kalor antara lain:

- Gas hasil fermentasi sampah basah (Perry, 2001) yang sudah dimurnikan memiliki komposisi: gas Metana (CH_4): 85 %, gas Etana (C_2H_6): 6,6 %, gas

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

sulfur dioksida (SO_2): 4,4% dan sisanya uap air (H_2O). Memiliki kandungan kalor, HCV: 6500 s/d 7200 kcal/kg. Gas ini dapat diperoleh dangan cara mencampurkan sampah basah (sisa sayuran dan buah) dengan bakteri pengurai Mollitneae Cocus, selanjutnya sampah basah dimasukkan ke dalam ruang kedap udara dengan durasi sekitar 3 hari. Proses pemurnian dilakukan untuk menurunkan kandungan air dan oksigen. Untuk penyimpanan, gas dapat dicairkan dengan cara menambahkan bahan Azeotrop selanjutnya dapat ditampung didalam tabung gas LPG..

- Ampas tebu (Baggasse). Di Indonesia banyak pabrik gula dengan limbah padat berupa ampas tebu. Untuk memusnahkannya, limbah dibakar atau dipendam dalam tanah. Ampas tebu memiliki nilai kalor, HCV : 5500 s/d 6700 kcal/kg.
- Serbuk kayu. Banyak dijumpai di perusahaan penggergajian, maupun pengrajin ukiran kayu, sebagai limbah padat. Pemanfaatan yang sering dijumpai di masyarakat adalah sebagai media tanam jamur maupun anggrek, namun njumlahnya sangat sedikit. Sebagaian besar dibuang ke sungai, dipendam mdalam tanah maupun dibakar. Pembakaran serbuk kayu akan menghasilkan energi kalor: 5700 s/d 9800 kcal/kg (tergantung dari jenis kayu) kayu Ni tersebut dibakar (Perry, 2001)

Untuk meningkatkan kinerja (*Perfomansi,),* mesin hasil rancang bangun akan dioperasikan dengan tiga jenis fluida, masing masing: Amonia, Eter dan Air. Ketika fluida kerja beroperasi di dalam mesin, dikondisikan fluida akan terjadi perubahan fasa cair-gas atau sebaliknya. Kondisi ini bertujuan untuk meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi dari silinder mesin ke fluida kerja atau sebaliknya. Kinerja mesin ditunjukkan oleh daya spesifik dan efisiensi mesin.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan Penelitian

Penelitin ini memiliki nilai kebaharuan pada metode pemamanfaatan bahan bakar Biomassa. Jika mesin mesin penghasil daya yang ada di masyarakat bekerja dengan prinsip pembakaran dalam (*Internal combustion),* maka prinsip pemanfaatan energi kalor hasil pembakaran yang dikembangkan, pada mesin Stirling, adalah pembakaran luar (*External combustion).* Prototipe mesin Stirling hasil rancang bangun akan bersifat *mobile* sehingga sesuai untuk dipakai sebagai penggerak kendaraan bermotor.

Studi pendahuluan untuk mendukung penelitian ini meliputi kaji pustaka, penelusuran jurnal serta kaji eksperimental yang berkaitan dengan rancang bangun mesin Stirling yang akan dilaksanakan.

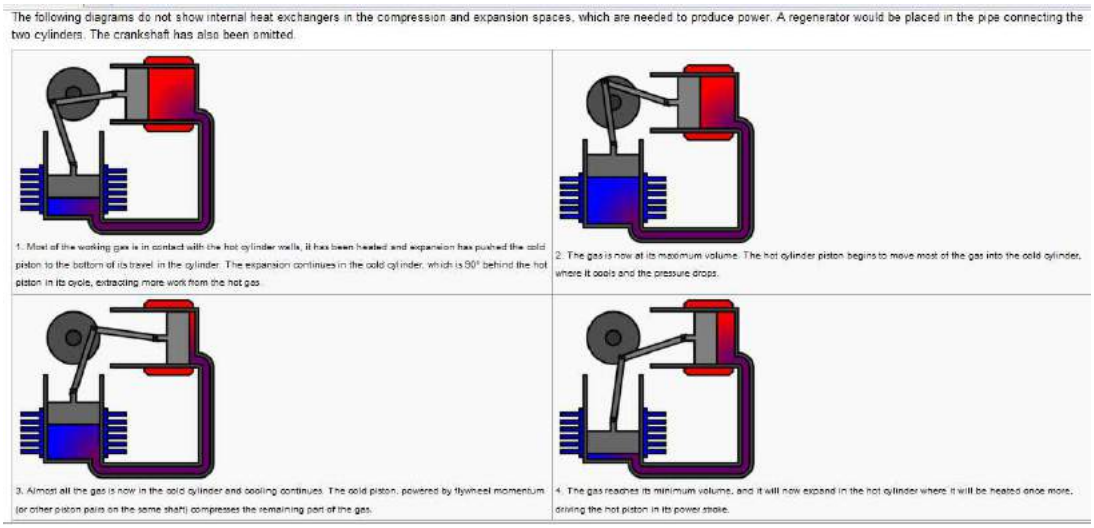
Mesin Stirling diciptakan pertama kali pada tahun 1816 oleh ilmuwan Inggris bernama Robert Stirling, 40 tahun setelah diciptakannya mesin uap torak oleh James Watt (1786). Mesin ini bekerja atas dasar pemanfaatan energi kalor temperatur tinggi menjadi enegi mekanik (power) dengan prinsip pembakaran luar (*Extenal Combustion Engines).* Sebagaimana mesin pembangkit daya yang lain, mesin Stirling juga mengacu pada siklus Carnot (Kent's, 1987). Pada awal ditemukannya, mesin Stirling dioperasikan menggunakan fluida kerja pada fasa gas sehingga memilki perfomansi rendah.

Perkembangan teknologi serta tuntutan konsumen, pada tahun 1923 mesin Stirling kalah berkompetisi dengan mesin Diesel dan mesin bensin yang bekerja dengan prinsip pembakaran dalam (*Internal Combustion Engines).* Kedua jenis mesin tersebut memiliki kelebihan darti segi efisiensi serta daya spesifik yang lebih baik. Bentuknya yang kompak sehingga sangat sesuai untuk dipakai sebagai mesin penggerak kendaraan bermotor. Akan tetapi mesin Disesl dan mesin bensin memiliki kekurangan dari segi konsumsi bahan bakar yang sangat tergantung dari jenis bahan bakar minyak BBM.

Berdasarkan prinsip kerjanya, mesin Stirling dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

a. Tipe α, terdiri dari dua silinder yang masing-masing berperan sebagai silinder panas dan silinder dingin. Kedua silinder membentuk sudut 90^0 dan torak yang terdapat didalamnya dihubungkan oleh batang penghubung ke satu titik yang ada pada poros engkol.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA



Gambar 1 : Mekanisme Mesin Stirling Tipe α

Poros engkol berputar searah jarum jam. Pemanasan fluida kerja terjadi pada silinder panas, sedangkan pada silider dingin fluid kerja didinginkan menggunakan udara bebas. Prisip kerja mesin dimulai dengan posisi 1 (kiri atas) dilanjukan dengan posisi 2,3 dan 4 secara runut.

- Posisi 1 (kanan atas, sudut 0^0) : Gas suhu tinggi dari silinder panas mengalir ke silinder dingin, selanjutnya gas mulai didinginkan sehingga mengalami penurunan tekanan. Gerakan poros engkol terjadi karena kelambaban massa dari kerja sebelumnya.
- Posisi 2 (kiri atas, sudut 90^0): Gas mengalami pendinginan maksimum dan menarik torak panas ke arah kanan pada saat yang sama torak dingin dalam posisi berhenti dan tidak bisa mengambil kerja dari proses tersebut. Gerakan poros engkol terjadi dengan memanfaatkan kelambaman massa.
- Posisi 3 (kiri bawah, sudut 180^0): Gas mulai dipanskan pada silinder panas akan tetapi belum mengalami kenaikan tekanan yang signifikan sehingga belum menhasilkan kerja. Gerakan poros engkol terjadi dengan memanfaatkan kelambaman massa.
- Posisi 4 (kanan bawah, sudut 270^0): Sebagian besar gas dipanaskan di silinder panas, gas mengalami kenaikan tekanan dan menekan torak panas kearah kiri (menghasilkan kerja), pada saat yang sama piston dingin pada posisi *lock.*

b. Tipe β, terdiri dari satu silinder yang dipisahkan oleh bahan isolatif. Dibagian atas berfungsi sebagai silinder dingin yang di dalamnya terdapat torak daya (*power piston),* sedang di bagian bawah adalah silinder panas yang di dalamnya terdapat torak peluncur (*displacer piston)*.

Poros engkol berputar searah jarum jam. Torak daya dibuat rapat (tanpa kebocoran) baik terhadap silinder maupun batang torak. Torak peluncur diberi celah dengan ukuran tertentu dengan tujuan untuk dapat memindahkan fluida dari silinder panas ke silinder dingin atau sebaliknya. Batang torak dari kedua silinder membentuk sudut 90^0 pada poros engkol.

Prinsip kerja mesin dimulai dari posisi paling kiri adalah sebagai berikut:

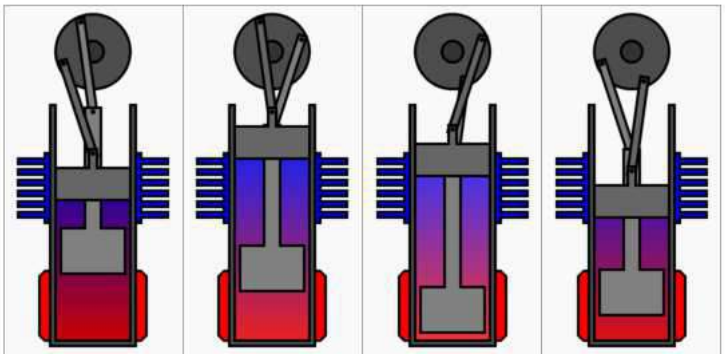
- posisi 1: Torak daya menurunkan volume fluida suhu rendah, torak peluncur memindahkan sebagian besar fluida ke silinder panas. Gerakan poros engkol memanfaatkan kelembaman massa.
- Posisi 2: Fluida dipanaskan di dalam silinder panas, mengalami kenaikan tekanan serta menekan torak daya ke posisi akhir gerakan. Ini ada;ah proses kerja satu-satunya yang terjadi.
- Posisi 3: Torak peluncur turun ke bawah dan memindahkan sebagian nbeasr fluida ke silinder dingin. Gerakan poros engkol memanfaatkan kelembaman massa.
- Posisi 4: Fluida dingin dikompres oleh momentum poros engkol. Daya yang diperlukan untuk ini kecil mengingat fluida pada suhu dan tekananan rendah.

Kedua tipe mesin Stirling, jika dibandingkn, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Atas dasar

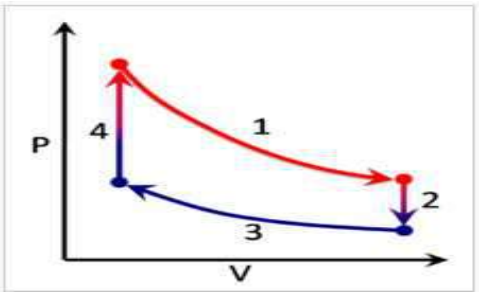
PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

aspek konstruksi maka pada penelitian ini dipilih mesin Stirling tipe β

Siklus termodinamika mesin Stirling secara umum sama dengan siklus termodinamika motor bakar torak, hanya sistem pemasukan energi kalor pada mesin Stirling terjadi dari luar silinder (*External omustion Engines)*, sedangkan pada motor bakar torak terjadi dari dalam silinder(*Internal Combustion Engines)*. Siklus selengkapnya dapat dilihat pada diagram P (tekanan) – V (Volume) berikut :



Gambar 2 : Mekanisme mesin Stirling tipe **β**



Gambar 3 : Siklus kerja mesin Stirling

- Proses 1 : Ekspansi isentropik, terjadi langkah kerja, torak mendorong poros engkol untuk berputar
- Proses 2 : Penurunan suhu dan tekanan fluida, torak bergerak tanpa beban
- Proses 3 : Kompresi isentropik, torak digerakkan oleh kelembaman poros engkol.
- Proses 4 Pemasukan energi kalor isovolimik, torak dalam keadaan *idle.*

Penelusuran kepustakaan yang telah dilaksanakan antara lain:

(Nazaruddin S, 2003), Untuk mesin Stirling tipe β disimpulkan bahwa untuk mendapatkan perfomansi maksimum, maka secara konstruktif rasio antara langkah torak (L) dengan diameter torak (D) bervariasi antara 1,25 s/d 1,40 bergantung dari kapasitas mesin. Semakin besar kapasitas mesin semakin kecil rasio dan semakin kecil kapasitas mesin semakin besar rasio.

(Effendi N dan Khadir Kh, 2005), Beberapa fluida *condensible* yang prospektif untuk dapat dioperasikan sebagai pembangkitan daya adalah: Air, Amonia dan Ether. Ketiga fluida tersebut dikenal sebagai fluida yang *unflamable* pada kisaran operasi antara temteratur 550^0C s/d 750^0C.

(Maleev, 1986), Untuk menghidarsi bahaya ledakan, pengoperasian mesin Stirling tidak direkomendasikan untuk menggunakan meinyak pelumas. Untuk itu beberapa meterial dengan koefisien yang dapat dipakai antara lain: Teflon, Rulon serta Grafit.

Persiapan awal untuk mendukung kegiatan penelitian antara lain:

a. Persiapan sarana dan prasarana pendukung. Kegiatan penelitian akan dilaksanakan di laboratorium M&R Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya. Untuk rancang bangun mesin yang meliputi proses produksi dan perangkaian komponen, kegiatan akan dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Mekanik. Untuk Kalibrasi instrumen dan sistem kendali pengujian, kegiatan akan dilaksanakan di laboratorium

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Mekanik. Untuk pembuatan komponen presisi kegiatan akan dilaksanakan di laboratorium CNC. Semua berada di bawah institusi Politeknik Negeri Sriwijaya. Untuk pengujian perfomansi mesin serta analisis komposisi gas hasil pembakaran, kegiatan akan dilaksaakna di Laboratorium Sistem Propulsi Jurusan Teknik Mesin ITB. Pemerksaan lapangan telah dilaksanakan secara informal dan disimpulkan bahwa semua peralatan/mesin dalam kondisi siap.

b. Persiapan Sumber daya manusia. Mengingat penelitian ini bersifat multi disiplin, maka seumber daya yang terlibat mel;iputi tiga orang staf edukatif dari berbagai disiplin ilmu serta dua orang mahasiswa dari Jurusan Teknik Mesin. Diskusi serta koordinasi yang bersifat informal telah dilaksanakan dan masing masing anggota menguasai bidang tugas yang akan dilaksanakan. Untuk mahasiswa , diharapkan akan memperoleh ketrampilan terapan serta dapat menumbuhkan jiwa riset yang bermanfaat untuk pengembangan Iptek.

c. Persiapan Kelembagaan dan managerial. Kegiatan ini bertanggung jawab langsung ke Institusi dengan *task force* UPPM (Uunit Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat) Politeknik Negeri Sriwijaya. Beberapa persyaratan administrasi menyangkut jenjang pendidikan serta penguasaan ilmu dari masing masing anggota dapat disetujuai oleh pihak UPPM. Untuk aspek managerial yangb berkaitan dengan aktifitas penelitian, hal ini sudah dikoordinasi dengan masing masing jurusan dan diestimasi tidak akan mengganggu proses belajar/mengajar di dalam kampus.

Studi pendahuluan yang berkaitan dengan kegiatan penelitian ini telah penulis lakukan dan dipublikasikan dalam bentuk artikel, antara lain:

1. (1998), judul: *Karakter Dinamik Mesin Stirling.,* Artikel ilmiah, Jurnal Teknik Mesin, ITB. Artikel diberdasarkan buku teks, jurnal, prosiding serta majalah ilmiah. Dari kajian tersebut dapat disimpulkan bahawa mesin stirling akan bekerja pada efisiensi yang maksimum jika dioperasikan pada putaran optimum tertentu.
2. (1999), judul: *Mesin Stirling sebagai Solusi untuk mengatasi kelangkaan Bahan Bakar Minyak.,* Tuisan Ilmiah bidang teknologi, dimuat di Harian Sumatera Ekspress 12 Agustus 1999. Substansi dari tulisan adalah bahwa mesin pembangkit daya yang paling prospektif untuk menggantikan motor bakar torak.adalah mesin Stirling.
3. (2002), judul: *Dinamometer Mekanik dengan Pengatur Putaran Governoor Sentrifugal,* Laporan penelitian Dosen Muda DP2M. Sustansi dari penelitian adalah cara mengukur daya dan momentorsi mesin pembangkit daya berdasarkan variasi putaran mesin.
4. (2004) judul: *pembuatan Biodisesel Minyak Jarak Pagar menggunakan Metode Transesetrifikasi.* Prosiding Seminar Laporan Hibah bersaing 2004.2005. Informasi yang disampaikan dari artikel adalah mekanisme mendapatkan bahan bakar Biomassa yang ramah lingkungan dan bersifat *reneable.*
5. (2006) Judul: *Fermentasi ampas tebu untuk mendapatkan gas sebagai bahan bakar Biomassa.,* karya ilmiah tingkat jurusan, diseminarkan, didestribusikan ke beberapa perpustakaan. Informasi yang disampaikan adalah tentang pemanfaatan ampas tebu sebagai bahan bakar biomassa, sekaligus sebagai metode untuk penanggulangan pencemaran lingkungan.

Luaran (*outcomes)* dari penelitian akan direalisasi dalam bentuk:

1. Laporan Penelitian, yang akan disistribusikan ke beberapa perpustakaan, sehingga dapat dipelajari oleh masyarakat umum.
2. Artikel Ilmiah, yang akan di terbitkan baik melalui jurnal nasional maupun jurnal internasional.
3. Tulisan ilmiah bidang Teknologi yang akan dimuat pada media cetak lokal maupun nasional
3. Perolehan Hak kekayaan Intelektual melalui Paten Haki DP2M Dikti

2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan Prototipe mesin Stirling tipe β yang akan dioperasikan menggunakan bahan bakar Biomassa. Paket Uji mesin dalam bentuk perangkat keras serta perangkat lunak yang dipat dipakai sebagai bahan praktikum bagi mahasiswa pada disiplin Ilmu Konversi Energi Kalor – Mekanik di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Rencana jangka panjang yang dilaksanakan setelah selasainya penelitian ini adalah soaialisasi dari pemakaian energi kalor hasil pembakaran Biomassa menggunakan mesin Stirling. Untuk kegiatan tersebut, peneliti melibatkan institusi serta bekerjasama dengan pihak terkait, antara lain : pemerintah daerah/pusat, lembaga swadaya masyarakat yang peduli akan kelestarian lingkungan serta asosiasi/komunitas masyarakat yang peduli untuk perkembangan teknologi ramah lingkungan.

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya(Widagdo, T, 1998), yang berjudul: '**Rancang bangun Degester Gas dari Ampas Tebu'**. Metode yang dipakai adalah Kaji Ekaperimental terhadap suatu penomena alam dengan melibatkan beberapa variabel penelitian yang sudah ditetapkan. Secara umum kegiatan penelitian, secara runut dibagi menjadi enam kegiatan utama, yaitu:

1. Perancangan Mesin. Atas dasar pertimbangan dari aspek konstruksi dan mobilitas, maka mesin Stirling yang dipakai sebagai obyek pengujian adalah dari tipe β dengan spesifikasi utama: satu silinder, 150 cc, rasio panjang langkah/diameter torak 1,20. Perancangan mesin akan diselesaikan menggunakan program Komputer Autodesk Inventor® dengan luaran:
   - Gambar Konstruksi dalam bentuk proyeksi dan visualisasi serta dilengkapi dengan dimensi detail dari masing-masing komponen.
   - Distribusi temperatur dan tegangan yang terjadi pada masing-masing komponen baik pada arah radial maupun transfersal.
   - Jenis material yang akan dipakai sebagai komponen mesin
2. Pembuatan Mesin. Kegiatan ini berintikan proses produksi komponen mesin. Skala prioritas diberikan untuk komonen-komponen presisi dengan cara memberikan perlakuan khusus berupa pengerjaan menggunakan CNC. Kegiatan dilanjutkan dengan *Assemly* (perangkaian) komponen yang sudah dibuat dengan sensntiasa mempertimbangkan aspek:
   - Kesejajaran, kesebidangan serta kestabilan mesin
   - *Knockdown,* artinya mesin dapat dengan mudah dibongkar pasang. Hal ini sngat penting untuk kegiatan perawatan dan perbaikan mesin.
   - Aspek Mobilitas, artinya mesin dapat dengan mudah dapat dipindah secara manua dari satu tempet ke tempat lain tanpa harus menggunakan peratan lain sebagai bantuan.
3. Pengujian Awal mesin (*comissioning).* Bertujuan untuk mengetahui respon komponen mesin ketika mesin dioperasikan. Mesin dioperasikan dengan beban minimum hingga distribusi panas merata, selanjutnya beban dinaikkan secara perlahan lahan hingga mencapai beban maksimum. Pada beban maksimum akan dipertahankan untuk jangka waktu tertentu (± 10 jam). Perbaikan ataupun modifikasi komponen dilakukan jika diketahui ada yang rusak.
4. Pemasangan sarana pendukung, yang meliputi sistem pembacaggotan data (instrumen), sistem pengendalain (kontrol) serta sistem keamanan.. Sebelum dipasang pada mesin, maka sarana pendukung akan dikalibrasi sesuai dengan daerah kerja yang dapat dilayani. Hal ini penting berkaitan dengan validitas ketika dilakukan pengambilan data pada mesin.
5. Pengujian Mesin. Bertujuan untuk mendapatkan data pengujian berdasarkan variasi fluida kerja serja variasi bahan bakar yang sudah ditetapkan. Data yang akan diambil teridiri dari putaran mesin, daya mesin serta momen torsi. Kegiatan pengambilan data akan dilaksanakan di Laboratorium Motor Bakar dan Sistem Propulsi Jurusan teknik mesin ITB.
6. Analisis Data. Bertujuan untuk memberikan gambaran reperentetatif tentang karakter mesin yang diuji. Setiap perlkuan akan diambil 10 data. Beberapa perangkat statistik yang akan dipakai untuk analisis data antara laian:
   - Uji *Chi square,* dipakai untuk pengujian homogenitas data
   - Uji *t-Student,* dipakai untuk memerikasa 'kenormalan' data
   - *Curve fitting,* dipakai untuk pembuatan grafik kecenderungan

Keterlibatan anggota penelitian sangat berpengaruh terhadap target yang akan dicapai. Untuk hal tersebut, diskusi serta konsolidasi akan selalu dilaksanakan secara berkala. Kompetensi yang dimiliki oleh setiap anggota dipandang cukup sesuai dengan beban kerja yang akan mereka selesaikan. Terhadap sarana pendukung yang meliputi peralatan, komponen mesin,

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

sistem instrumentasi/kendali, sitem keamanan serta laboratorium yang akan dipakai, sudah dilakukan studi kelayakan, dan disimpulkan layak untuk dipakai sebagai sarana penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

Kegiatan penelitian dilakasanakan di Laboratorium M&R Jurusan Teknik Mesin Polsri dengan melibatkan seluruh anggota penelitian. Dimulai dengan rancang bangun 1 unit Mesin Stirling tipe β dengan kapasitas 150 CC.

Beberapa hal penting sebelum melakukan pengujian, antara lain:

1. Kalibrasi alat ukur, bertujuan untuk memastikan bahwa pembacaan data akurat.
2. Pemerikasaan peralatan pendukung, bertujuan untuk memastikan bahwa perangkat pengujian akan dapat bekerja denagn aman.
3. *Comissioning*, yaitu melekukan pengujian awal terhadap perangkat uji dengan beban lebih, dengan tujuan untuk memastikan bahwa perangkat uji akan aman ketika dilakukan pengujian pada beban normal.

Variabel-variabel yang diperhitungkan antara lain:

- Putaran mesin
- Momen torsi poros engkol
- Daya mesin
- Konsumsi bahan bakar
- Efisiensi mesin

Variabel yang ditetapkan adalah bahan bakar biomassa, meliputi :

- Pembakaran gas hasil fermentasi ampas tebu
- Pembakaran gas hasil gasisfikasi sampah basah
- Pembakaran serbuk kayu gergajian

Variabel yang diabaikan adalah:

- Fluktusi tekanan udara lingkungan
- Kerugian kalor akibat isolasi yang kurang rapat.
- Gesekan komponen-komponen mesin ketika mesin bekerja

Prosedur pengujian yang sudah dilaksanakan, secara runut, adalah sebagai berikut:

1. Bahan bakar biomassa ditimbang untuk mengetahui massanya, selanjutnya dimasukkan ke dalam ruang bakar yang sudah tersedia.
2. Bahan bakar dihidupkan hingga merata, selanjutnya pintu ruang bakar ditutup hingga rapat.
3. Jika suhu silinder panas sudah mencapai suhu operasi, poros engkol diputar untuk memancing gerakan berputar. Jika poros engkol sudah memberikan perlawanan, selanjutnya pancingan dilepaskan dan poros engkol akan berputar sendiri.
4. Selanjutnya poros engkol dihubungkan dengan dynamometer untuk mengetahui variable variable : putaran mesin, momem torsi dan daya mesin
5. Prosedur 1 s/d 4 dilakukan untuk 3 jenis bahan bakar biomassa,



Gambar 4 : Prototipe mesin Stirlng hasil rancang bangun

Pengujian dilakukan terhadap unit mesin Sterling tipe β dengan kapasitas silinder 150 CC. Dinamometer yang dipakai untuk mengukur prestasi mesin dilengkapi dengan instrumen Tachometer yang berfungsi untuk mengatur putaran mesin, n (rpm) dan torsimemeter yang berfungsi untuk mengukur momen torsi yang terjadi pada poros mesin, T (N-m). Konsummsi bahan bakar yang disuplai ke mesin dihitung dengan metode grafimetri.

Daya mesin dihitung menggunakan formulasi:

$$P = T.\omega = \pi.n.T/60, \text{ Watt}$$

Dimana, T: momen torsi mesin, N-m
n: putaran pesin, rpm

Efisiensi mesin dihitung menggunakan formulasi:

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

$$\eta = \frac{P}{\dot{m}_f} x\ 100\%$$

Dimana, P : Daya mesin, Watt
$\dot{m}_f$: laju aliran massa bahan bakar, kg/det

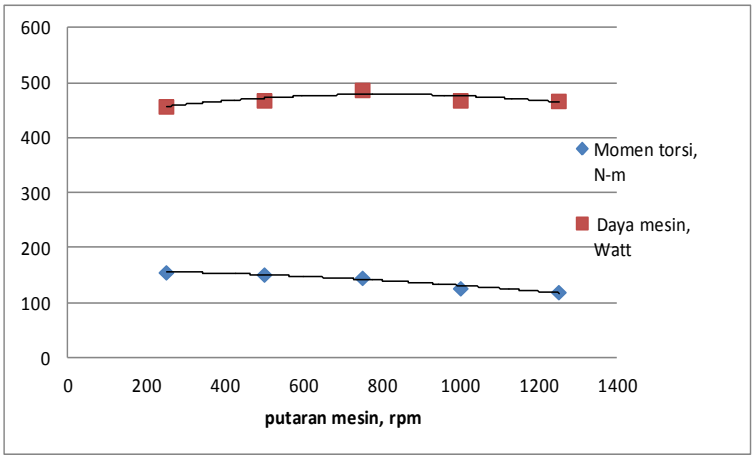
Tabel berikut menunjukan tabel data hasil pengujian mesin untuk salah 3 jenis bahan bakar biomassa serta satu jenis fluida kerja

Tabel 2. Data-Data Hasil Data Pengujian Mesin Stirling

Bahan Bakar biomassa	Putaran mesin, rpm	Momen Torsi poros engkol,N.m	Daya mesin, Watt	Konsumsi bahan bakar, kg/det	Efisiensi mesin, %
Gas hasil fermentasi ampas tebu	250	155	457	0,054	8,6
	500	151	468.	0,057	9,4
	750	145	487	0,062	11,5
	1000	126	468	0,066	12,4
	1250	119.	467	0,070	10,9
Gas hasil fermentasi sampah basah	250	119	355	0,062	7,5
	500	116	364.	0,067	9,2
	750	103	383	0,063	11,3
	1000	97	368	0,078	12,5
	1250	92	365	0,082	10,7
Pembakaran serbuk kayu gergajian	250	115	457	0,54	8,6
	500	112	468.	0,57	9,4
	750	98	487	0,62	11,5
	1000	92	468	0,66	12,4
	1250	87.	467	0,70	10,9

3.2 Pembahasan

Pengoperasian mesin Stirling hasil rancang bangun sudah menghasilkan data pengujian yang mengindikasikan kinerja mesin. Parameter prestasi dalam bentuk Daya (energy mekanik) serta Efisiensi ditampilkan secara representative. Ketiga jenis bahan bakar biomassa memberikan dampak yang berbeda, baik dari segi daya maupun efisiensi mesin Stirling.

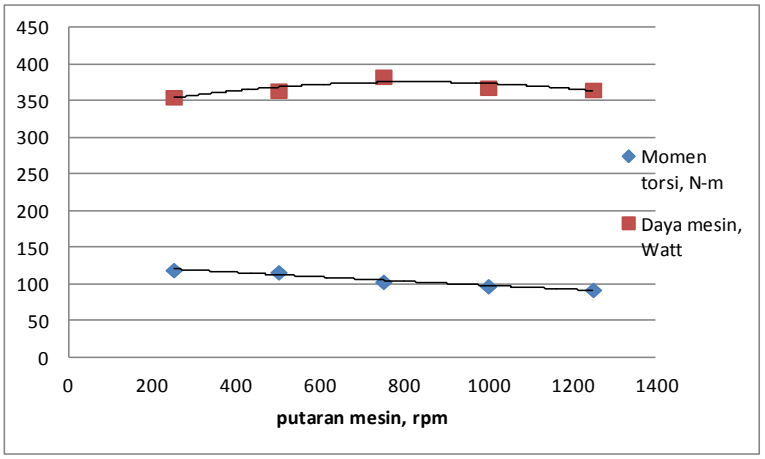


Gambar 5 : Karakter Mesin Uji Menggunakan Bahan Bakar Gas Hasil Fermentasi Ampas Tebu

Menggunakan metode turunan pertama diperoleh Daya maksimum mesin sebesar:

- P_{maks} = 489 Watt pada putaran, n= 810 rpm.
- Efisiensi maksimum, η_{maks}= 12,45 % pada putaran, n = 950 rpm

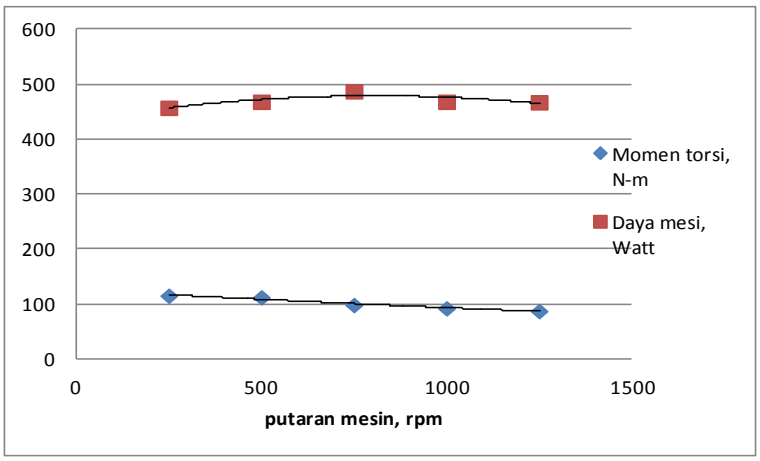
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 6 : Karakter Mesin Uji Menggunakan Bahan Bakar Gas Dari Sampah Basah

Menggunakan metode turunan pertama diperoleh Daya maksimum mesin sebesar:

- P_{maks} = 475 Watt pada putaran, n= 765 rpm.
- Efisiensi maksimum, η_{maks}= 12,23 % pada putaran, n = 878 rpm



Gambar 7 : Karakter Mesin Uji Menggunakan Bahan Bakar Serbuk Kayu Gergajian

Menggunakan metode turunan pertama diperoleh Daya maksimum mesin sebesar:

- P_{maks} = 505 Watt pada putaran, n= 823 rpm.
- Efisiensi maksimum, η_{maks}= 12,35 % pada putaran, n = 865 rpm

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Penggunaan bahan bakar biomassa untuk menghasilkan daya sangat dimungkinkan, hal ini terlihat dari data pengujian terhadap satu unit mesin Stirling. Sebagaimana kita ketahui bersama bahwa ketersediaan bahan bakar mineral, yang meliputi minyak bumi serta batu bara, dalam waktu yang tidak lama lagi akan habis. Saat kinim kita harus mulai menerapkan konsep pemakain bahan bakar terbarukan yang tersedia tak terbatas di alam. Sa;ah satunya adalah biomassa.

Hasil pengujian terhadap sebuah protiptipe mesin Stirling dengan kapasitas 150 cc, yang diujicobakan dengan 3 jenis bahan bakar biomassa, memberikan kesimpulan sebagai berikut:

a. Untuk bahan bakar gas hasil fermentasi ampas tebu
   P_{maks} = 489 Watt pada putaran,
   n = 810 rpm.
   Efisiensi maksimum, η_{maks}= 12,45 % pada putaran, n = 950 rpm
b. Untuk bahan bakar gas dari sampah basah

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

P_{maks} = 475 Watt pada putaran,
n = 765 rpm.
Efisiensi maksimum, η_{maks}= 12,23 % pada putaran, n = 878 rpm

c. Untuk bahan bakar serbuk kayu gergajian
P_{maks} = 505 Watt pada putaran,
n = 823 rpm.
Efisiensi maksimum, η_{maks}= 12,35 % pada putaran, n = 865 rpm

4.2 Saran

Berkaitan dengan pemakaian protitipe mesin Stirling, penulis memberikan saran, antara lain:

a. Lakukan perawatan rutin sesuai dengan jadawal perawatan yang sudah ditentukan
b. Lakukan penoperasian mesin di bawah kapasitas maksimum agar mesin tidak cepat rusak
c. Jika terjadi kerusakan, lakukan perbaikan dengan pengawasan teknisi yang sudah ditunjuk

DAFTAR PUSTAKA

1. Kent's (1950), *Mechnical Engineering Handbook,* Power Volume, 4th edition, Toppan Company, Tokyo
2. Maleev V I (1982) *Internal Combustion Engines,* International Student Edition,17th printing, Mc-Graw Hill Book Company, London
3. Sailon dan Widagdo T(2002), *Dinamometer Mekanik dengan Pengatur Putaran Governoor Sentrifugal,* Laporan penelitian Dosen Muda DP2M.
4. Widagdo T dan Cholik M (1998), judul: *Karakter Dinamik Mesin Stirling.,* Artikel ilmiah, Jurnal Teknik Mesin, ITB.
5. Widagdo T(1999), 'Mesin Stirling sebagai Solusi untuk mengatasi kelangkaan Bahan Bakar Minyak'., Tuisan Ilmiah bidang teknologi, dimuat di Harian Sumatera Ekspress 12 Agustus 1999.
6. Widagdo, T(2004) *Pembuatan Biodisesel Minyak Jarak Pagar menggunakan Metode Transesetrifikasi.* Prosiding Seminar Laporan Hibah Bersaing 2004/2005.
7. .....ESDM (2011), 'Data Statistik Konsumsi Bahan Bakar di Indinesia, kementrian Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia
8. .....http/www/ engine. ectcomb. Go.id/: 'Stirling Engine, free encyclopedia International.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Ilmu Kehutanan
Journal of Forest Science
https://**jurnal**.ugm.ac.id/jikfkt

Kajian Peningkatan Potensi Ekspor Pelet Kayu Indonesia sebagai Sumber Energi Biomassa yang Terbarukan

Study of Increasing the Export Potential of Indonesia Wood Pellets as a Source of the Renewable Biomass Energy Source

Victor Tulus Pangapoi Sidabutar*

Pusat Pendidikan dan Pelatihan Perdagangan, Kementerian Perdagangan Republik Indonesia, Jl. Abdul Wahab No. 8, Cinangka, Sawangan, Depok 16516
Email: victor.sidabutar@yahoo.com

ULASAN

Riwayat naskah:
Naskah masuk *(received)*: 6 Februari 2017
Diterima *(accepted)*: 19 Mei 2017

KEYWORDS
export potential
wood pellets
renewable energy
government support
energy sources

ABSTRACT

The world today is beginning to switch from using coal into renewable energy sources. One of them is wood pellets in order to reduce greenhouse gas emissions and increase the use of renewable energy substitute for fossil energy. The major manufacturer of wood pellets in the world today is the United States, while for the ASEAN region is Vietnam. In ASEAN, Indonesia's potential is not less than Vietnam. Indonesia superior in numbers of forests and agricultural crops compare to Vietnam. In addition, the existing plant biodiversity that can be used as a source of raw material for wood pellets are unique compared to other competitors. Legalization and regulation in terms of the sustainability of raw materials is a key requirement to enter the European market. The Indonesian government gave full support to the more easily permits related legalization and sustainability of wood raw material.

KATA KUNCI
potensi ekspor
pelet kayu
energi terbarukan
dukungan pemerintah
sumber energi

INTISARI

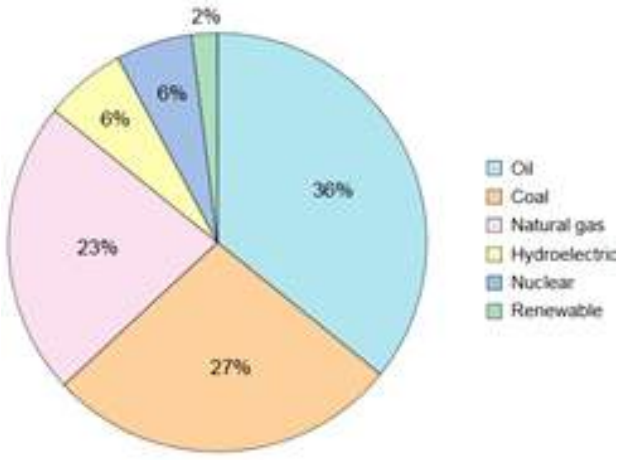
Dunia saat ini mulai beralih dari menggunakan batu bara ke sumber energi yang terbarukan. Salah satunya adalah pelet kayu demi mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan penggunaan energi terbarukan pengganti energi fosil. Produsen utama pelet kayu di dunia saat ini adalah Amerika Serikat sedangkan untuk wilayah ASEAN adalah Vietnam.Di ASEAN, potensi Indonesia tidak kalah dari Vietnam. Indonesia unggul dalam jumlah luas hutan tanam dan pertanian yang lebih luas dibanding-kan Vietnam. Selain itu, keragaman hayati tumbuhan yang ada dapat dijadikan sumber bahan baku pelet kayu yang unik dibandingkan pesaing lainnya. Legalisasi dan regulasi untuk keberlangsungan bahan baku merupakan persyaratan utama untuk memasuki pasar Eropa. Pemerintah Indonesia memberikan dukungan penuh dengan semakin mudahnya perijinan terkait legalisasi dan keberlangsungan bahan baku kayu.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

© Jurnal Ilmu Kehutanan-All rights reserved

Pendahuluan

Diperkirakan pada tahun 2035 akan terjadi peningkatan konsumsi energi di dunia (Roos 2012). Tiga besar sumber energi global adalah minyak bumi, batubara, dan gas alam; dan tiga sumber ini memasok sekitar 86% dari kebutuhan energi dunia (Gambar 1). Dari 2% sumber enegi terbarukan terdapat diantaranya hidroelektrik, geotermal, angin, tenaga surya, pasang surut dan ombak laut, dan energi biomassa. Energi biomassa merujuk pada energi yang tersimpan dalam bahan organik seperti hutan dan produk pertanian (Roos 2012). Biomassa merupakan sumber energi utama di negara berkembang yang berada dalam bentuk kayu bakar yang digunakan untuk pemanasan dan memasak. Di negara maju, energi biomassa popular digunakan sebagai sumber bahan bakar untuk pembangkit listrik. Negara-negara di Eropa sebagai pengimpor produk pelet kayu utama di dunia berdasarkan data ITA 2016, mengeluarkan kebijakan untuk menggunakan energi terbarukan yang mengarah pada penggunaan pelet kayu (Goetzl 2015).



Gambar 1. Persentase produksi energi global berdasarkan sumbernya (Roos 2012)
Figure 1. Percentage of global energy production by source (Roos 2012)

Satu keuntungan yang biomassa memiliki lebih dari sumber energi terbarukan lainnya seperti angin dan tenaga surya adalah bahwa sumber energi ini dapat menghasilkan listrik secara terus menerus atau sesuai jadwal daripada mengandalkan kondisi dari angin atau matahari. Bahan baku utama dari biomassa untuk menghasilkan panas dan pembangkit listrik adalah biomassa dari kayu. Sumber-sumber lainnya termasuk jagung, kedelai, sisa tanaman, dan rumput. Pelet kayu adalah salah satu jenis sumber energi dari biomassa. Pembakaran pelet kayu dinilai lebih ekonomis dibandingkan batu bara (Qian 2013), termasuk dalam pembakaran bersama dengan batu bara dalam pabrik, konversi pembangkit atau pembangkit listrik berbahan biomassa.

Pelet terutama diproduksi dari limbah kayu, termasuk serbuk gergaji, serutan, dan serpihan kayu, yang merupakan produk sampingan pembuatan kayu, furnitur, dan hasil hutan lainnya. Selain itu, pelet kayu dapat ditambahkan sampah dari jerami padi, sekam, sampah daun, ranting atau bagian tanaman yang dianggap limbah. Produksi pelet kayu di Amerika Serikat menggunakan bahan baku yang diambil dari kayu yang bernilai rendah yaitu yang tidak dapat digunakan untuk produksi kayu atau kayu lapis, atau berasal dari penjarangan, residu penebangan atau kayu lainnya yang memiliki kualitas rendah dan tidak memiliki nilai di pasar (Goetzl 2015).

Situasi Produksi dan Konsumsi Pelet Kayu Dunia

Situasi produksi pelet kayu

Produksi dan perdagangan pelet kayu sebagai sumber energi terbarukan telah meningkat secara signifikan sejak tahun 2008 dan untuk wilayah Uni Eropa. Peningkatan terjadi sejak dikeluarkannya EU *Emissions Trading System* (EU-ETS) pada tahun 2005 yang bertujuan untuk mendorong pengurangan emisi karbon dioksida dari proses pembakaran mesin dan industri (Goetzl 2015). Permintaan pelet kayu terjadi oleh dorongan kebijakan untuk mengurangi emisi gas

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

rumah kaca dan meningkatkan penggunaan energi terbarukan berdasarkan Protokol Paris yang kemudian dituangkan dalam EU Directive 2003/87/EC kemudian diadopsi oleh Parlemen Eropa pada tanggal 23 April 2009 menjadi *Renewable Energy Directive* (RED). RED menetapkan target spesifik untuk melakukan pengurangan 20% emisi gas rumah kaca, penggunaan 20% dari energi terbarukan, dan 20% peningkatan dalam efisiensi energi. Dalam menerapkan RED, masing-masing negara anggota Uni Eropa memerlukan program dan rencana untuk mencapai tujuan RED secara nasional. Tujuan RED dari tiap negara anggota berbeda-beda bergantung dari kapasitas dan prospektif yang ada untuk berbagai bentuk energi terbarukan, tetapi tujuan dari rencana penggunaan biomassa dan *biofuel* adalah untuk memberikan setengah dari target Uni Eropa 20% dalam target penggunaan energi terbarukan.

Produksi dan konsumsi pelet kayu di negara-negara pengguna terjadi ketidakseimbangan. Berdasarkan data Trademap (2015a), nilai konsumsi pelet kayu (HS Code 440131) di dunia (dalam ribu USD) adalah 2.712.315 dengan selisih nilai pada neraca perdagangan ekspor terhadap impor (dalam ribu USD) adalah -235.723. Nilai minus pada neraca perdagangan menunjukkan secara global bahwa negara-negara pengguna pelet kayu masih belum bisa memenuhi permintaan dalam negeri mereka sendiri sehingga membutuhkan produk tersebut dari negara lain.

Situasi konsumsi pelet kayu

Banyak produsen listrik di Eropa telah melakukan konversi, atau sedang dalam proses konversi, dari pembangkit listrik berbahan bakar batu bara ke biomassa dalam bentuk pelet kayu untuk memenuhi target regulasi Uni Eropa dalam penggunaan 20% energi terbarukan pada tahun 2020 dan 43% lebih rendah lagi pada tahun 2030 menurut EU-ETS. Di Latvia, pembangkit penghasil panas dan *Combined Heat and Power* (CHP) saat ini hanya menggunakan 1% pelet kayu (Krievina 2016). Bahan bakar utama yang digunakan pembangkit adalah gas alam dan serpihan kayu. Pelet kayu dapat digunakan sebagai bahan pengganti bahan bakar yang menggunakan unsur kayu (Gambar 2). Konversi tersebut didukung dengan diberikannya insentif dan bantuan pada sektor-sektor yang dianggap banyak menghasilkan gas buang (Tabel 1) seperti industri penerbangan, sektor pembangkit listrik, industri, dan sektor penghasil panas (EU-ETS Handbook). Untuk wilayah Eropa, Krievina (2016) melakukan evaluasi terhadap faktor pendorong utama pergeseran penggunakan bahan bakar ke pelet kayu yaitu harga. Analisa dilakukan dengan membandingkan harga gas alam di beberapa negara kawasan Laut Baltik yang data harganya tersedia (Gambar 3). Perbandingan data dari Krievina (2016) menunjukkan ada stimulus yang sangat tinggi untuk menggunakan pelet kayu dalam produksi energi di Denmark dimana harga gas alam sekitar dua kali lebih mahal dari pelet kayu. Dilaporkan bahwa di pasar untuk pemanasan perumahan Denmark diterapkan pajak sangat tinggi untuk bahan bakar minyak dan gas sehingga hal inilah yang mendorong penggunaan pelet kayu sebagai bahan bakar pengganti (Tabel 2). Di Austria, harga gas alam lebih tinggi 40% dibandingkan harga pelet kayu (Krievina 2016). Di Inggris Raya, mereka berkomitmen untuk memproduksi 30% dari tenaga listriknya menggunakan energi terbarukan (Stephenson 2014). Menurut perkiraan pemerintah Inggris Raya akan dibutuhkan antara 9,0 dan 16,0 juta ton biomassa padat setiap tahunnya untuk mencapai tujuan itu.

Untuk pasokan, negara-negara penghasil utama pelet kayu di Amerika Utara dan Eropa seperti Kanada, Jerman, Swedia, dan Amerika Serikat tidak dapat sepenuhnya berkonsentrasi dalam memenuhi permintaan pasar yang semakin meningkat dikarenakan mereka tetap memerlukan pelet kayu untuk konsumsi di negaranya sendiri (Roos 2012). Untuk wilayah Asia permintaan pelet kayu juga meningkat terutama untuk dua segmen pasar, yaitu untuk sektor industri energi dan untuk pemanas (Roos 2012). Konsumen terbesar di wilayah Asia adalah Tiongkok,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Korea Selatan, dan Jepang dimana negara-negara ini juga berusaha untuk meningkatkan penggunaan sumber energi yang terbarukan dalam usaha mengurangi emisi gas buang.



Gambar 2. Struktur bahan bakar yang digunakan untuk pemanasan di Latvia 2014 (Krievina 2016)
Figure 2. Structure of fuels used in heating in Latvia 2014 (Krievina 2016)

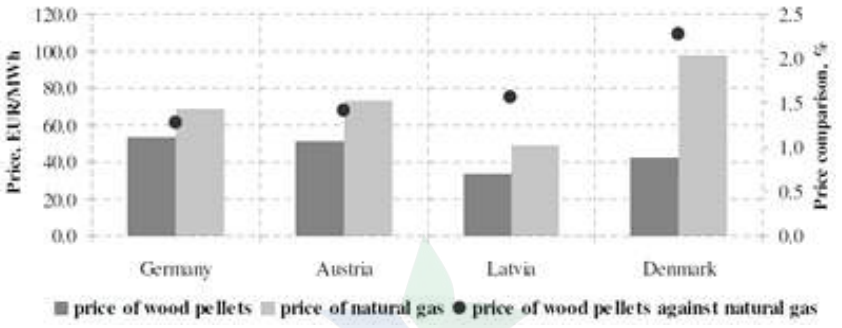
Di Korea Selatan, pertumbuhan ekonomi yang stabil didorong oleh penggunaan energi berbahan bakar fosil, telah meningkatkan emisi karbon dioksida (CO_2). Dari tahun 1990 hingga tahun 2006, buangan CO_2 Korea Selatan meningkat sekitar 97%. Hal ini sangat kontras perbedaannya dengan Jepang, yang meningkat sebesar 11% selama periode yang sama (United Nations Statistics Division 2010).

Di Tiongkok, kebijakan di bidang energi untuk mengamankan energi yang cukup untuk pertumbuhan ekonomi merupakan awal dimulainya penggunaan energi terbarukan (Schuman 2012). Meskipun Tiongkok menghindar untuk berkomitmen dalam pengurangan emisi wajib, namun mereka melakukan investasi besar-besaran dalam energi terbarukan. Dasar untuk kebijakan energi terbarukan Tiongkok adalah dengan dikeluarkannya Hukum Energi Terbarukan yang diberlakukan pada 1 Januari 2006.

Tabel 1. Alokasi bantuan berdasarkan sektor
Table 1. Alocation share based on sector

Pembagian pembebasan alokasi dihitung berdasarkan tolak ukur per sektor	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Pembangkit Listrik	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Sektor industri	80%	72,9%	65,7%	58,6%	51,4%	44,2%	37,1%	30%
Sektor industri yang dianggap terkena kebocoran karbon	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Sumber/source: EU-ETS *Handbook* (2017)



Gambar 3. Kelebihan harga pelet kayu terhadap gas alam di negara-negara Uni Eropa yang dipilih pada 2014 (Krievina 2016)
Figure 3. Price advantage of wood pellets against natural gas in selected EU countries in 2014 (Krievina 2016)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 2. Dekomposisi dari harga akhir gas alam di beberapa negara Uni Eropa tahun 2014
Table 2. Decomposition of the end-price of natural gas in selected EU countries in 2014

Indikator	Latvia	Lithuania	Estonia	Denmark	Swedia	EU-28
Harga (tidak termasuk pajak dan pungutan	79%	83%	79%	39%	55%	77%
Pajak dan pungutan	21%	17%	21%	61%	45%	23%
Harga (termasuk pajak dan pungutan)	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Sumber/source : Krievina (2016)

Undang-undang ini mengamanatkan bahwa perusahaan jaringan listrik membeli semua energi terbarukan yang dapat dipasok ke jaringan mereka. Amandemen undang-undang ini diberlakukan pada tanggal 1 April 2010, yang meningkatkan penekanan klausul pembelian wajib dan meningkatkan dukungan untuk pembelian energi terbarukan (Schuman 2012).

Analisis Keunggulan

Analisis keunggulan yang digunakan didasari teori *Porter's Diamond* (Porter 1990) yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa faktor penentu peluang ekspor pelet kayu Indonesia (Gambar 4) dan dukungan pemerintah untuk peningkatan ekspor didasarkan pada 4 hal, yaitu:

a. Kondisi permintaan

- Meningkatnya permintaan pelet kayu di negara Eropa dan sebagian wilayah di Asia
- Adanya kebijakan pengurangan emisi gas rumah kaca dan penggunaan energi terbarukan berdasarkan Protokol Paris.

b. Faktor kondisi

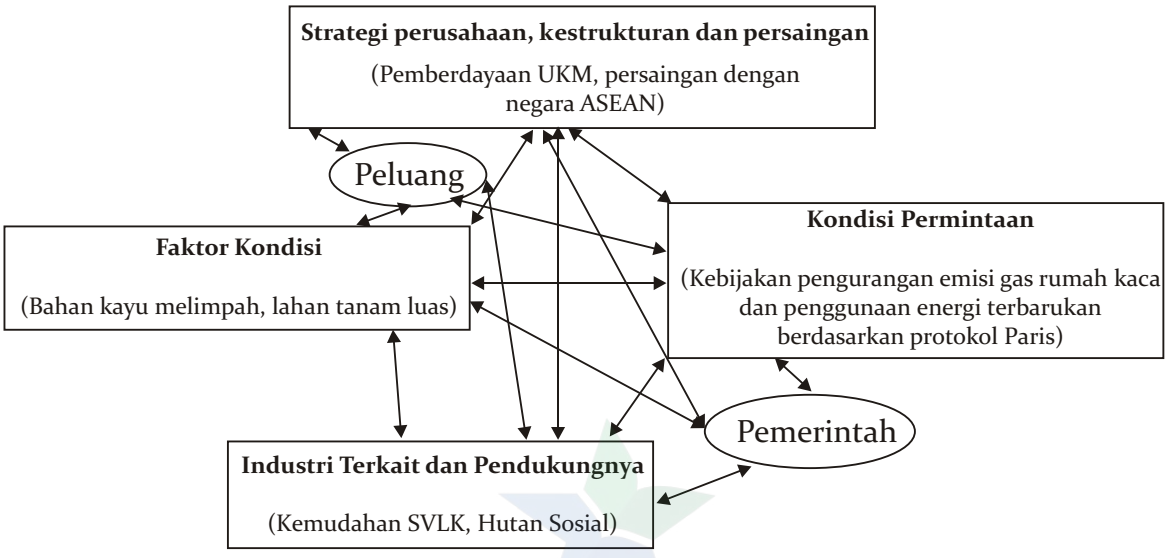
- Melimpahnya bahan baku kayu non ekonomis di Indonesia
- Lahan tanam yang luas di Indonesia

c. Industri terkait dan pendukungnya

- Kemudahan dalam pengurusan SVLK
- Pengelolaan hutan sosial oleh masyarakat

d. Strategi perusahaan, kestrukturan, dan persaingan

- Persaingan pasar dengan negara dari ASEAN
- Pemberdayaan usaha kecil dan menengah untuk ekspor pelet kayu



Gambar 4. Analisis keunggulan produk pelet kayu Indonesia
Figure 4. Analysis of the excellence of Indonesian wood pellet products

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Analisa penurunan ekspor batu bara dan peningkatan ekspor pelet kayu dari Indonesia ke pasar dunia

Ekspor batu bara Indonesia (HS Code 2701) terus mengalami penurunan sejak tahun 2012 hingga 2015 berdasarkan data dari Trademap (Tabel 3). Hal ini disebabkan mulai beralihnya negara pengimpor batu bara dari Indonesia ke pelet kayu yang dinilai lebih ramah lingkungan dan terbarukan dan juga karena adanya dorongan untuk pemenuhan target emisi karbon buangan (Roos 2012). Hal ini terlihat dengan meningkatnya impor pelet kayu (HS 440131) ke dunia (dalam ribu) USD 2.705.544, terjadi peningkatan 16% dari tahun 2011-2015 berdasarkan data Trademap (2016). Seiring dengan penurunan ekspor batu bara, terjadi peningkatan ekspor pelet kayu dari Indonesia ke negara-negara yang awalnya mengimpor batu bara Indonesia. Sebagai contoh, negara Republik Korea, sebagai negara pengimpor utama produk dengan HS Code 270111 dari Indonesia (Tabel 4) terjadi peningkatan ditahun 2014 seiring dengan menurunnya ekspor baru bara Indonesia dalam kurun waktu tahun 2012 hingga 2015. Ekspor pelet kayu Indonesia ke dunia (dalam ribu) USD 5.225 terjadi peningkatan pertahunnya 165% dari sejak tahun 2011 hingga 2015, sedangkan bagian dalam ekspor dunia sekitar 0,2% (Tabel 4).

Analisa persaingan pasar pelet kayu

Potensi perdagangan pelet kayu ke dunia memiliki potensi yang sangat besar. Lima negara importir terbesar di dunia adalah Inggris Raya, Denmark, Italia, Republik Korea, dan Belgia. Sisanya berasal dari negara Uni Eropa dan Amerika Serikat (Tabel 5).

Berdasarkan data perdagangan tahun 2015, Amerika Serikat merupakan pengekspor terbesar produk ini di dunia, diikuti oleh Latvia, Kanada, Jerman, dan Estonia (Tabel 6). Padahal sebelumnya, di tahun 2008 berdasarkan data dari EIA (2014), 80% dari produksi pelet kayu Amerika Serikat digunakan untuk pasar domestik. Akan tetapi dengan meningkatnya permintaan pasar Eropa, maka terjadi peningkatan produksi pelet kayu untuk memenuhi kebutuhan ini. Amerika Serikat, berdasarkan data EIA (2016) pada Gambar 5, selama paruh pertama tahun 2016, sekitar 82% dari penjualan pelet kayunya adalah untuk pasar ekspor dan merupakan pelet khusus, dimana lebih dari 85% dijual ke pembangkit listrik Drax Britania Raya sebagai bahan baku pembangkit sedangkan sisanya 18% dari pelet khusus tersebut digunakan untuk dalam negeri mereka.

Pasar impor pelet kayu Amerika Serikat berdasarkan data Trademap (2015a) adalah Inggris Raya, Belgia, Belanda, Kanada, dan Korea Selatan. Ke

Tabel 3. Ekspor produk batu bara Indonesia (HS Code 2701) ke dunia
Table 3. Export of Indonesian coal products (HS Code 2701) to the world

Kode Produk	Deskripsi	Ekspor Indonesia ke dunia (USD)				
		2011	2012	2013	2014	2015
270111	Antrasit	14.418	29.055	12.204	3.870	0
270119	Batu Bara lainnya	10.270,963	11.013.720	10.441.093	9.289.576	7.462.351
270120	Briket, ovoid dan bahan bakar padat semacam itu dibuat dari batu bara	11.968	5.002	13.535	53	0
270112	Bituminous coal	15.225.804	13.245.403	12.306.410	9.404.300	7.200.055

Sumber/source : Trademap (2016)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 4. Daftar pasar pengimpor produk HS Code 440131 dari Indonesia
Table 4. List of importers of HS Code 440131 product from Indonesia

	Indikator Perdagangan							
Negara pengimpor	Nilai ekspor tahun 2015 (dalam ribu USD)	Neraca perdagangan 2015 (dalam ribu USD)	Bagian dalam ekspor Indonesia (%)	Kuantitas ekspor di 2015 (ton)	Pertumbuhan nilai ekspor antara 2011-2015 (%, p.a.)	Pertumbuhan nilai ekspor antara 2014-2015 (%, p.a.)	Pembagian pada negara mitra di Impor dunia (%)	Total pertumbuhan nilai impor di negara mitra antara 2011-2015 (%, p.a.)
Ekspor Indonesia ke Dunia	5.225	5.196	100	64.458	165	-46	100	16
Republik Korea	4.829	4.829	92,4	57.219	224	-47	6,5	124
China Taipei	350	350	6,7	6.815	162	-41	0,08	-9
Jepang	31	26	0,6	226	159	-46	1,7	29
Tiongkok	8	8	0,2	154	38	-47	0	
Turki	4	4	0,1	25			0	-6
Inggris Raya	1	1	0	0	N/A	N/A	43,8	58
Italia	1	1	0	15	N/A	N/A	12,1	8

Sumber/source : Trademap (2016)

Tabel 5. Statistik global impor komoditi 440131 (pelet kayu)
Table 5. Global import statistics for 440131 commodity (wood pellets)

Negara	Kuantitas impor (kg)
Inggris Raya	6.518.880.000
Denmark	2.076.428.000
Italia	1.640.239.000
Korea Selatan	1.470.684.019
Belgia	988.652.000
Jerman	434.672.000
Austria	367.843.000
Sweden	354.942.000
Japan	232.425.000
Amerika Serikat	207.171.527
Slovenia	160.359.000
Belanda	140.171.000
Prancis	136.793.000
Latvia	129.206.000
Swiss	85.210.889

Sumber/source : ITA (2016)

depannya, Internal Trade Administration (ITA) Amerika Serikat pada laporan pasarnya di tahun 2016 menargetkan mulai membidik pasar Asia seperti Jepang dan Korea Selatan guna meningkatkan pasarnya di tahun 2017 akibat perkiraan akan stagnannya pasar Inggris Raya akibat keengganan mereka mengadopsi keseluruhan kebijakan Uni Eropa mengenai sertifikasi keberlangsungan untuk pelet kayu hingga 2020.

Negara di Asia yang merupakan pengekspor terbesar ke dunia adalah Vietnam, Malaysia, Tiongkok, dan Thailand (ITA 2016). Khusus untuk Vietnam, berdasarkan data dari Trademap (2016) terjadi peningkatan 143% pertahunnya antara 2011 – 2015 dan memiliki 4,8% pangsa pasar di dunia. Pasar impor terbesar pelet kayu di wilayah Asia berdasarkan ITA (2016) adalah Jepang dan Korea Selatan (Gambar 6), dengan pengekspor utamanya adalah Kanada dan Tiongkok untuk negara Jepang.

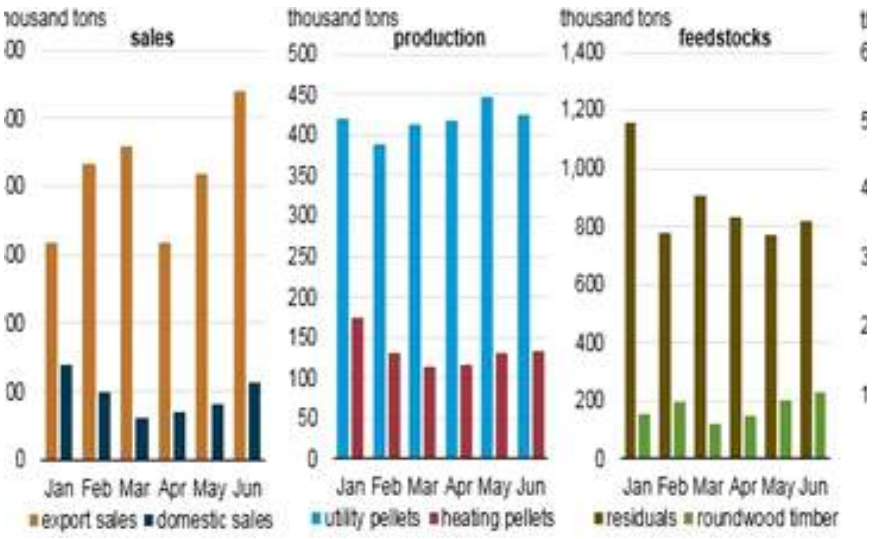
Untuk pasar Korea Selatan sendiri pemasok utamanya adalah Vietnam. Untuk produsen wilayah ASEAN, baik Indonesia dan Vietnam, berdasarkan data dari Trademap (2016), memiliki pembeli utama yang sama yaitu dari Republik Korea dengan nilai impor total (dalam ribu) USD 176.963 dari seluruh pemasok di dunia, sedangkan dari Vietnam senilai

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 6. Daftar negara pengekspor produk HS Code 440131
Table 6. List of exporting countries for HS Code Products 440131

Negara Pengekspor	Indikator Perdagangan							
	Nilai ekspor tahun 2015 (dalam ribu USD)	Neraca perdagangan 2015 (dalam ribu USD	Kuantitas ekspor di 2015 (ton)	Nilai unit (USD/ unit)	Pertumbuhan pertahun antara 2011-2015 (%)	Pertumbuhan kuantitas pertahun antara 2011-2015 (%)	Pertumbuhan nilai pertahun antara 2014-2015 (%)	Bagian dalam ekspor dunia (%)
Total	2.476.592	-235.723	15.746.763	157	15	13	-6	100
Amerika Serikat	682.791	637.009	4.575.696	149	62	85	31	27,6
Latvia	233.276	218.721	1.605.847	145	19	19	4	9,4
Kanada	222.796	212.132	1.627.784	137	0	6	-11	9
Jerman	149.823	73.891	688.285	218	-4	-10	-26	6
Estonia	137.318	134.193	883.390	155	21	21	10	5,5
Austria	123.746	56.890	559.126	221	-1	0	-15	5
Viet Nam	103.432	103.310	553.452	187	188	145	-14	4,2
Finland	7.577	-480	59.804	127	-21	-26	-21	0,3
Norway	6.587	699	13.359	493	4	-37	57	0,3
Indonesia	5.225	5.196	64.458	81	165	202	-46	0,2
Brazil	4.361	4.337	24.368	179	663	825	210	0,2
Thailand	2.722	2.272	25.429	107	234	363	-83	0,1

Sumber/souce: Trademap (2016)

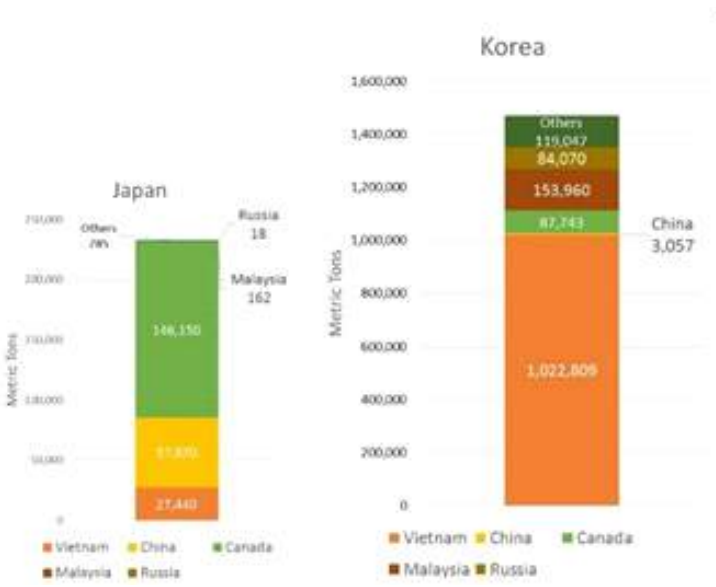


Sumber/source : EIA (2016)

Gambar 5. Penjualan, produksi dan bahan baku dari bahan bakar biomassa yang dipadatkan (periode Januari – Juni 2016)
Figure 5. Sales, production and raw materials from compacted biomass fuel (period from January to June 2016)

(dalam ribu) USD 114.900 (menguasai 64,9% pasokan di Republik Korea). Indonesia sendiri hanya (dalam ribu) USD 7.126 (menguasai 4% pasokan di Republik Korea).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 6. Sumber impor pelet kayu Jepang dan Korea Selatan, 2015 (ITA 2016)
Figure 6. Imported wood pellets by source for Japan and Korea, 2015 (ITA 2016)

Manajemen logistik dalam persaingan harga pelet kayu

Khusus untuk pelet kayu, Goh (2013) menyatakan berdasarkan hasil penelitiannya bahwa biaya pengiriman melalui laut bersifat tidak tetap (*volatile*). Biaya pengiriman sebagian besar terdiri dari dua faktor, *daily charter* (sewa per hari) dan *bunker cost* (bahan bakar yang dikonsumsi selama perjalanan). Keduanya sangat fluktuatif. Biaya pengiriman biomassa umumnya berasal murni dari pengiriman. Oleh karenanya, untuk mendapatkan pelet kayu dengan harga dan kualitas yang sesuai dengan standar Uni Eropa, berdasarkan data Qian (2013), negara-negara Eropa banyak mengambil pelet kayu dari wilayah Amerika Utara atau wilayah Eropa dengan tujuan untuk mengurangi waktu dan biaya pengiriman (Goh 2013). Untuk mengatasi permasalahan transportasi dan logistik dalam



Gambar 7. Fasilitas manufaktur dengan kapasitas dan status, Januari 2016 (EIA 2016)
Figure 7. The manufacturing facility with the capacity and status, January 2016 (EIA 2016)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

memenuhi target ekspor pelet kayunya di tahun 2017, berdasarkan data EIA (2016), Amerika Serikat meningkatkan produksinya dengan membangun 14 fasilitas produksi baru (Gambar 7) yang diharapkan dapat memenuhi peningkatan permintaan pasar Eropa.

Tantangan regulasi keberlanjutan terhadap bahan baku kayu

Terkait regulasi kayu, Uni Eropa juga mengeluarkan aturan mengenai regulasi keberlanjutan dari bahan baku guna mencegah kerusakan lingkungan akibat eksplorasi hutan untuk mendapatkan bahan baku pelet kayu dalam Regulasi Uni Eropa No. 995/2010 yang kemudian dijabarkan dalam Regulasi Uni Eropa No. 607/2012. *Department of Energy and Climate Change* (DECC) (2014) mengeluarkan regulasi keberlanjutan yang disebut sebagai '*Timber Standard*' yang nantinya akan diperlukan untuk menerima dukungan dana untuk proyek-proyek energi pelet kayu di bawah skema dukungan keuangan pemerintah Inggris Raya untuk energi. '*Timber Standard*' sesuai dengan pedoman yang diusulkan Komisi Eropa dalam regulasi *Europe Union Timber Regulation* (EUTR) yang mengamanatkan baik dari bahan baku, pemasok, operator, penjual hingga produk akhir harus memenuhi persyaratan dari kebijakan pengadaan kayu di wilayah Uni Eropa (Inggris Raya meskipun bukan bagian dari Uni Eropa, masih mengadopsi aturan Uni Eropa selama masa peralihan). Di Inggris Raya sebagaimana diatur oleh *Central Point of Expertise on Timber* di Inggris Raya atau yang dikenal sebagai CPET. CPET membutuhkan bukti sumber yang legal dan terjaga kelestariannya dalam bentuk sertifikasi yang disetujui oleh skema sertifikasi hutan (termasuk FSC, PEFC, dan SFI) atau dengan bukti yang memenuhi kriteria ketat lainnya (yang disebut bukti Kategori B). Pada Kategori B, pemasok memverifikasi keberlanjutan pelet kayu dengan mengikuti *The Risk-Based Assessment Regional*: Sebuah pendekatan dengan *checklist* (Goetzl 2015). Pada *checklist* menyajikan banyak undang-undang kayu utama Inggris Raya dan diberikan contoh-contoh bukti untuk dapat memenuhi persyaratan tertentu. *Checklist* disusun menjadi tiga bagian, masing-masing meneliti aspek yang berbeda dari proses produksi. Misalnya, *checklist* menganalisa sistem dan praktek-praktek yang dilakukan pada pengelolaan hutan untuk meminimalkan konsekuensi bahaya pada hutan sumber. *Checklist* juga terkait mengenai praktek-praktek kerja yang dilakukan pada setiap tingkat produksi. Pelet kayu termasuk dalam produk yang diatur berdasarkan Annex dari Regulasi Uni Eropa No. 995/2010.

Persyaratan keberlanjutan dari Inggris Raya menjadi masalah bagi industri pelet kayu Amerika Serikat karena sebagian kayu yang dipasok ke produsen pelet kayu berasal dari hutan milik keluarga yang biasanya tidak bersertifikat ke salah satu skema keberterimaan dan mungkin juga tidak memenuhi persyaratan di Kategori B (Goetzl 2015). Hutan dari negara pemasok lainnya seperti Kanada, kebanyakan adalah milik pemerintah, yang memudahkan ketelusurannya dibandingkan sumber kayu dari Amerika Serikat. Di Vietnam, legalitas kayu juga menjadi masalah terbesar sehingga untuk memenuhi standar ekspor terutama ke Uni Eropa, Vietnam mengandalkan sumber kayu impor yang telah tersertifikasi (Intracen2016). Dalam hal legalitas kayu, di Indonesia terdapat tantangan yang cukup besar dalam mendorong penerapan SVLK bagi usaha kecil dan menengah (UKM). Berdasarkan data dari CIFOR, tantangan terbesar adalah besarnya jumlah perusahaan skala kecil, kira-kira lebih dari 700.000 perusahaan sejenis di Indonesia yang mempekerjakan hingga 1,5 juta orang. Tantangan mendasar lainnya dengan adopsi SVLK bagi UKM adalah banyak dari perusahaan yang tidak memenuhi persyaratan dasar legalitas bisnis. Selain itu, lambatnya proses verifikasi legalitas juga disebabkan karena biaya sertifikasi yang tinggi, ketidakcocokan antara persyaratan SVLK dengan strategi penghidupan petani hutan rakyat; terbatasnya pemahaman di kalangan usaha perkayuan skala kecil mengenai kebutuhan dan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

manfaat SVLK, dan terbatasnya kapasitas lembaga verifikasi untuk melaksanakan verifikasi SVLK.

Analisa Potensi Indonesia dalam Pengembangan Pelet Kayu

Pesaing utama Indonesia di ASEAN untuk pasar pelet kayu Korea Selatan adalah Vietnam (Gambar 6). Berdasarkan data kinerja daya saing ekspor pelet kayu ke Korea Selatan di 2015 (Tabel 7), Indonesia kalah bersaing dari Vietnam dimana Vietnam menguasai 64,9% pasar dan Indonesia hanya 4%. Dari segi harga terlihat harga yang ditawarkan Vietnam (USD 112/ton) lebih menarik bagi Korea dibandingkan Indonesia (USD 119/ton). Negara pesaing lain seperti Malaysia (USD 122 per ton, nilai penjualan USD 18.762 (dalam ribu), menguasai pasar 10,6%, Canada (USD 183 per ton, nilai penjualan USD 16.019 (dalam ribu), menguasai pasar 9,1%, dan Rusia (USD 134 per ton, nilai penjualan USD 11.296 (dalam ribu), menguasai pasar 6,4%).

Selain harga, terdapat 3 faktor untuk bisa berkompetisi dalam produksi pelet kayu, yaitu logistik, pasokan kayu, dan pengalaman (Gammell 2015). Jika dilihat dari segi pengalaman, Indonesia sudah memulai ekspor pelet kayu ke Korea sejak tahun 1988 berdasarkan laporan ITPC Busan (2014) dengan jumlah bervariasi. Jumlah terbesar dicapai pada tahun 2007 (Gambar 8) dengan jumlah produk sebesar 100.832 ton dengan nilai USD 8.241.000.

Ekspor Indonesia sempat berkurang drastis antara tahun 1996 hingga 2006 (Gambar 8). Hal ini disebabkan tidak mampunya Indonesia memenuhi kualitas kayu pelet yang cukup ketat yang diterapkan Korea Selatan. Berdasarkan laporan ITPC Busan (2014), selain hambatan standar mutu pelet kayu, hambatan lain untuk masuk ke pasar Korea Selatan adalah jarak antara Indonesia dan Korea Selatan terpaut cukup jauh (4.306 km, Trademap (2016)) sehingga biaya logistik yang dikeluarkan lebih mahal dibanding negara-negara pesaing seperti Tiongkok. Jika dilihat dari pasokan kayu, Indonesia, menurut Goh (2013), merupakan negara di Asia dengan sumber bahan baku melimpah untuk produksi pelet kayu terutama untuk pelet kayu yang menggunakan bahan baku dari residu minyak sawit dan tumbuhan lainnya (Tabel 8). Untuk pasokan kayu, jika dilihat dari luas lahan, luas lahan tanaman Indonesia lebih luas dibandingkan Vietnam (Gambar 9 dan 10), seharusnya pasokan untuk produksi pelet kayu di Indonesia dapat lebih besar dibandingkan Vietnam.

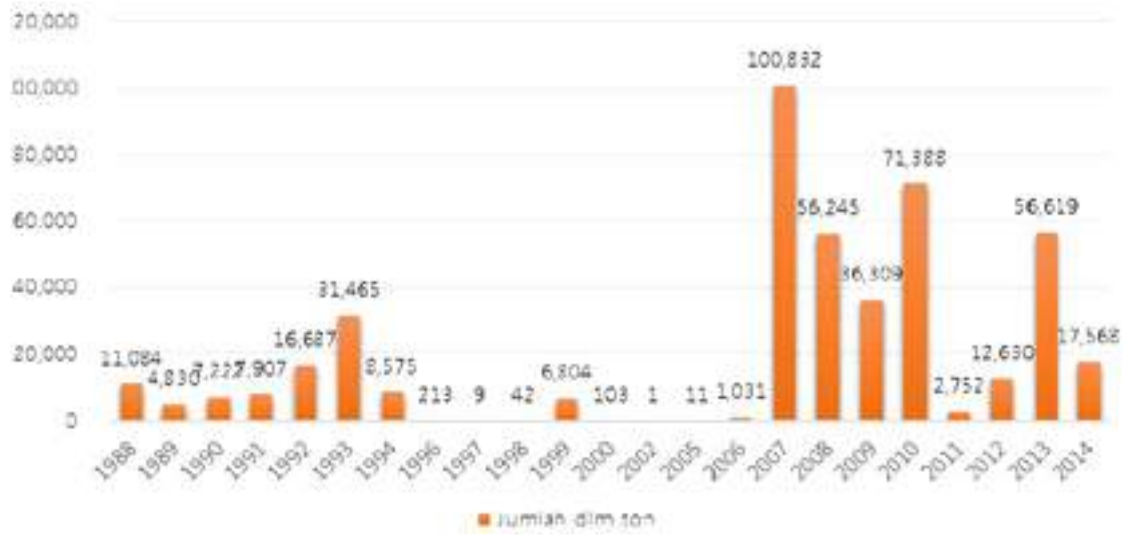
Hal ini terlihat dari perbandingan luas lahan tanaman permanen dan lahan pertanian yang dapat menjadi sumber bahan baku pelet kayu di Indonesia dengan Vietnam berdasarkan persentase luas

Tabel 7. Kinerja daya saing ekspor pelet kayu ke Korea Selatan di 2015
Table 7. Performance wood pellet export competitiveness to South Korea in 2015

Negara Pengekspor	Indikator Perdagangan								
	Nilai impor tahun 2015 (dalam ribu USD	Neraca perdagangan 2015 (dalam ribu USD	Bagian dalam impor Korea Selatan (%)	Kuantitas impor di 2015 (ton)	Nilai unit (USD/ unit)	Pertumbuhan nilai impor antara 2011-2015 (%, p.a.)	Pertumbuhan kuantitas impor antara 2011-2015 (%, p.a.)	Pertumbuhan nilai impor antara 2014-2015 (%, p.a.)	Total pertumbuhan nilai ekspor negara mitra antara 2011-2015 (%, p.a.)
Total	176.963	-176.748	100	1.470.684	120	124	120	-45	15
Viet Nam	114.900	-114.685	64,9	1.022.809	112	139	133	-7	188
Malaysia	18.762	-18.762	10,6	153.959	122	111	110	-31	39
Kanada	16.019	-16.019	9,1	87.743	183	249	263	-76	0
Rusia	11.296	-11.296	6,4	84.070	134	103	97	97	4
Indonesia	7.766	-7.766	2,7	65.686	118	138	124	-30	13

Sumber/source : Trademap (2015b)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 8. Jumlah impor pelet kayu Indonesia ke Korea Selatan dari 1988 hingga 2014 (ITPC Busan 2014)
Figure 8. The number of imported wood pellets Indonesia to South Korea from 1988 to 2014 (ITPC Busan 2014)

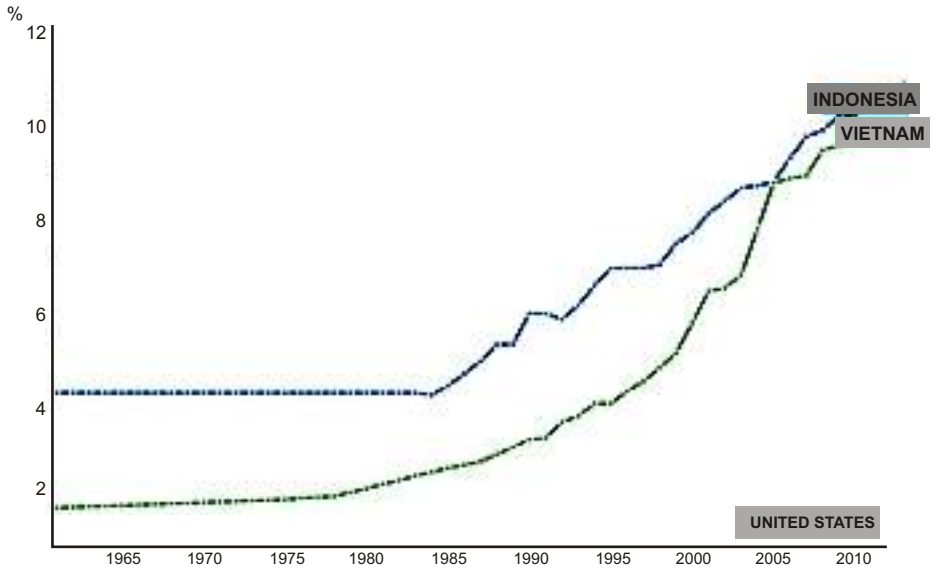
Tabel 8. Potensi bahan baku dari sisa tanaman di negara Asia
Table 8. Residual potential Asian countries

	Indonesia	Malaysia	Filipina	Thailand
Bahan bakar kayu dari tanah hutan	2.359	320	119	137
Bahan bakar kayu dari pertanian	1.272	336	558	467
Bahan bakar kayu dari kayu lainnya	61	-	-	284
Limbah kayu dari sisa pembukaan hutan	2.232	811	361	-
Total bahan bakar kayu	5.924	1.467	1.068	888
50% dari sisa tanaman	457	49	198	317
Total potensial	6.381	1.516	1.266	1.205

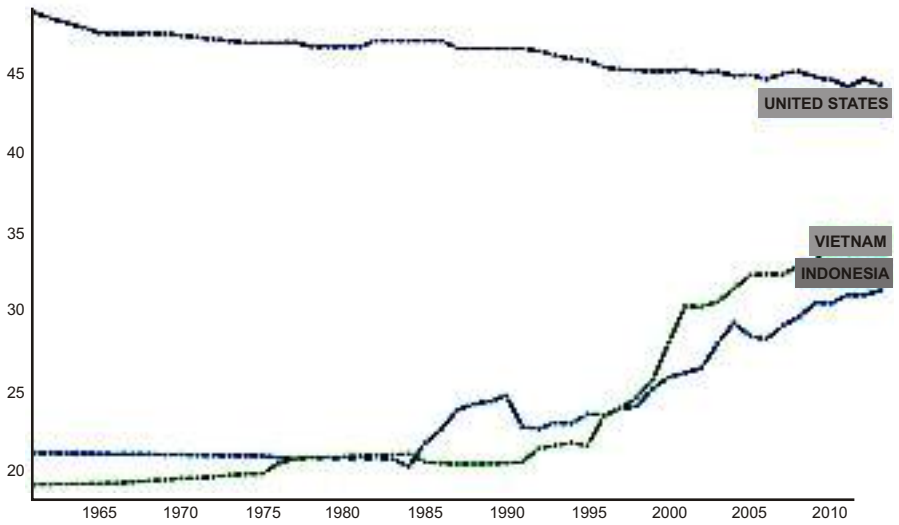
Sumber/source: Goh (2013)

daerahnya yang terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Kayu yang berasal dari lahan tanaman atau lahan pertanian yang telah dipanen atau kayu yang berasal dari pembukaan lahan yang selama ini dianggap limbah dapat digunakan sebagai bahan baku sehingga dapat menghasilkan nilai tambah dibandingkan kayu tersebut dibakar atau dibuang. Untuk sumber bahan baku yang berasal dari hutan, sumber utama bahan baku pelet kayu Amerika Serikat berasal dari hutan (Goetzl 2015). Jika kita lihat perbandingan hutan di Indonesia dengan Vietnam dan Amerika Serikat (Gambar 11), terlihat Amerika Serikat dapat menguasai pasar pelet kayu dunia dikarenakan dukungan luas hutannya yang lebih besar dibandingkan Indonesia dan Vietnam. Hutan Indonesia dibandingkan Vietnam, berdasarkan data Worldbank, lebih besar (berdasarkan data tahun 2015 (dalam km^2, Indonesia = 910.100; Vietnam = 147.730; AS = 3.100.950). Harusnya dengan kondisi alam Indonesia yang lebih luas dan kaya akan sumber bahan baku dapat meningkatkan posisi saing Indonesia dalam ekspor pelet kayu, terutama dalam persaingan di harga dan ketersediaan produk. Dengan semakin meningkatnya jumlah bahan baku maka permasalahan dalam menentukan harga hanyalah dari biaya logistik dan Indonesia bisa menjamin negara pengimpor terutama mereka yang menggunakan pelet kayu untuk bahan bakar pembangkit listrik untuk mengambil produk dari

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 9. Perbandingan luas lahan tanaman (persen luas area) Indonesia dibandingkan Vietnam dan Amerika Serikat (Worldbank 2016).
Figure 9. Comparison of plant area (percent area) of Indonesia compared to Vietnam and USA (Worldbank 2016).

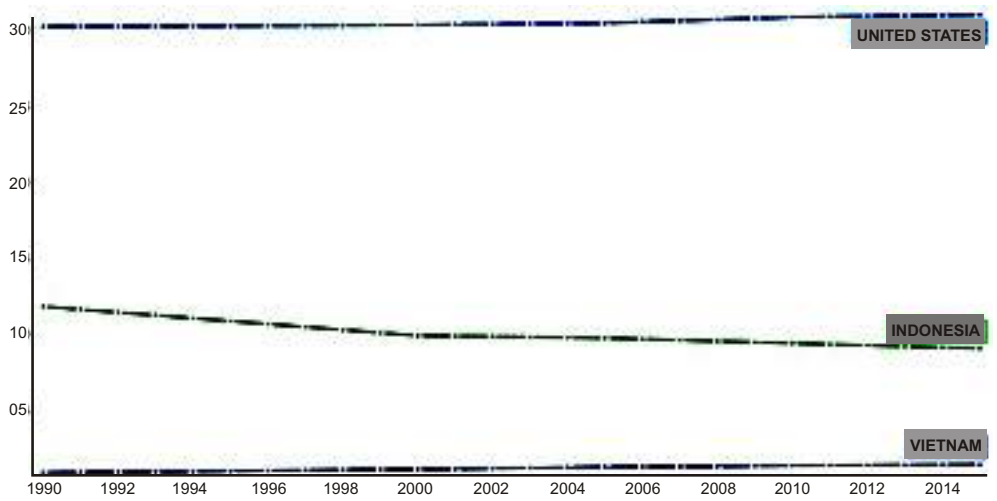


Gambar 10. Perbandingan luas lahan pertanian (persen luas area) Indonesia dibandingkan Vietnam dan Amerika Serikat (Worldbank 2016).
Figure 10. Comparison of area of agriculture (percent area) of Indonesia compared to Vietnam and USA (Worldbank 2016).

Indonesia karena ada jaminan ketersediaan bahan baku terus menerus.

Terkait sertifikasi keberlangsungan bahan baku, pemerintah Indonesia memberi dukungan untuk pengelolaan hutan oleh masyarakat dengan memberikan kemudahan dalam legalitas bahan baku kayu dengan dikeluarkannya Permen LHK No. P.83/MENHLK/SETJEN/ KUM.10/2016 tentang Perhutanan Sosial. Program Perhutanan Sosial sendiri bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui pola pemberdayaan dan dengan tetap berpedoman pada aspek kelestarian. Program Perhutanan Sosial akan membuka kesempatan bagi masyarakat di sekitar hutan untuk mengajukan hak pengelolaan area hutan kepada pemerintah. Setelah disetujui maka masyarakat dapat mengolah dan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 11. Perbandingan luas wilayah hutan (km persegi) Indonesia dibandingkan Vietnam dan Amerika Serikat
Figure 11. Comparison of area of forest (km square) Indonesia compared to Vietnam and United States

mengambil manfaat dari hutan dengan cara-cara yang ramah lingkungan.

Indonesia memiliki varian tumbuhan yang dapat digunakan sebagai bahan baku pelet kayu. Bahan baku pelet kayu dari daerah Amerika Selatan dan Kanada kebanyakan berasal dari kayu keras, seperti pinus, baik yang berupa kayu utuh, sisa potongan, debu sisa gergaji hingga berbentuk serpihan kecil sisa dari pengolahan kayu (Gammell 2015). Menurut hasil analisa Gravalos (2010), biomassa yang berasal dari tanaman dan hasil pertanian serta tanaman hijau memilliki nilai kalori yang tinggi saat diuji sebagai bahan bakar dengan menggunakan *Oxygen Bomb Calorimeter* dengan model C5000 Adiabatic Calorimeter, IKA®-Werke, Staufen, buatan Jerman (Tabel 9). Tanaman yang diuji adalah:

a. Batang dari tanaman perkebunan yaitu kapas dan *cardoon*;
b. Tumbuhan untuk pakan ternak yaitu *Typha Angustifolia* (lembang atau embet, sejenis tumbuhan serupa rumput besar yang menghuni rawa-rawa, terutama dekat pantai namun juga di pegunungan) dan *Phragmites australis* (prumpung atau perumpung, sejenis rumput besar dan menahun yang sering ditemukan tumbuh di tepi air, tanah-tanah yang becek atau di tempat lembab ini menyebar di seluruh wilayah tropis); dan
c. residu hutan yaitu tumbuhan poplar, pinus, cemara, dan beech.

Tabel 9. Hasil analisis pelet dari sumber tanaman pertanian, pakan ternak, dan residu hutan
Table 9. Results analysis of pellets from agricultural crop, forage, and forest residues

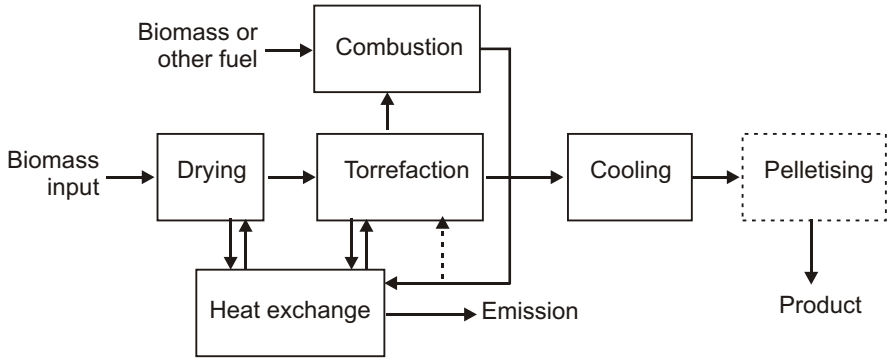
Pelet	Diameter	Panjang	Nilai kalori bersih	Kandungan debu
	mm	mm	kJ/g	%
Kapas	6,20	21,75	16,988	3,49
Cardoon	6,20	21,76	14,590	8,33
Phragmites australis	6,20	21,76	16,471	7,46
Typha angustifolia	6,20	21,75	16,584	6,78
Poplar	6,20	21,75	17,814	0,79
Beech	6,20	21,75	18,050	0,77
Pine	6,20	21,75	18,754	0,64
Fir+Pine (50%+50%)	6,20	21,75	18,367	0,71

Sumber/source : Gravalos (2010)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Permasalahan saat pengiriman adalah meningkatnya kadar air dari pelet kayu karena pelet kayu bersifat higroskopis dan rentan terhadap air (dikarenakan berasal dari kayu) serta rentan terdegradasi secara biologis menurut Nunes (2014). Untuk mengurangi kadar debu yang dihasilkan dari pelet kayu, Koppejan (2012) menemukan bahwa proses dikeringkan hingga kering (*torrefy*) dengan melakukan integrasi proses pemanasan (Gambar 12). Keuntungan dari proses ini adalah dihasilkan pelet dengan karakteristik bahan bakar lebih baik dibandingkan pelet kayu dan mendekati karakteristik arang dan batu bara (Tabel 10). Dengan melakukan *torrefaction* pada pelet kayu, diharapkan untuk adanya peningkatan ketahanan dan kemudahan pelet saat dikirim. Dari segi perizinan, pelet yang telah di-t*orrefy* dianggap bahan tidak berbahaya (*non-hazardous good*) tetapi untuk pengiriman masih diperlukan registrasi REACH (Registration, Evaluation, Authorization & restriction of Chemicals)(Goh 2013).

Terkait regulasi ekspor pelet kayu dari Indonesia, kemudahan telah diberikan dengan adanya dukungan pemerintah terkait legalitas dan dipermudahnya ketersediaan bahan baku dengan adanya aturan perhutanan sosial. Selain itu, mengenai tarif yang diterapkan negara pengimpor produk pelet kayu dari Indonesia, pasar impor utama pelet kayu seperti Korea Selatan, Jepang, dan Uni Eropa menerapkan



Gambar 12. Sekilas mengenai proses integrasi panas (Koppejan 2012)
Figure 12. Overview of heat integration options (Koppejan 2012)

Tabel 10. Varian dalam bahan bakar biomasa yang cocok dalam pembakaran pembangkit
Table 10. Variety in fuels suitable for biomass co-firing

Parameter	Kayu	Pelet kayu	Pelet *torrefy*	Arang	Batu bara
Kadar air (% wt)	30 - 45	7 – 10	1 - 5	1 - 5	10 – 15
Nilai kalor terendah (MJ/kg)	9 - 12	15 – 18	20 – 24	30 – 32	23 – 28
Kandungan bahan yang mudah menguap (% db)	70 – 75	70 – 75	55 – 65	10 – 12	15 – 30
Karbon terikat (% db)	20 – 25	20 – 25	28 – 35	85 – 87	50 – 55
Kepadatancurah (kg/l)	0,2 – 0,25	0,55 – 0,75	0,75 – 0,85	~ 0,20	0,8 – 0,85
Kepadatan energy(curah) (GJ/m^3)	2,0 – 3,0	7,5 – 10,4	15,0 – 18,7	6 – 6,4	18,4 – 23,8
Debu	Sedang	Terbatas	Terbatas	Tinggi	Terbatas
Sifat hidroskopis	Hidrofilik	Hidrofilik	Hidrofobik	Hidrofobik	Hidrofobik
Degradasi biologis	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak
Kemampuan digiling	Buruk	Buruk	Baik	Baik	Baik
Penanganan	Khusus	Khusus	Baik	Baik	Baik
Variabilitas kualitas	Tinggi	Terbatas	Terbatas	Terbatas	Terbatas

Sumber/source : Koppejan (2012)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

tarif 0% *ad valorem* (pertambahan nilai masuk) (Trademap 2015c), sehingga diharapkan akan menambah pasokan pelet kayu ke negara-negara tersebut.

Kesimpulan dan Rekomendasi Kebijakan

Kesimpulan

Berdasarkan data-data yang diperoleh dan dijabarkan di atas, Indonesia dapat menjadi produsen utama produk pelet kayu di ASEAN untuk ekspor dan bersaing dengan negara pengekspor pelet kayu seperti Amerika Serikat dan Vietnam dikarenakan:

1. Sumber daya bahan baku untuk pelet kayu sangat banyak dan melimpah di Indonesia. Indonesia memiliki kelebihan dalam luas lahan tanaman yang lebih luas dibandingkan Vietnam.
2. Sertifikasi dan keberlangsungan bahan baku. Dengan adanya dukungan dari pemerintah Indonesia dengan dimudahkannya sertifikasi legalisasi kayu dan diberikannya program perhutanan sosial diharapkan produk pelet kayu dapat diterima oleh pasar Eropa yang mensyaratkan adanya jaminan keberlangsungan dari bahan baku.
3. Harga jual. Meskipun harga jual pelet kayu Indonesia lebih mahal dibandingkan Vietnam, tetapi jika dibandingkan dengan negara pesaing lainnya masih lebih rendah.
4. Alternatif bahan baku. Sisa tanaman padi, kapas dan tanaman lainnya dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan pelet kayu. Selain itu, tumbuhan dan semak liar yang banyak tumbuh di iklim Indonesia seperti embet (*Typha angustifolia*) dan perumpung (*Phragmites*) yang dapat dimanfaatkan menjadi alternatif bahan baku pembuatan pelet kayu karena memiliki energi lebih dari 16.000 kJ/g (Tabel 6) mendekati energi yang dihasilkan tumbuhan *poplar*, pinus, cemara dan *beech*.

Selain keuntungan di atas, terdapat beberapa hal yang perlu menjadi perhatian khusus oleh produsen pelet kayu, yaitu:

1. Kualitas produk.

   Kualitas produk yang dihasilkan tidak dapat memenuhi standar kualitas di negara tujuan ekspor, oleh karenanya negara pengimpor produk pelet kayu beralih ke negara yang bisa memenuhi standar yang mereka inginkan.
2. Jarak pengiriman.

   Salah satu sebab penurunan ekspor pelet kayu Indonesia ke Korea Selatan adalah karena jarak tempuh yang dianggap jauh. Sifat pelet kayu yang higroskopis menyebabkan perubahan kualitas produk saat sampai di tujuan tidak sesuai dengan standar yang dibutuhkan.

Rekomendasi Kebijakan

1. Terkait legalitas kayu, berdasarkan Permen LHK No. P.83/MENHLK/SETJEN/ KUM.10/2016 tentang Perhutanan Sosial, masyarakat dapat mengajukan insentif berupa dukungan teknis dari pemerintah dalam mengelola perkebunan tanaman dalam area yang mereka ajukan. Dukungan teknis dapat berupa sertifikasi khusus dari pemerintah yang menyatakan bahwa bahan baku kayu yang digunakan dalam produksi pelet kayu tetap menjaga kelestarian dan keberlang-sungan lingkungan. Hal ini berguna untuk memenuhi persyaratan bahwa produk pelet kayu yang dihasilkan harus memperhatikan aspek lingkungan yang disyaratkan di negara tujuan ekspor.
2. Agar produk pelet kayu Indonesia dapat diterima oleh konsumen di negara tujuan ekspor, maka dipandang perlu diadakan kerjasama berupa investasi di bidang teknologi *torrefaction* antara Indonesia dengan negara konsumen. Diharapkan dengan dilakukannya kerjasama, maka produk pelet kayu Indonesia dapat diterima di negara investor karena produk yang dihasilkan sesuai dengan keinginan mereka. Hal ini penting untuk menambah pengalaman Indonesia sebelum melakukan ekspansi ke negara lainnya.
3. Pengembangan produk pelet kayu.

   Segmen pasar dari produk pelet hasil *torrefaction* adalah untuk industri pemanas, pemanasan rumah

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

tangga, dan untuk produksi pembangkit listrik skala besar (Koppejan 2012). Oleh karenanya, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait aplikasi teknologi ini dalam pengembangan pelet kayu.

Daftar Pustaka

Center for International Forestry Research (CIFOR). 2014.Verifikasi legalitas kayu di Indonesia dan usaha kehutanan skala kecil. http://www.cifor.org/library/4558/verifikasi-legalitas-kayu-di-indonesia-dan-usaha-kehutanan-skala-kecil-pelajaran-dan-opsi-kebijakan/ (diakses November 2016).

Departement of Energy & Climate Change. 2014. Timber standard for heat & electricity: Woodfuel used under the renewable heat incentive and renewables obligation, London.

EU Emissions Trading System (EU ETS) Handbook.2017. http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/revision_en.htm (diakses Januari 2017).

International Trade Administration, Departement of Commerce United States of America. 2016. 2016 Top market reports renewable fuels, sector snapshot. biomass wood pellets. http://trade.gov/topmarkets/pdf/Renewable_Fuels_Biomass_Wood_Pellets.pdf (diakses Januari 2017).

Gammell T. 2015. The U.S. South export pellet sector.Wood Pellet Association of Canada 2015 Conference, Halifax, Nova Scotia.

Goetzl A. 2015. Developments intheglobal trade of wood pellets.Office of Industries, US International Trade Commission, Office of Industries Working Paper-US International Trade Commission, Januari 2015.

Goh CS, Junginger M. 2013. Low cost, long distance biomass supply chains. IEA Bioenergy Task 40: Sustainable international bioenergy trade. August 2013.

Gravalos I, Kateris D, Xyradakis P, Gialamas T, Loutridis S, Augousti A, Georgiades A, Tsiropoulos Z. 2010. A study on calorific energy values of biomass residue pellets for heating purposes. Forest engineering: Meeting the needs of the society and the environment, July 11 – 14, 2010, Padova – Italy. http://emestlab.com/lab/Portals/0/Papers/formeco01.pdf (diakses Januari 2017).

Indonesia Trade Promotion Center Busan. 2014. Market brief kayu pelet di Korea Selatan. Mei 2014. http://itpc-busan.kr/wp-content/uploads/2014/12/201405-01-WoodPellet.pdf (diakses Januari 2017).

Koppejan J, Sokhansanj S, Melin S, Madrali S. 2012. Status overview of torrefaction technologies. IEA Bioenergy Task 32 Report. Enschede, December 2012.

Krievina A. 2016.Comparison of the consumption of wood pellets between Latvia and Other EU Countries. Proceedings of the 2016 International Conference "Economic Science for Rural Development" No 41, Jelgava, LLU ESAF, 21-22 April 2016.

Nunes LJR, Matias JCO, Catalão JPS. 2014. A review on torrefied biomass pellets as a sustainable alternative to coal in power generation. Renewable and Sustainable Energy Reviews **40**(C):153-160.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan. 2014. Infotek perkebunan, media bahan bakar nabati perkebunan. Volume 6, No.12, Desember 2014. http://perkebunan.litbang.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2015/04/perkebunan_infotekVol6-12-14-hal11.pdf (diakses Januari 2017).

Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2016. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.83/MENHLK/SETJEN/ KUM.10/2016 tentang Perhutanan Sosial.

Porter ME. 1990. Competitive advantage of nations: With a new introduction. The Free Press, New York.

Qian Y. 2013. The wood pellet value chain: An economic analysis of the wood pellet supply chain from the Southeast United States to European Consumers.U.S. endowment for forestery and communities. http://www.usendowment.org/images/The_Wood_Pellet_Value_Chain_Revised_Final.pdf (diakses Januari 2017).

Roos A. 2012. The Asian wood pellet markets, United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, General Technical Report PNW-GTR-861, May 2012.

Schuman S. 2012. China's renewable energy law and its impact on renewable power in China: Progress, challenges and recommendations for improving implementation. Energy Policy **51:** 89-109.

Stephenson A. 2014. Life cycle impacts of biomass electricity in 2020. Scenarios for assessing the green house gas impacts and energy input requirements of using North American woody biomass for electricity generation in the UK. UK Department of Energy and Climate Change, July 2014. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/349024/BEAC_Report_290814.pdf (diakses Januari 2017).

The Paris Protocol. 2015. A blue Print for tackling global climate change beyond 2020. Communication from the Commision to the European Parliament and the Council, Brussels, March 2015. http://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/internatonal/paris_protocol/docs/com_2015_81_en.pdf (diakses Januari 2017).

Trademap. 2016. Perdagangan bilateral Indonesia – dunia dengan HS Code 270111, 270112, 270119 dan 440131. http://trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm=1|360||||270111|||6|1|1|2|2|1|2|1|1 (diakses November 2016).

Trademap. 2015a. Daftar negara dunia pengimpor produk dengan HS Code 440131. http://trademap.org/Country_SelProduct.aspx?nvpm=1|||||440131|||6|1|1|1|1||2|1|1 (diakses April 2017).

Trademap. 2015b. Daftar negara pengekspor pelet kayu ke Korea Selatan. http://trademap.org/Country_SelProductCountry.aspx?nvpm=1|410||||440131|||6|1|1|1|1||2|1|1 (diakses April 2017).

Trademap. 2015c. Tarif yang diterapkan oleh negara pengimpor pelet kayu dari Indonesia. http://www.macmap.org/QuickSearch/CompareTariffs/CompareTariffsResultsMap.aspx?product=440131&country=360&isimporter=0 (diakses April 2017).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

United Nations Statistics Division. 2010. Environmental indicators: GHGs. http://unstats.un.org/unsd/ENVIRONMENT/air_greenhouse_emissions.htm (diakses Januari 2017).

U.S. Energy Information Administration. 2014. U.S. Wood pellet export double in 2013 response to growing European demand. Today in Energy. http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=16391 (diakses Januari 2017).

U.S. Energy Information Administration. 2016. New EIA survey collects data on production and sales of wood pellets. Today in Energy. http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=29152 (diakses Januari 2017).

Worldbank. 2016. Perbandingan luas lahan tanaman, pertanian (persen luas area) dan luas wilayah (km persegi) indonesia dibandingkan Vietnam dan Amerika Serikat dari Worldbank. http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.CROP.ZS?gclid=CKDS8LKhw9ACFdCHaAodRWoD4g&locations=ID-US-VN (diakses November 2016).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Vol: 2 No.2 September 2013 **ISSN: 2302-2949**

KONSEP INTEGRASI PEMBANGKIT BERBASIS ENERGI TERBARUKAN SEBAGAI SISTEM MIKROGRID DI KABUPATEN PESISIR SELATAN

Rosnita Rauf
Program Studi Pasca Sarjana Teknik Elektro, Fakultas teknik
Universitas Andalas

Abstract *- Energy grid management systems are the future of many developed countries today was developed called smart grid. Energy management in a smart grid is to use the concept of merging a few plants and a group of users in a particular area or within a certain grid. Generating an initial variable as the giver of energy input while the end users are variable power grid as a user of this hybrid energi. Sistem simulated using HOMER program and perform calculations with MATLAB system. Integration of these variables in a management area network will provide the optimal parameter if it can be supported by computer networks to obtain communications data from the SCADA system. With mikrogrid designed to have two streams, namely electricity and information flow, SCADA here designed to cover all the flow of information from the plant to the customer. The basic activity is the activity under taken monitoring and control of activities which aim to balance the grid. Monitoring aims to add to the data on plants and customers in order to assist decision-making at the micro grid system inside. Control activities aim to maintain a balanced energy intake of multiple power plant priority points toward energy use by multiple end users in the grid.*

Abstrak *- Sistem pengelolaan grid energi masa depan yang banyak dikembangkan negara maju saat ini biasa disebut smart grid. Pengelolaan energi dalam smart grid ini menggunakan konsep penggabungan beberapa pembangkit dan sekelompok pengguna dalam wilayah tertentu atau dalam grid tertentu. Pembangkit merupakan variabel awal sebagai pemberi masukan energi sedangkan pengguna merupakan variabel akhir grid sebagai pemakai energi. Sistem tenaga hybrid ini disimulasikan dengan menggunakan program HOMER dan melakukan perhitungan system dengan MATLAB. Penggabungan variabel-variabel tersebut dalam sebuah area network akan memberikan pengelolaan parameter yang optimal jika dapat didukung dengan jaringan computer untuk mendapatkan komunikasi data dari system SCADA. Dengan mikrogrid dirancang mempunyai dua aliran yaitu aliran listrik dan aliran informasi, SCADA disini dirancang untuk mencakup semua aliran informasi dari pembangkit hingga pelanggan. Aktivitas dasar yang dilakukan adalah aktivitas monitoring dan aktivitas kendali yang bertujuan untuk keseimbangan grid. Monitoring bertujuan untuk menambah data pada pembangkit dan pelanggan sehingga dapat membantu pengambilan keputusan pada mikro system didalam grid. Aktivitas pengendalian bertujuan untuk menjaga pengasupan energi yang seimbang dari multiple power plant menuju titik-titik prioritas penggunaan energi oleh multiple end user didalam grid.*

Keywords: Energy, Mikrogrid, HOMER, MATLAB, SCADA

I. PENDAHULUAN

Menipisnya bahan bakar fosil dan peningkatan efek rumah kaca telah menjadi isu krusial yang harus ditangani secara global. Hal ini memicu banyak hal seperti penelitian dan pengembangan besar-besaran terhadap sumber energi alternatif ramah lingkungan beserta pilot plan penyaluran energi yang efisien[1].

Energi alternatif yang banyak dikembangkan adalah seperti energi angin, solar panel, solar collector, biofuel, fuel cell, mikrohidro, atau arus laut(1). "Mengingat energy yang berasal dari fosil (BBM) akan habis di tahun 2025. Sudah saatnya Indonesia mengembangkan energi terbarukan mulai menerapkan teknologi pembangkit smart grid yang merupakan teknologi mengoperasikan sistem tenaga listrik dengan mengombinasikan teknologi komputer, komunikasi dan jaringan[2]

Untuk Indonesia, teknologi ini pertama kali diterapkan di Sumba Barat Daya, Nusa Tenggara Timur[2]. Semakin berkembangnya dunia industry, sebuah system automasi seharusnya dapat dikontrol dan dipantau dari

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

jarak jauh, hal ini disebabkan karena mobilitas yang tinggi dari para pelaku industry yang mempunyai waktu terbatas, maka seharusnya sebuah system dapat dikontrol dari manapun juga[3].

Dengan kemajuan teknologi ini, maka penulis ingin mengintegrasikan dan mengatur berbagai pembangkit listrik energy terbarukan baik energy air, surya juga diesel yang ada di Kecamatan Bayang Kabupaten Pesisir Selatan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam agenda riset nasional, pengembangan energi baru dan terbarukan merupakan salah satu dari tujuh fokus nasional. Sebagai konsekuensinya, keberadaan pembangkit energi alternatif menimbulkan variabel-variabel baru dalam jaringan penyebaran listrik yang meminta peninjauan kembali keseimbangan pengasupan energi dari pembangkit- pembangkit yang berbeda untuk menjaga permintaan listrik tetap stabil[3]

Kendala utama yang dihadapi dalam pemanfaatan dari ketiga pembangkit listrik ini adalah efisiensi energi yang dihasilkan, yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, dalam hal ini cahaya matahari , Air dan Diesel. Selain itu, PLTS dan PLTMH mempunyai karakteristik lain, yaitu lokasi yang jauh dari perkotaan atau pemukiman, dan sifat pembangkitan yang terdistribusi. Sehingga untuk memantau dan mengendalikan PLTS dan PLTMH dengan karakteristik yang tersebut diatas diperlukan suatu sistem monitoring dan pengendalian jarak jauh, atau SCADA (Supervisory Control And listrik Data Acquisition)[4]

II.1.1 MikroGrid

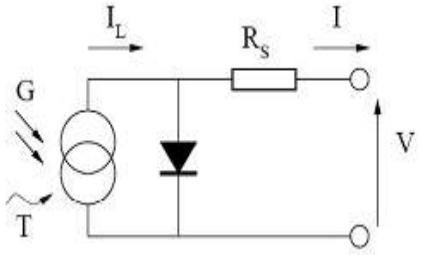
Istilah MikroGrid mengacu pada moderenisasi sistem pengelolaan energi listrik sehingga dapat memonitor, menjaga dan secara otomatis mengoptimalkan operasi antar elemen interkoneksinya – mulai dari pusat dan distribusi generator melalui jaringan transmisi tegangan tinggi dan jaringan sistem distribusi, ke pelanggan industri dan sistem automasi bangunan, ke instalasi penyimpanan energi dan ke konsumen pemakai terakhir, kendaraan listrik, peralatan dan perlengkapan rumah tangga lainnya [1].

Mikrogrid akan di karakterisasikan dengan aliran dua arah atas listrik dan informasi untuk menciptakan sebuah jaringan penyebaran energi listrik yang terdistribusi secara luas dan terotomasi. Smart grid ini memasukkan keuntungan sistem komunikasi dan komputasi terdistribusi kedalam grid. Hal ini akan menghadirkan informasi real-time dan memungkinkan keseimbangan antara asupan dan permintaan energy[1].

II.1.2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid pada PLTS, PLTD dan PLTMH

1. **Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Photovoltaic)**

Komponen utama dari PLTS adalah Photovoltaic (PV) yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Rangkaian ekivalen PV yang paling sederhana terdiri dari sebuah sumber arus yang dirangkai paralel dengan sebuah dioda. Output dari sumber arus berbanding lurus dengan cahaya yang menyinari sel PV. Parameter dioda menentukan karakteristik I-V dari sel PV tersebut.



Gambar 1. Model Photovoltaic

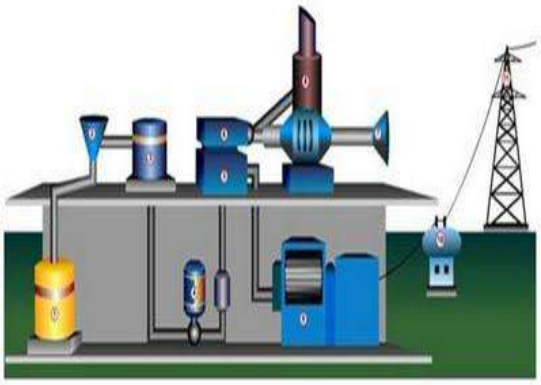
2.Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sesuai untuk diimplementasikan pada lokasi dimana pengeluaran bahan bakar rendah, persediaan air terbatas, minyak sangat murah dibandingkan dengan batubara dan semua beban dasarnya adalah seperti yang dapat ditangani oleh mesin pembangkit dalam kapasitas kecil, serta dapat berfungsi dalam waktu yang singkat. Kegunaan utama PLTD adalah penyedia daya listrik yang dapat berfungsi untuk pusat pembangkit, cadangan (stand by plant), beban puncak dan cadangan untuk keadaan darurat (emergency).

Komponen-komponen penting mesin PLTD adalah :

- Mesin / motor

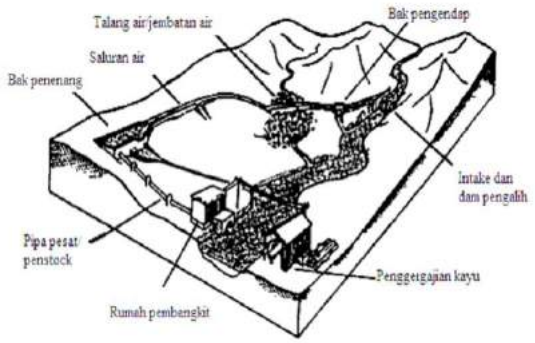
- Sistem bahan bakar
- Sistem udara masuk
- Sistem pembuangan gas
- Sistem pendinginan
- Sistem pelumasan
- Sistem penggerak mula



Gambar 2 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

3. Model Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikrohidro

Yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhan air (*head*). Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhan air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat kedalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibagun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator.



Gambar 3. skema pembangkit listrik tenaga mikrohydro

II.1.3 Software HOMER

Software HOMER adalah suatu perangkat lunak yang digunakan untuk operasi model sistem pembangkit listrik skala kecil (micropower), perangkat lunak ini mempermudah evaluasi disain sistem pembangkit listrik untuk berbagai jenis pembangkit listrik skala kecil baik yang tersambung ke jaringan listrik atau pun tidak. Perangkat Lunak ini melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap konfigurasi sistem yang akan dipertimbangkan. Kemudian menentukan konfigurasi yang layak, apakah dapat memenuhi kebutuhan listrik di bawah kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya modal,penggantian,operasi dan pemeliharaan, bahan bakar, dan bunga[3].

Kelebihan perangkat lunak ini adalah penggunaannya mudah, bisa mensimulasi, mengoptimasi suatu model kemudian secara otomatis bisa menemukan konfigurasi sistem optimum yang bisa mensuplai beban dengan biaya sekarang (NPC) terendah, dan bisa menggunakan parameter sensitifitas untuk hasil yang lebih bagus dan akurat.

II.1.4 Simulasi MATLAB

Matlab adalah interactive program untuk numerical computation dan data visualization, digunakan secara extensif oleh control engineers untuk analysis dan design.

Mengingat bervariasinya lingkungan yang menentukan ketersediaan sumber energi Surya, Energi Air skala Kecil dan Diesel sebagai pembangkit cadangan diperlukan

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

pemodelan pembangkit energi angin dan listrik serta baterai penyimpanan untuk mempermudah perancangan dan analisa sistem pembangkit tersebut. Demikian juga pemodelan sistem hibrid juga diperlukan dalam perancangan pengendali hibrid untuk mengoptimalkan kinerja masing-masing pembangkit yang digunakan. Dalam penelitian ini, penulis memodelkan pembangkit energi surya, air dan diesel serta kendali hibrid menggunakan MATLAB Simulink. Model yang dibuat merupakan gabungan dari beberapa model ke tiga system pembangkit tersebut.

II.1.5 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

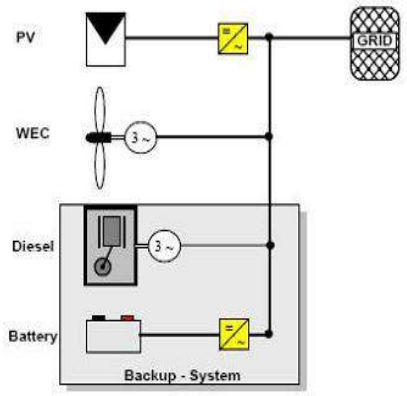
Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) adalah suatu sistem pembangkit listrik dengan memadukan beberapa sumber energi baru dan terbarukan.

PLTH (Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid adalah membangkitkan listrik digunakan lebih dari 1 macam pembangkit. Tetapi yang agak berbeda adalah kombinasi ini menggabungkan sumber energi yang dapat diperbaharui (renewable) dengan yang tidak dapat diperbaharui (unrenewable).

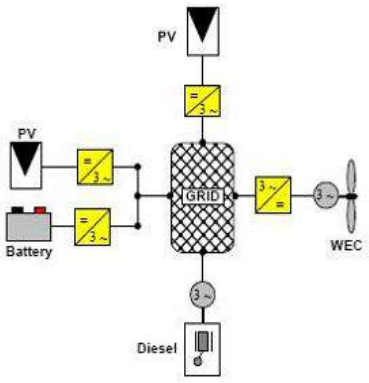
II.1.5.1 Arsitektur Sistem Tenaga Hybrid

Dalam penelitian ini, akan dibahas arsitektur pembangkit listrik tenaga nya yang terdiri dari 3(tiga) model yang nantinya disesuaikan dengan kondisi yang ada[3] .

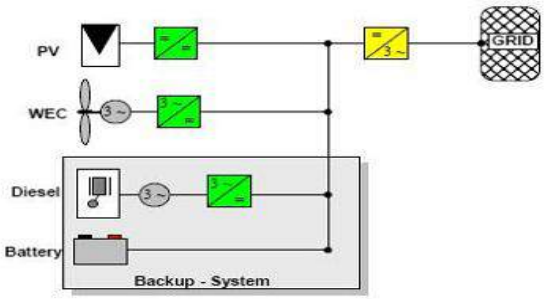
1. Pembangkit-pembangkit dan baterai dipasang disuatu lokasi dan dihubungkan ke AC bus sebelum dikoneksikan ke grid.



2. Pembangkit terdistribusi pada lokasi yang berbeda dan setiap pembangkit di koneksikan ke grid secara terpisah.



3. Dilakukan konversi tegangan AC ke DC pada pembangkit yang menghasilkan daya AC. Selanjutnya daya DC tersebut dikoneksikan ke DC bus dan sebuah pengubah tegangan DC ke AC digunakan untuk mengumpankan ke grid (AC).



II.1.6 Sistem Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)

SCADA merupakan system yang mengkombinasikan telemetri (pengukuran jarak jauh) dan akuisisi data SCADA mengumpulkan informasi dari peralatan di lapangan yang selanjutnya dikirimkan ke pusat, kemudian dilakukan analisa dan pengendalian yang diperlukan dan menampilkan informasi tersebut pada layar operator[3].

SCADA berfungsi untuk memantau dan mengendalikan peralatan di lapangan dari jarak jauh menggunakan jaringan telekomunikasi[4].

Arsitektur system SCADA terdiri dari komponen sebagai berikut :

1. Peralatan lapangan (sensor dan actuator)
2. Remote Terminal Unit (RTU), umumnya berupa PLC (Programmable Logic Control) yang berfungsi mengendalikan actuator, membaca sinyal dari sensor dan berkomunikasi dengan pusat pengendali.
3. Jaringan komunikasi, digunakan untuk menghubungkan RTU dengan stasiun

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

pusat pengendali yang berupa jaringan kabel atau radio.

4. Stasiun pusat pengendali, merupakan stasiun pusat monitoring dan pengendalian yaitu SCADA

II.1.7 Programmable Logic Control (PLC)

Sebelum adanya Programmable Logic Controller ,sudah banyak peralatan kontrol sekuensial, semacam cam shaft dan drum. Ketika relay muncul, panel kontrol dengan relay menjadi kontrol sekuens yang utama. Ketika transistor muncul, solid state relay diterapkan pada bidang dimana relay elektro-magnetik tidak cocok diterapkan seperti untuk kontrol dengan kecepatan tinggi.

Sekarang sistem kontrol sudah meluas sampai ke keseluruhan pabrik dan sistem kontrol total dikombinasikan dengan feedback, pemrosesan data dan sistem monitor terpusat.

Hal-hal yang dapat dikerjakan oleh PLC adalah :

1. Untuk Tipe Kontrol URUTAN (Sekuens) :
   a. Pengganti Relay Kontrol Logic Konvensional termasuk Timer/Counter.
   b. Pengganti Pengontrol card PCB.
   c. Sebagai mesin Kontrol Auto/Semi Auto/Manual dan proses-proses.

2. Untuk Tipe Kontrol Canggih :
   a. Operasi Aritmatik (+,-,x,:)
   b. Penanganan Informasi.
   c. Kontrol Analog (Suhu,Tekanan, dll).
   d. d.PID Control (Proportional-Integral-Derivatif)
   e. Kontrol Servo Motor.
   f. Kontrol Stepper Motor.

3. Untuk Tipe Kontrol Pengawasan :
   a. Proses monitor dan alarm.
   b. Monitor dan diagnosa kesalahan.
   c. Antarmuka dengan computer (RS232C/RS 422).
   d. Antarmuka Printer/ASCII.
   e. Jaringan kerja Otomatisasi Pabrik.
   f. Local Area Network.
   g. Wide Area Network.
   h. FA (Factory Automation), FMS (Factory Management System), CIM (Computer Integration Management), dll.

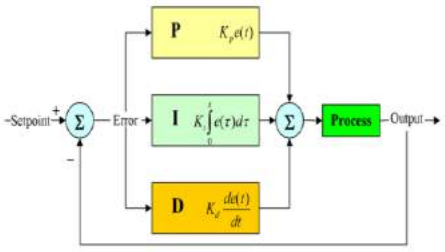
Keuntungan dari penggunaan PLC dalam Otomatisasi adalah :

1. Waktu Implementasi proyek dipersingkat.
2. Modifikasi lebih mudah tanpa biaya tambahan.
3. Biaya proyek dapat dikalkulasi dengan akurat.
4. Training penguasaan teknik lebih cepat.
5. Perancangan dengan mudah diubah dengan software, perubahan dan penambahan dapat dilakukan pada software.
6. Aplikasi kontrol yang luas.
7. Maintenance yang mudah. Indikator Input dan Output dengan cepat dan mudah dapat diketahui pada sebuah system. Konfigurasi output dengan tipe relay plug in.
8. Keandalan tinggi.
9. Perangkat kontroller standar.
10. Dapat menerima kondisi lingkungan industri yang berat.

II.1.8 Kontrol PID (*Proportional–Integral–Derivative)*

Kontrol PID merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tesebut.

Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu **Proportional, Integratif** dan **Derivatif**. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant.

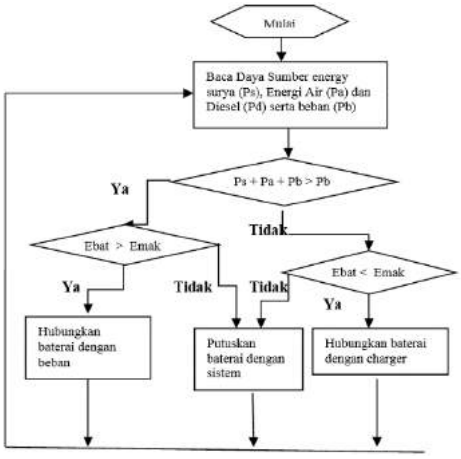


Gambar 2.4 Blok Diagram Kontrol PID

II.2 Kerangka Konsep Penelitian

Sistem hibrid yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari pembangkit energi surya, air dan diesel yang menggunakan salah satu arsitektur dari ketiga macam model.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA



Gambar 2.4 Diagram Alir proses charge dan discharge baterai

III. METODOLOGI PENELITIAN

Mikrogrid adalah konsep grid modern yang menggunakan teknologi digital sebagai dasarnya. Teknologi digital memungkinkan produsen untuk mentransmisikan listrik dan berkomunikasi dengan konsumen secara dua arah[(1)].

III.1 Metode yang digunakan

Dalam melakukan penelitian ini, metode yang digunakan adalah secara kuantitatif, dimana desain yang diteliti adalah spesifik dan menunjukan hubungan antar variable yang satu dengan yang lainnya.

Sistem smart grid dapat kita lihat pada gambar berikut[(1)],



Gambar 3.1 Skema Pembangkit Mikrogrid

III.2 Data dan Informasi yang diperlukan

Dari gambar system mikrogrid diatas, maka dibutuhkan data primer berupa :

1. Single line diagram pada daerah yang akan diteliti
2. Data-data kapasitas daya dari sumber-sumber yang ada

Begitu juga data sekunder dari hasil pengukuran variabel yang dioperasionalkan dengan menggunakan instrument.

III.3 Sumber data dan informasi

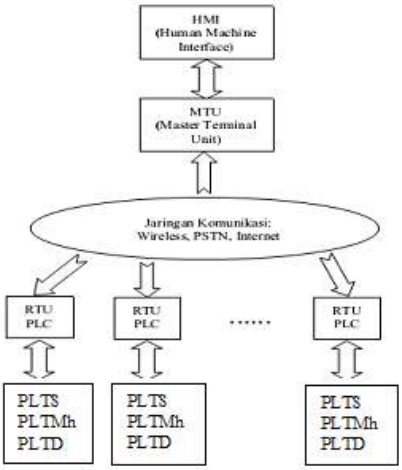
Data diambil dari lokasi penelitian yang dikaji yaitu di Dinas Kehutanan Energi dan Sumber Daya Mineral Kabupaten Pesisir Selatan serta mencari informasi dimana energy air, surya dan diesel itu berada.

III.4 Teknik pengumpulan data dan informasi

1. Untuk teknik pengumpulan data dengan melakukan survey ke daerah yang sudah menggunakan system mikrogrid atau study lapangan terkait dengan penelitian ini.
2. Mengambil data dilapangan berupa data system pembangkitan (daya, tegangan, beban).
3. Mengambil informasi dari literature yang mendukung dari pada penulisan thesis ini.

III.5 Instrumen penelitian

Pembahasan thesis ini dari ketiga model pembangkit tersebut yang merupakan tenaga hybrid menggunakan program HOMER yang melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap konfigurasi sistem yang akan dipertimbangkan. Begitu juga perhitungannya yang dilakukan dengan program MATLAB yang dioperasikan pada komputer personal. Validasi program juga dilakukan dan hasilnya menunjukkan bahwa program dapat digunakan untuk menghitung optimalisasi daya pada sistem yang ditinjau. Sistem pengontrolan dari sistem tenaga hybrid tersebut menggunakan SCADA dimana system mikrogrid ini telah diemplementasikan.



Gambar 3.2 Diagram alir system SCADA pada system tenaga hybrid

IV. KESIMPULAN

Microgrids modern, versi skala kecil dari sistem listrik terpusat. Mikrogrid ini bertujuan dalam sistem keandalan, pengurangan emisi karbon, diversifikasi sumber energi, dan pengurangan biaya, yang didirikan oleh komunitas yang dilayani. Seperti jaringan listrik massal, microgrid menghasilkan, mendistribusikan, dan mengatur aliran listrik ke konsumen, tetapi melakukannya secara lokal. Microgrids secara cerdas memiliki cara yang ideal untuk mengintegrasikan sumber daya energy baru terbarukan pada tingkat masyarakat dan memungkinkan untuk partisipasi pelanggan di perusahaan listrik. Pengelolaan energi dalam mikrogrid ini menggunakan konsep penggabungan beberapa pembangkit dalam hal ini ada tiga ppembangkit PLTMH, PLTS dan PLTD serta sekelompok pengguna dalam wilayah tertentu atau dalam grid tertentu.

Sistem tenaga hybrid ini disimulasikan dengan menggunakan program HOMER dan melakukan perhitungan system dengan MATLAB. Penggabungan variabel-variabel tersebut dalam sebuah area network akan memberikan pengelolaan parameter yang optimal jika dapat didukung dengan jaringan computer untuk mendapatkan komunikasi data dari system SCADA.

Biodata Penulis

Rosnita Rauf*, lahir di Bandar lampung pada tanggal 5 September 1974, merupakan anak ketujuh dari tujuh bersaudara.Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 6 Bandar Lampung, SMP Negeri I Pahoman dan SMA Negeri 4 Langkapura, Bandar Lampung. Setelah Lulus dari SMU tahun 1992 kemudian melanjutkan pendidikan S1 Program Studi Elektro Fakultas Teknik di Universitas Ekasakti, Padang dan lulus pada tahun 1997, lalu bekerja di Universitas Ekasakti, Padang. Dan sekarang melanjutkan Pasca Sarjana di UNAND aliansi ITB Fakultas Teknik pada program studi Teknik Elektro*

DAFTAR PUSTAKA

[1] Tinton Dwi Atmaja, Dadan Ridwan Saleh, Cloud Computing untuk Mendukung Aplikasi Smart Grid, LIPI Bandung 2011

[2] Vivanews, Pembangkit Smart Grid Pertama di Indonesia, 2012

[3] Aryuanto[1)] Yusuf Ismail Nakhoda[2)], Pengembangan Sistem SCADA Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida, ITN 2009

[4] National Institute of Standards and Technology (NIST), US, Guide To SCADA and Industrial Control System Security

[5] Duane Hanselman and Bruce Littlefield, 1995. *The Student edition of MATLAB Ver. 4.0*, Englewood Cliffs, New Jersey.

[6] E. Ortjohann, O. Omari, R. Saiju, N. Hamsic, D. Morton. (2003). A simulation Model For Expandable Hybrid Power Systems. Proceedings of 2 nd European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference. Kassel, Germany.

[7] Graham, Goodwin C., Graebe, Stefen F., and Mario E. Salgado, "Control System Design,"Date Retrieved: March 2010

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan

Luthfi Parinduri[1)], Taufik Parinduri[2)]
[1)]Dosen Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara
[2)]Dosen Fakultas Ekonomi, Universitas Simalungun
luthfip@yahoo.co.id, dan taufikparinduri@yahoo.com

Abstrak

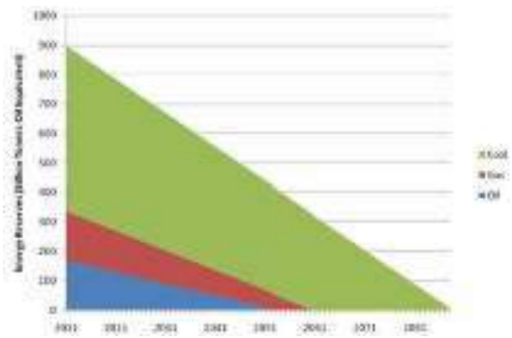
Saat ini, ketersediaan energi fosil semakin berkurang, khususnya minyak bumi, gas bumi dan batubara. Sejatinya sebelum mengenal energi fossil, manusia sudah menggunakan biomassa sebagai sumber energi. Namun sejak manusia beralih pada minyak, gas bumi atau batu bara untuk menghasilkan tenaga, penggunaan biomassa tergeser dari kehidupan manusia. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan dan berkelanjutan memiliki potensi yang sangat besar 146,7 juta ton per tahun. Sementara potensi Biomassa yang berasal dari sampah untuk tahun 2020 diperkirakan sebanyak 53,7 juta ton. Peningkatan penggunaan biomassa dari limbah dapat mengurangi tingkat polusi di dunia dengan mengkonversi sampah menjadi sumber energi yang berguna. Penggunaan biomassa merupakan pilihan yang lebih ramah lingkungan bila dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar fosil, sekaligus dapat membantu mengurangi tingkat total emisi gas rumah kaca. Sumber biomassa dapat ditemukan di semua negara di dunia. Banyak teknologi berbeda yang dapat digunakan untuk mengkonversi energy biomassa menjadi bentuk energi yang berguna.

Kata Kunci :*Energi Fosil, Energi Biomassa, Konversi Energi*

I. PENDAHULUAN

Sejatinya sebelum mengenal bahan bakar fossil, manusia sudah menggunakan biomassa sebagai sumber energi. Namun sejak manusia beralih pada minyak, gas bumi atau batu bara untuk menghasilkan tenaga, penggunaan biomassa tergeser dari kehidupan manusia. Pada saat ini, ketersediaan energi fosil terus berkurang, khususnya minyak bumi. Setelah terjadinya krisis energi yang pernah mencapai puncak sekitar dekade 1970-an, dunia saat ini menghadapi kenyataan bahwa persediaan minyak bumi, sebagai salah satu tulang punggung produksi energi terus berkurang. Pada masa mendatang, energi dunia akan terancam dengan semakin sulit untuk menemukan sumber energi dari fosil. Eksplorasi yang telah dilakukan, konsumsi dalam jumlah besar serta pertambahan penduduk yang tinggi di masa depan, akan membuat persediaan energi fosil khususnya minyak bumi tidak dapat mengimbangi permintaan terhadap kebutuhan energi. Para ahli berpendapat, dengan pola konsumsi seperti sekarang diperkirakan energi fosil akan segera habis. Minyak bumi habis 30 tahun lagi pada tahun 2052, Gas bumi habis 40 tahun lagi pada tahun 2060 dan Batubara habis 70 tahun lagi pada tahun 2090, sebagai digambarkan pada Gambar 1.

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja, dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Biomassa yang umum yang digunakan sebagai bahan bakar adalah yang memiliki nilai ekonomis rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya.



Gambar 1. Cadangan energi masa depan untuk batubara, gas dan minyak
(Sumber : https://mahb.stanford.edu/)

Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*).
Prinsip Dasar Pada Biomassa, Tanaman akan meyerap energi dari matahari melalui proses fotosintesis dengan memanfaatkan air dan unsur hara dari dalam tanah serta CO2 dari atmosfer yang akan menghasilkan bahan organik untuk memperkuat jaringan dan membentuk daun, bunga atau buah. Pada saat biomassa diubah menjadi energi CO2 akan dilepaskan ke atmosfer. Yang dalam hal ini siklus CO2 akan menjadi lebih pendek dibandingkan dengan yang dihasilkan dari pembakaran minyak bumi atau gas alam. Ini berarti CO2 yang dihasilkan tersebut tidak

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

memiliki efek terhadap kesetimbangan CO2 di atmosfer. Kelebihan inilah yang dimanfaatkan untuk mendukung terciptanya energi yang berkelanjutan.

III. TINJAUAN PUSTAKA

Biomassa Sebagai Sumber Energi

Potensi biomassa di Indonesia yang bisa digunakan sebagai sumber energi jumlahnya sangat melimpah, potensi biomassa Indonesia sebesar 146,7 juta ton per tahun. Sementara potensi Biomassa yang berasal dari sampah untuk tahun 2020 diperkirakan sebanyak 53,7 juta ton. Limbah yang berasal dari hewan maupun tumbuhan semuanya potensial untuk dimanfaatkan dan dikembangkan. Tanaman pangan dan perkebunan menghasilkan limbah yang cukup besar, yang dapat dipergunakan untuk keperluan lain seperti bahan bakar nabati. Pemanfaatan limbah sebagai bahan bakar nabati memberi tiga keuntungan langsung.

a) Peningkatan efisiensi energi secara keseluruhan karena kandungan energi yang terdapat pada limbah cukup besar dan akan terbuang percuma jika tidak dimanfaatkan.
b) Penghematan biaya, karena seringkali membuang limbah bisa lebih mahal daripada memanfaatkannya.
c) Mengurangi keperluan akan tempat penimbunan sampah karena penyediaan tempat penimbunan akan menjadi lebih sulit dan mahal, khususnya di daerah perkotaan.

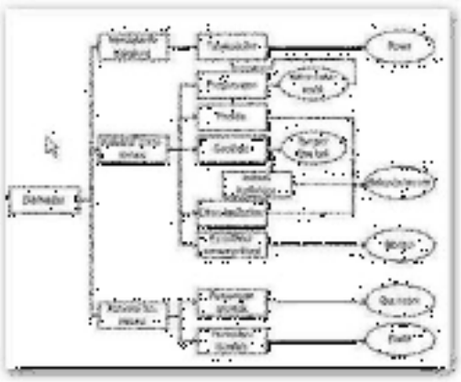
Selain pemanfaatan limbah, biomassa sebagai produk utama untuk sumber energi juga akhir-akhir ini dikembangkan secara pesat. Kelapa sawit, jarak, kedelai merupakan beberapa jenis tanaman yang produk utamanya sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Sedangkan ubi kayu, jagung, sorgum, sagu merupakan tanaman-tanaman yang produknya sering ditujukan sebagai bahan pembuatan bioetanol.

Konversi Energi Biomassa

Penggunaan biomassa untuk menghasilkan panas secara sederhana yaitu biomassa langsung dibakar dan menghasilkan panas. Dan panas hasil pembakaran akan dikonversi menjadi energi listrik melalui turbin dan generator. Panas hasil pembakaran biomassa akan menghasilkan uap dalam boiler. Uap akan ditransfer kedalam turbin sehingga akan menghasilkan putaran dan menggerakan generator. Putaran dari turbin dikonversi menjadi energi listrik melalui magnet-magnet dalam generator.

Agar dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar maka diperlukan teknologi untuk mengkonversi biomassa, diantaranya beberapa teknologi untuk konversi biomassa (Gambar 2). Ada perbedaan pada alat yang digunakan untuk mengkonversi biomassa dan bahan bakar yang dihasilkan. Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga,

1. Pembakaran langsung, Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa dapat langsung dibakar. Beberapa biomassa perlu dikeringkan terlebih dahulu dan didensifikasi untuk kepraktisan dalam penggunaan.
2. Konversi termokimiawi, Konversi termokimiawi merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar.
3. Konversi biokimiawi, merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakar.



Gambar 2. Teknologi Konversi Biomassa
(Sumber : http://elyvani.blogspot.com/)

1. Pemanfaatan Energi Biomassa

1). Biobriket

Briket adalah salah satu cara yang digunakan untuk mengkonversi sumber energi biomassa ke bentuk biomassa lain dengan cara dimampatkan sehingga bentuknya menjadi lebih teratur. Briket yang terkenal adalah briket batubara namun tidak hanya batubara saja yang bisa dibuat menjadi briket. Contoh biomassa lain yang dibuat menjadi briket adalah sekam, arang sekam, serbuk gergaji, serbuk kayu, dan limbah-limbah biomassa yang lainnya. Pembuatan briket tidak terlalu sulit, alat yang digunakan juga tidak terlalu rumit. Banyak jenis-jenis mesin pengempa briketmulai dari yang manual, semi mekanis, dan yang memakai mesin.

2). Gasifikasi

Gasifikasi biomassa merupakan proses konversi bahan selulosa dalam suatu reaktor gasifikasi (*gasifier*) menjadi bahan bakar. Gas tersebut dipergunakan sebagai bahan bakar motor untuk menggerakan generator pembangkit listrik.

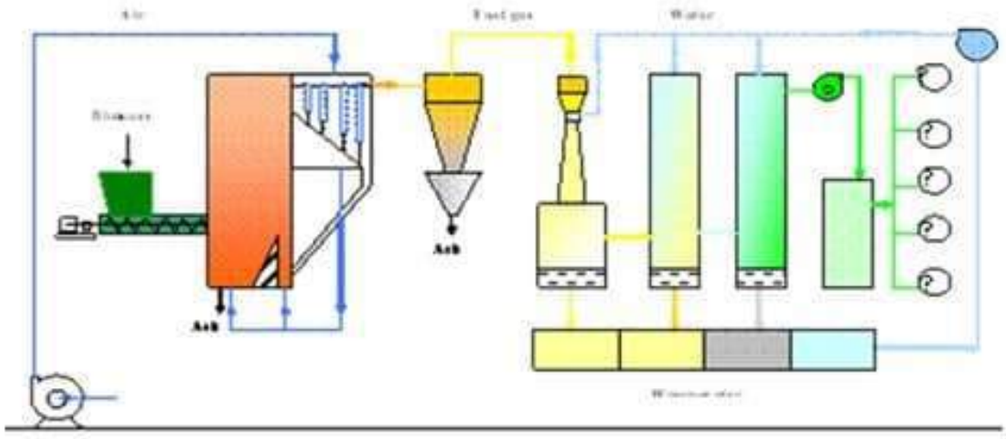
Gasifikasi merupakan salah satu alternatif dalam rangka program penghematan dan diversifikasi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

energi. Selain itu gasifikasi akan membantu mengatasi masalah penangan an dan pemanfaatan limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan.

Ada tiga bagian utama perangkat gasifikasi, yaitu :

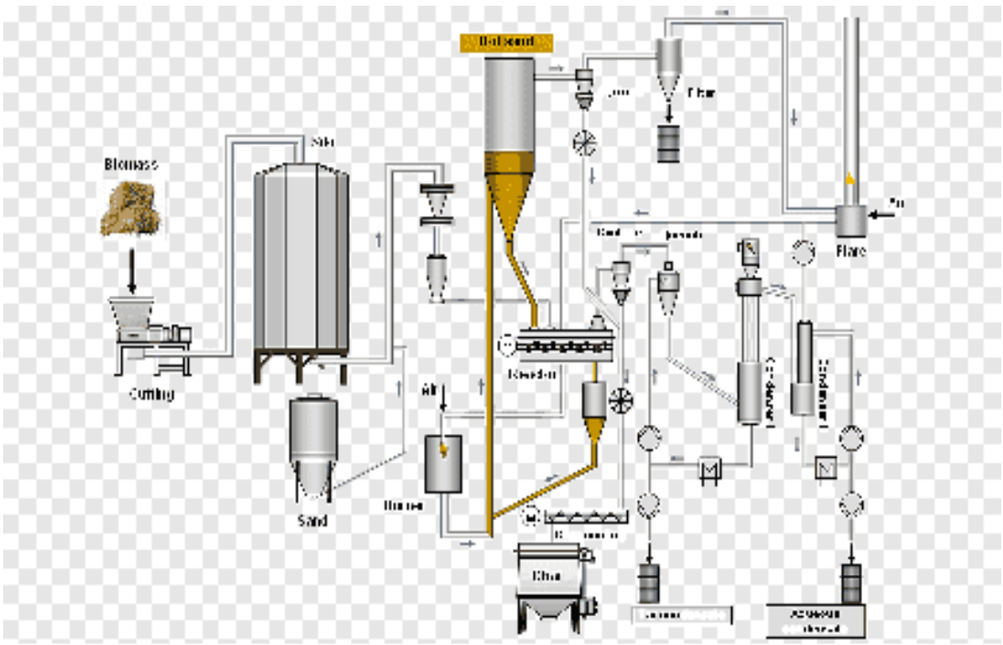
a. unit pengkonversi bahan baku (umpan) menjadi gas, disebut reaktor gasifikasi,
b. unit pemurnian gas,
c. unit pemanfaatan gas.



Gambar 3. Skema gassifikasi biomassa dan sistem pembangkit daya
(Sumber : https://www.dosenpendidikan. co.id/)

Pirolisis

Ada beberapa tingkatan proses pirolisis, yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer adalah pirolisis yang terjadi pada bahan baku (umpan), sedangkan pirolisis sekunder adalah pirolisis yang terjadi atas partikel dan gas/uap hasil pirolisis primer. Penting diingat bahwa pirolisis adalah penguraian karena panas lebih dari 150 ^{0}C, sehingga keberadaan O_2 dihindari pada proses tersebut karena akan memicu reaksi pembakaran.



Gambar 4. Diagram alir proses pirolisis biomassa
(Sumber : https://www.pngegg.com/id/png-yjjjz)

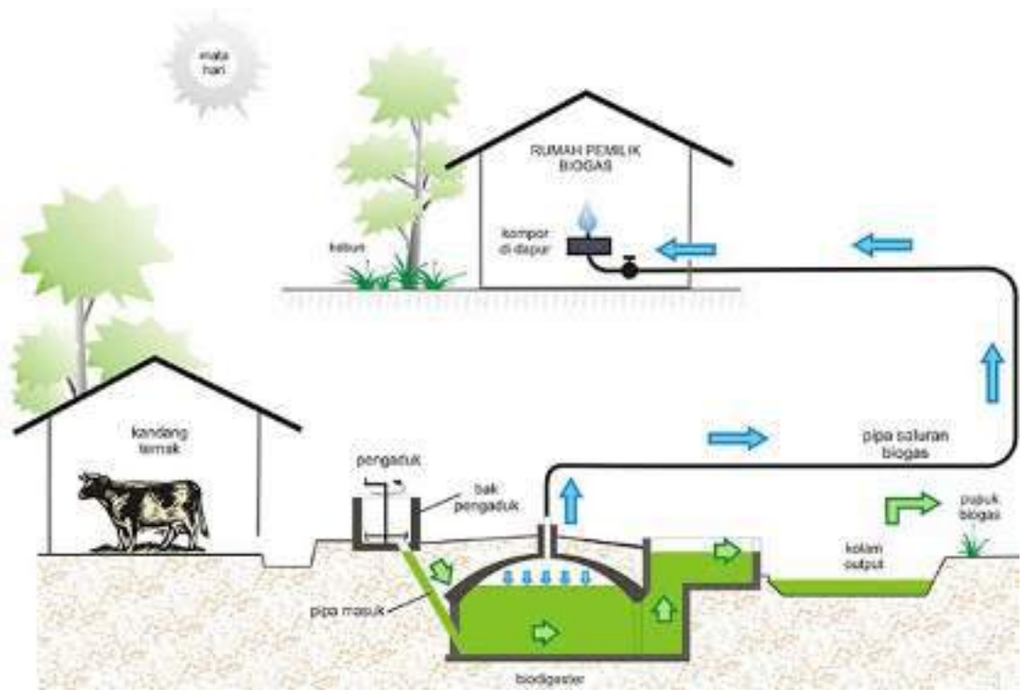
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4). Liquification

Proses perubahan wujud dari gas ke cairan dengan proses kondensasi, biasanya melalui pendinginan, atau perubahan dari padat ke cairan dengan peleburan, bisa juga dengan pemanasan atau penggilingan dan pencampuran dengan cairan lain untuk memutuskan ikatan. Pada bidang energi *liquification* tejadi pada batubara dan gas menjadi bentuk cairan untuk menghemat transportasi dan memudah kan dalam pemanfaatan.

5). Biokimia

Pemanfaatan energi biomassa yang lain adalah dengan cara proses biokimia, seperti hidrolisis, fermentasi, dan *anaerobic digestion*. *Anaerobic digestion* adalah penguraian bahan organik atau selulosa menjadi CH_4 dan gas lain melalui proses biokimia. Adapun tahapan proses *an-aerobic digestion*dapat dilihat pada gambar 5.Selain *anaerobic digestion*, proses pembuatan etanol dari biomassa tergolong dalam konversi biokimiawi. Biomassa yang kaya dengan karbohidrat atau glukosa dapat difermentasi sehingga terurai menjadi etanol dan CO_2. Akan tetapi, karbohidrat harus mengalami penguraian (hidrolisis) terlebih dahulu menjadi glukosa. Etanol hasil fermentasi pada umumnya mempunyai kadar air yang tinggi dan tidak sesuai untuk pemanfaatannya sebagai bahan bakar pengganti bensin. Etanol ini harus didistilasi sedemikian rupa mencapai kadar etanol di atas 99.5%.



Gambar 5. Skema Pembentukan Gas Bio
(Sumber : https://www.dosenpendidikan. co.id/)

6). Densifikasi

Untuk meningkatkan manfaat biomassa dengan mudah adalah membentuk menjadi briket atau pellet. Briket atau pellet akan memudahkan dalam penanganan biomassa. Tujuannya adalah untuk meningkatkan densitas dan memudahkan penyimpanan dan pengangkutan. Secara umum densifikasi (pembentukan briket atau pellet) mempunyai beberapa keuntungan. yaitu : menaikan nilai kalor per unit volume, mudah disimpan dan diangkut, mempunyai ukuran dan kualitas yang seragam.

7). Karbonisasi

Proses untuk mengkonversi bahan orgranik menjadi arang, . pada proses ini akan dilepaskan zat yang mudah terbakar seperti CO, CH_4, H_2, formaldehid, methana, formik dan acetil acid serta zat yang tidak terbakar seperti seperti CO_2, H_2O dan tar cair. Gas-gas yang dilepaskan pada proses ini mempunyai nilai kalor yang tinggi dan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan kalor pada proses karbonisasi.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

KESIMPULAN

Sejatinya sebelum mengenal bahan bakar fossil, manusia sudah menggunakan biomassa sebagai sumber energi. Namun sejak manusia beralih pada minyak, gas bumi atau batu bara untuk menghasilkan tenaga, penggunaan biomassa tergeser dari kehidupan manusia. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan dan berkelanjutan. Biomassa dapat membantu mengurangi impor bahan bakar dan membantu meningkatkan kemandirian energi negara. Peningkatan penggunaan biomassa dari limbah dapat mengurangi tingkat polusi di dunia dengan mengkonversi sampah menjadi sumber energi yang berguna. Penggunaan biomassa merupakan pilihan yang lebih ramah lingkungan bila dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar fosil, sekaligus dapat membantu mengurangi tingkat total emisi gas rumah kaca. Merupakan teknologi energi terbarukan yang mampu memberikan hasil instan. Sumber biomassa dapat ditemukan di semua negara di dunia. Banyak teknologi berbeda yang dapat digunakan untuk mengkonversi biomassa menjadi bentuk energi yang berguna.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Abimanyu Haznan dan Hedrana Sunit, 2014, *Konversi Biomassa Untuk Alternatif Energi di Indonesia: Tinjauan Sumber Daya, Teknologi, Manajemen dan Kebijakan*, Cetakan Pertama, LIPI Press, Jakarta.

[2]. Dosen Pendidikan, 2020, *Energi Biomassa*, tersedia pada https://www.dosen pendidikan. co.id/, diakses pada tanggal 23 Agustus 2020).

[3]. Elyvani, 2015, *Konversi Energi Biomassa*, tersedia pada : http://elyvani.blogspot. com/ diakses pada tanggal 23 Agustus 2020).

[4]. Kuo Gioietta, 2019, *When Fossil Fuels Run Out, What Then*?,Tersedia pada:https://mahb.stanford.edu/library-item/fossil-fuels-run/ diakses 16 Agustus 2020.

[5]. LarasatiNovi Hardita, 2020, *Pengertian Biomassa, Jenis, dan Manfaat dalam Kehidupan Sehari - hari*, Tersedia Pada : https://www.diadona.id/d-stories/ , Diakses 17 Agustus 2020.

[6]. Nur Syukri Muhammad, 2013, *Strategi Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Berbasis Biomassa*, Tersedia Pada : https://www.academia.edu/ Docu ments/in/ , Diakses 16 Agustus 2020.

[7]. Nuswantoro, 2019, *Energi Terbarukan Indonesia, Berlimpah tetapi Masih Terabaikan*, tersedia pada : https://www.mongabay.co.id/ 2019/12/29/ energi-terbarukan-indonesia-berlimpah-tetapi-masih-terabaikan/ , Diakses 18 Agustus 2020.

[8]. Parinduri Luthfi, 2016, *Analisa Pemanfaatan Biomassa Pabrik Kelapa Sawit Untuk Sumber Pembangkit Listrik*, tersedia pada : https://jurnal.uisu.ac.id/index. php/jet/ article/view/201/172, Diakses 18 Agustus 2020.

[9]. Sugiyono Agus dan Nurrohim Agus, 2010, *Prospect of Biomass Energy for Electricity Generation in Indonesia,* tersedia pada : http://ejurnal.bppt.go.id/ index.php/JTE/ article/ view/ 617/465, Diakses 16 Agustus 2020.

[10]. Zuhal, 2008, *Kekuatan Daya Saing Indonesia Mempersiapkan Masyarakat Berbasis Pengetahuan*, Penerbit Buku Kompas, Jakarta.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Elemen
Vol I 2014

KONVERSI LIMBAH PLASTIK MENJADI MINYAK SEBAGAI BAHAN BAKAR ENERGI BARU TERBARUKAN

Tinton Norsujianto

Jurusan Mesin Otomotif, Politeknik Negeri Tanah Laut
Email: tinton_norsujianto@politala.ac.id

Intisari— *Dari tahun 2009 hingga tahun 2010 produksi plastik di seluruh dunia meningkat dari 15 juta ton hingga mencapai 265 juta ton. Hal ini menegaskan kecenderungan jangka panjang pertumbuhan produksi plastik yang hampir 5% per tahun. Dampak yang akan terjadi terhadap lingkungan menjadi perhatian khusus para pemerhati lingkungan dan para ilmuwan. Untuk itulah diperlukan pengolahan limbah plastik yang aman bagi manusia dan lingkungan. Proses pengolahan limbah plastik menjadi minyak setara bensin dan solar diharapkan menjadi solusi mengatasi masalah kebutuhan energi untuk kelangsungan hidup manusia. Reaktor yang digunakan adalah tipe batch dengan temperatur 400 oC. Bahan baku yang digunakan limbah plastik LDPE (Low Density Polyethylene). Minyak pirolisis dari bahan baku plastik tunggal memiliki properti minyak yang terbaik. Hasil uji GC-MS, terlihat bahwa sampel minyak pirolisis mengandung banyak senyawa. Lima unsur kimia dengan prosentase tertinggi adalah Benzene (C6H6) sebesar 3,26% dikuti oleh Heptyne (C7H12) 3,1%., Tricosane (C23H48) 2,66%., Butanol (C5H12) 2,21% dan Tricosane (C23H48) 1,64%. Distribusi tersebut bisa diasumsikan bahwa bisa diaplikasikan ke motor pembakaran dalam.*

Kata kunci— Pirolisis, Limbah Plastik LDPE, Minyak Pirolisis, Katalis

PENDAHULUAN

Dari tahun 2009 hingga tahun 2010 produksi plastik di seluruh dunia meningkat dari 15 juta ton hingga mencapai 265 juta ton. Hal ini menegaskan kecenderungan jangka panjang pertumbuhan produksi plastik yang hampir 5% per tahun dalam 20 tahun terakhir. Industri plastik juga memainkan peranan dalam pertumbuhannya melalui inovasi dalam lingkup yang luas yaitu kunci dari industri di Eropa seperti otomotif, alat elektronik, konstruksi dan bangunan serta sektor kemasan makanan dan minuman.

Dari sekian banyaknya plastik yang beredar maka dapat dipastikan akan banyak pula limbah plastik yang akan tercipta. Hal ini yang menjadi perhatian masyarakat dunia akhir-akhir ini. Limbah plastik ini tidak mudah terurai di lingkungan dan memerlukan perlakuan khusus untuk pengolahannya. Dampak yang akan terjadi terhadap lingkungan menjadi perhatian khusus para pemerhati lingkungan dan para ilmuwan. Untuk itulah diperlukan pengolahan limbah plastik yang aman bagi manusia dan lingkungan (Wardhana, 2014).

Proses pengolahan limbah plastik menjadi minyak setara bensin dan solar diharapkan menjadi solusi mengatasi masalah kebutuhan energi untuk kelangsungan hidup manusia. Cara ini sejalan dengan program di negara-negara maju yaitu tentang pengembangan energi terbarukan atau energi baru terbarukan.

METODE

A. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah plastik LDPE (Low Density Polyethylene). Sebagai katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam (natural zeolite fresh), didapatkan dari Klaten Jawa Tengah.

B. Alat Pengujian

Penelitian pirolisis limbah plastik menjadi bahan bakar minyak dilakukan menggunakan reaktor tipe Batch pada temperatur 400 oC. Pemanasan dilakukan menggunakan kawat nikelin (dilapisi keramik) mengelilingi dinding reaktor, insulator castable, glasswool dan alumunium foil digunakan untuk meminimalkan kalor yang terbuang dari reaktor ke lingkungan. Kondenser vetikal digunakan untuk menurunkan temperatur gas cair yang dihasilkan dari proses pirolisis. Produk cair yang dihasilkan ditampung di penampung minyak pirolisis (oil container) dan gas yang tidak terkondensasi dibuang melalui saluran gas buang (flare). Produk padat (residue) yang terbentuk sebagai sisa proses pirolisis plastik dapat diambil di feedstock reactor. Secara umum alat pengujian bisa dilihat pada gambar 1.

C. Metode Pengujian

Limbah plastik yang sudah ditimbang dimasukan ke dalam reaktor, langkah selanjutnya reformer yang sudah diisi katalis natural zeolite sebarat 100 gr dipanaskan terlebih dahulu hingga 450 oC dengan tujuan mengaktifkan katalis dan selanjutnya menyalakan reaktor hingga temperaturnya 400 oC. Proses pemanasan ini disebut proses pirolisis karena proses pemberian kalornya tanpa disertai oleh adanya udara atau oksigen dan murni karena adanya perpindahan panas, konduksi, konveksi dan radiasi. Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis degradasi termal kemudian mengalir melalui kondensor menuju ke penampung minyak. Dalam kondenser terjadi kondensasi

paksa, karena gas melewati tabung yang dialiri air pada temperatur ruangan dengan debit tertentu yang konstan. Setelah gas mulai berkurang dan tidak ada lagi tetesan minyak pada tabung penampung, proses dihentikan, selanjutnya minyak dan padatan ditimbang untuk menghitung mass balance. Massa fraksi gas dapat dicari dengan cara mengurangi massa total bahan baku dengan massa fraksi minyak dan padatnya. Pada pengujian produk cair atau bisa disebut minyak pirolisis diuji untuk menentukan properties bahan bakar seperti spesific grafvity, kinematic viscosity at 40 oC, Pour point dan flash point. Penentuan senyawa kimia minyak pirolisis dan persentase distribusi nomor karbon senyawa kimia diperoleh dari pengujian menggunakan GC-MS (Gas Chromatography Mass Spectroscopy). Nilai kalor diperoleh dari pengujian menggunakan Automatic Bomb Calorimeter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Minyak pirolisis limbah plastik

Distribusi produk cair, gas dan padat pirolisis limbah plastik LDPE ditunjukkan pada gambar 2. Pirolisis menggunakan katalis natural zeolite fresh yang sudah dikalsinasi menghasilkan produk cair sebesar 24,64%, produk gas sebesar 51,65% dan produk cair sebesar 24,64 % (persentase massa). Penyebab meningkatnya fraksi padat dan gas pada proses pirolisis temperatur 400 oC diduga karena kekurangan energi termal untuk cracking (memutus ikatan) limbah plastik LDPE sehingga waktu reaksi pun menjadi lebih lama (Kumar, 2011 dan Panda, 2011). Waktu proses yang lebih lama menyebabkan laju perpindahan kalor ( ) dari gas keair pendingin juga kecil, sehingga gas yang sebagian terkondensasi menjadi fraksi cair lebih sedikit dari pada gas yang tidak terkondensasi. Selain itu penggunaan katalis pada proses pirolisis dapat menurunkan produk cair dan meningkatkan produk gas (Wardhana, 2014)

Hasil pengujian properties minyak pirolisis limbah plastik LDPE dapat dilihat pada tabel 2. Umumnya, bahan bakar harus mempunyai viskositas yang relatif rendah agar dapat mudah mengalir dan teratomisasi. Hal ini dikarenakan putaran mesin yang cepat membutuhkan injeksi bahan bakar yang cepat pula. Namun harus ada batas minimal karena diperlukan sifat pelumasan yang cukup baik untuk mencegah terjadinya keausan akibat gerakan piston yang cepat. Minyak pirolisis plastik sudah menyala pada temperatur 10 ^{0}C.

Pengujian dibawah temperatur 10 oC tidak bisa dilakukan karena properties bahan bakar sudah terukur pada temperatur 10 oC. Titik nyala (flash point) berkaitan dengan keamanan dan penanganan seperti distribusi dan penyimpanan. Dengan titik nyala yang rendah (< 25 oC@1atm), minyak pirolisis plastik bersifat mudah terbakar.



Gambar 1. Reaktor tipe batch dan reaktor kalsinasi

Beberapa sumber penyalaan bahan bakar yang perlu dihindari seperti permukaan dinding yang panas, gas atau uap yang mudah terbakar, arus listrik dan gelombang kejut. Namun apabila titik nyala terlalu tinggi, maka pada temperatur lingkungan yang rendah motor sulit dihidupkan (Munawir, 2006).

Minyak pirolisis temperatur 400 oC kandungan air yang teramati sebesar 1,04 %vol, sedangkan kandungan air yang disyaratkan untuk biosolar maksimal 0,02 %vol. Uap air ini muncul diduga akibat penggunaan bahan baku limbah plastik yang masih lembab sehingga sebagian uap air yang menguap dalam reaktor tidak dapat keluar dan terkondensasi di dalam penampung minyak.

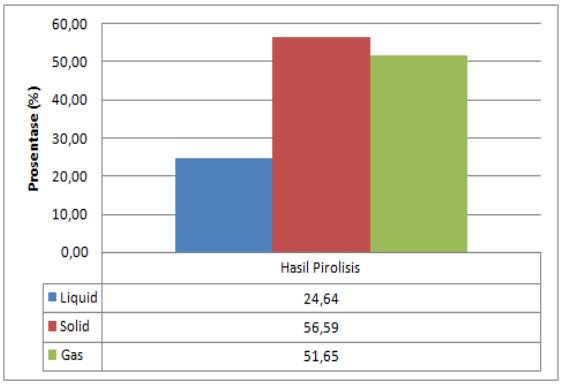
Tabel 2. Properties minyak pirolisis dan biosolar

Karakteristik	Satuan	Biosolar	WPO
Specific Gravity at 60/60 ^{o}f	-	0.8445	0,7993
Viscosity Kinematic at 40 ^{o}C	mm^2/s	4.012	1,836
Flash Point PM.c.c	^{o}C	66.5	∗)
Pour Point	^{o}C	6	27
Cloud Point	^{o}C	4.0	∗∗)
Water Content	% vol	*Trace*	1,04
Ash Content	% wt	0.076	0,065
Density	kg/l	0.8445	0,7993
Nilai Kalor	MJ/kg	45,22	45,79

∗) Pada suhu 10 oC sudah menyala

∗∗) Cloud point tidak dapat diamati contoh berwarna gelap

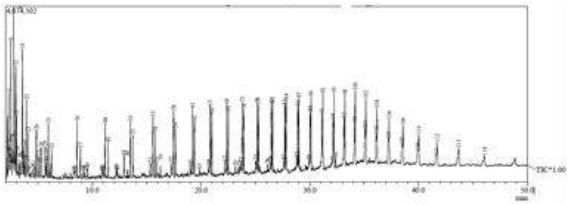
Trace : teramati namun tidak dapat diukur



Gambar 2. Distribusi produk pirolisis

B. Distribusi Rantai Karbon

Setelah mengetahui propertis minyak pirolisis limbah plastik dan biosolar. Pengujian menggunakan GC-MS (Gas Chromatography Mass Spectroscopy) diperlukan untuk mengetahui jumlah dan kandungan unsur hidrokarbonnya. Hasil uji GC-MS, terlihat bahwa sampel minyak pirolisis mengandung banyak senyawa, hal ini bisa diketahui dari banyaknya puncak (peaks) dalam spektra GC tersebut. Setiap peaks menggambarkan senyawa kimia yang terkandung dalam sampel. Hasil penelitian menunjukan bahwa sampel minyak pirolisis limbah plastik akan menghasikan kecenderungan pembentukan unsur hidrokarbon yang bervariasi dari proses pirolisis. Pengujian Chromatogram minyak pirolisis dengan temperatur 400 oC terdapat 114 peaks yang tercatat. Peaks ini menunjukan variasi unsur kimia yang diprediksi terkandung dalam fraksi cair tersebut. Banyaknya peaks yang muncul mengindikasikan bahwa kandungan kimia yang terkandung dalam minyak pirolisis sangat bervariasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil chromatogram (114 peaks) WPO temperatur 400 oC

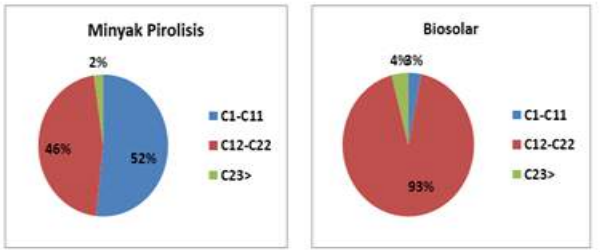
Jumlah peaks yang dihasilkan menunjukan tingginya variasi kandungan senyawa hidrokarbon di dalam sampel. Berdasarkan data waktu retensi GC-MS dapat diolah menjadi data senyawa yang terkandung dalam minyak pirolisis, distribusi rantai karbon dan PONA (Bawase).

M.A, 2012 dan Nolan D, 1996). Tabel 3 menunjukkan lima unsur kimia dengan prosentase tertinggi. Prosentase tertinggi pertama adalah Benzene (C6H6) sebesar 3,26% dikuti oleh Heptyne (C7H12) 3,1%., Tricosane (C23H48) 2,66%., Butanol (C5H12) 2,21% dan Tricosane (C23H48) 1,64%.

Tabel 3. Data GC WPO temperatur 400 ^{o}C

Peaks	Area (%)	Nama Senyawa Kimia	Formula Kimia	Formula Dasar	Nomor Atom C	PONA
3	2,21	BUTANOL	C_5H_{12}	C_nH_{n+2}	5	Paraffin
9	3,26	BENZENE	C_6H_6	C_nH_n	6	Aromatic
13	3,1	HEPTYNE	C_7H_{12}	C_nH_{2n-2}	7	Acetylene
58	1,64	TRICOSANE	$C_{23}H_{48}$	C_nH_{2n+2}	23	Paraffin
92	2,66	TRICOSANE	$C_{23}H_{48}$	C_nH_{2n+2}	23	Paraffin

Gambar 4. merupakan data yang didapatkan dari hasil pegujian GCMS. Tujuannya selain untuk mengetahui senyawa, juga diperlukan sebagai pendukung dari properties WPO/minyak pirolisis. Distribusi tersebut bisa diasumsikan bahwa bisa diaplikasikan ke motor pembakaran dalam.

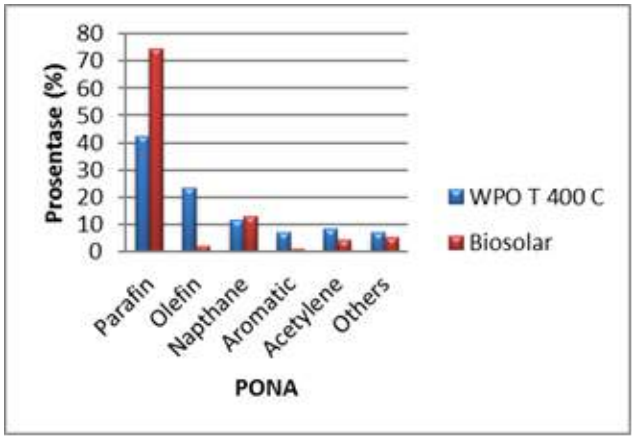


Gambar 4. Distribusi rantai karbon

C. Distribusi Senyawa Hidrokarbon (PONA : Parafin, Olefin, Napthane, Aromatic dan Acetylene)

Dilihat dari kandungan senyawa hidrokarbon, selain penentuan terhadap distribusi rantai karbon, pengamatan terhadap klasifikasi senyawa hidrokarbon juga telah dilakukan, seperti Gambar 5. Penentuan senyawa hidrokarbon ditentukan oleh formula dasar dari setiap senyawa hidrokarbon seperti Parafin (CnH2n+2), Olefin (CnH2n), Napthane (Cyclo CnH2n), Aromatic (CnH2n-6 dan CnHn) dan Acetylene (CnH2n-2) (Heywood, 1988), senyawa selain dari kelima formula senyawa hidrokarbon tersebut dimasukan ke dalam kelompok senyawa others. Formula dan nama senyawa kimia dari minyak pirolisis limbah plastik diketahui dari hasil uji GCMS. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa komposisi bahan baku plastik pada proses pirolisis menentukan arah kecenderungan pembentukan senyawa-senyawa hidrokarbon yang dihasilkan. Fungsi parafin sendiri adalah sebagai pelumas pada mesin. Fungsi aromatik sebagai anti knocking yang tinggi dan stabilitas penyimpanan yang baik (Heywood, 1988; Zuhra.2003).

Senyawa parafin memiliki kualitas pembakaran terbaik, sebalikya senyawa aromatic memiliki kualitas pembakaran yang buruk untuk motor diesel. Senyawa parafin biasanya cenderung memiliki massa jenis bahan bakar yang rendah namun memiliki nilai kalori yang lebih besar relatif dibandingkan dengan bahan bakar dari senyawa napthane (Speight, 2007).



Gambar 5. Grafik distribusi PONA (Parafin, Olefin, Napthane, Aromatic dan Acetylene)

D. Kesetimbangan energi (energy balance) dari proses pirolisis

Perbandingan nilai energi termal dan konsumsi energi listrik yang diperlukan untuk mengoperasikan reaktor pirolisis juga diperhitungkan, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4. Potensi energi diukur dari perkalian antara nilai kalor WPO dan massa bahan baku limbah plastik. Untuk nilai konsumsi energi listrik dapat diperoleh dari perhitungan sederhana perkalian antara daya dan waktu proses pirolisis. Daya digunakan untuk menyalakan 3 buah elemen pemanas terdiri dari 2 elemen pemanas pada reaktor (masing-masing 1 kW) dan 1 elemen pemanas pada *reformer* berdaya 2 kW. Waktu pada *reformer* dan waktu reaktor memang berbeda karena *reformer* menyala terlebih dahulu sampai temperatur 450 ^{o}C selama $\pm$70 menit, tujuannya agar katalis yang ada didalam *reformer* menjadi aktif. Setelah temperatur *reformer* mencapai Temperatur 450 ^{o}C, reaktor pirolisis dinyalakan sampai 400 ^{o}C hingga proses berakhir. Data daya ini bukan merupakan data aktual pemakaian daya listrik sebenarnya, untuk perhitungan konsumsi energi listrik sebenarnya dapat dilakukan menggunakan kWh meter. Daya yang dikeluarkan untuk proses pirolisis tidak terus menerus menyala. Pemanasan reaktor akan berhenti memberikan energi termal secara otomatis apabila temperatur sudah mencapai temperatur yang dikondisikan misalnya temperatur 400 ^{o}C dan akan memberikan energi termal lagi saat temperatur menjadi turun, sehingga konsumsi energi pada tabel 4, tidak 30 KWh tetapi lebih rendah. Energi termal yang dihasilkan tidak sebanding dengan energi listrik yang dibutuhkan meskipun secara kuantitatif memiliki jumlah yang sama (Saptoadi, 2013).

Tabel 4. Konsumsi energi listrik yang diperlukan pada proses pirolisis

Temperatur Pirolisis (^{o}C)	Massa Sampel (kg)	Nilai Kalor (MJ/Kg)	Energi Termal (MJ)	Daya Reformer (kW)	Daya Reaktor (kW)	Waktu Reformer (jam)	Waktu Reaktor (jam)	Konsumsi Energi Listrik (kWh)	
								kWh	MJ
400	2,30	45,79	42,13	2	2	8,08	6,92	30,00	108,00

Energi termal adalah energi kualitas rendah, sementara energi listrik berkualitas tinggi. Secara sederhana energi termal harus dikalikan dengan 0,4 sebelum menyeimbangkan dengan energi listrik, mengingat efisiensi rata-rata pada pembangkit listrik tenaga uap yaitu 40%.

Hasil perhitungan pada tabel 4 menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik masih lebih besar jika dibandingkan dengan energi termal WPO yang dibutuhkan. Penggunaan gas pirolisis untuk proses pemanasan reaktor pirolisis diharapkan dapat meningkatkan energi termal dari produk pirolisis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

a. Metode pirolisis dapat dikembangkan sebagai salah satu cara mengolah limbah plastik, metode ini selain dapat mengurangi jumlah limbah plastik juga dapat merubahnya menjadi minyak pirolisis plastik yang dapat dikembangkan menjadi bahan bakar minyak alternatif yang memiliki kualitas yang setara dengan bahan bakar minyak komersial.
b. Pengunaan katalis menurunkan produk cair dan meningkatkan produk gas
c. Minyak pirolisis dari bahan baku plastik tunggal memiliki properti minyak yang terbaik dilihat dari massa jenis yang rendah, viskositas kinematis yang rendah dan nilai kalori tinggi.
d. Pengujian produk cair dari limbah plastik menggunakan GC-MS menunjukkan komponen hidrokarbon berada pada rentang C4-C44

DAFTAR PUSTAKA

[1] M.A. Bawase, S.D. Reve, S.V. Shet and M.R. Saraf, Carbon Number Distribution by Gas Chromatography for Identifi Cation of Outlying Diesel Sample, Journal of AdMet Paper, 2012.
[2] R. Ermawati, Konversi Limbah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif, Jurnal Riset Industri Vol V, No.3, 2011.
[3] J.B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamental. McGraw Hill Publications p.491–667, 1998.
[4] Istadi, Teknologi Katalis untuk Konversi Energi: Fundamental dan Aplikasi, Graha Ilmu, Yogyakata, 2011.
[5] M.Z. Munawir, Sanda, Penambahan Bioaditif Untuk Peningkatan Kualitas BBM Blending Petrodiesel dan Biodiesel, Prosiding PPI – PDIPTN Yogyakarta, 2006.

[6] D. Nolan, Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical dan related facilities, Noyes Publications, New Jersey, USA, 1996.
[7] T. Norsujianto and H. Saptoadi, performa motor diesel menggunakan bahan bakar campuran minyak hasil pirolisis limbah plastik dan biosolar sebagai bahan bakar alternative, Jurnal Termofluid V, UGM Yogyakarta, 2013
[8] H. Saptoadi, K.A. Putra, W. Trisunaryanti, Z. Alimuddin, M. Syamsiro, K. Yosjikawa, Energy Balance of non-catalytic Pyrolysis of Plastic Wastes to produce Liquid Fuel, The 12th Annual National Seminar Of Mechanical Engineering, Bandar Lampung, 2013
[9] L. Scheirs, W. Kaminsk, Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, UK, 2006.
[10] J.G. Speight, The Chemistry and Technology of Petroleum 4th Edition, CRC Press. New York, 2007.
[11] W. Wardana, Studi Eksperimental Pembuatan Bahan Bakar dari Limbah Plastik LDPE dengan Proses Pirolisis dan Uji Performansi Mesin Diesel, Tesis, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, UGM Yogyakarta, 2014
[12] C.F. Zuhra, Penyulingan, Pemrosesan Dan Penggunaan Minyak Bumi, Digitized USU digital library, Medan, 2003.

ISSN 9 771978 042736

KULIT DURIAN SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN *BIO-OIL*: SUMBER ENERGI TERBARUKAN

Suryadi Ismadji
Jurusan Teknik Kimia, Unika Widya Mandala Surabaya
Jl. Kalijudan 37, Surabaya 60114
e-mail : suryadiismadji@yahoo.com

Abstrak

Pirolisis kulit durian menjadi bio-oil dilakukan dalam sebuah reactor tubular yang dilengkapi dengan pengontrol suhu (PID controller). Pengaruh ukuran partikel umpan, suhu pirolisis, laju alir gas inert (N_2) terhadap yield bio-oil yang dihasilkan telah dipelajari dalam penelitian ini. Ukuran umpan partikel yang dipelajari adalah 8/12 mesh, 16/20 mesh, dan 25/40 mesh. Suhu pirolisis yang digunakan adalah 400-700^oC dengan laju alir gas inert 3, 4, dan 5 Liter/menit. Produk bio-oil yang dihasilkan dianalisa kompisisi bahan kimianya dengan menggunakan GC/MS QP 2010 Shimadzu. Nilai kalor bio-oil yang dihasilkan dianalisa dengan menggunakan Anton Paar calorimeter dengan menggunakan metode ASTM D5868-10ae1. Analisa proximate kulit durian dan bio-char yang dihasilkan dilakukan dengan menggunakan metode ASTM D3173-75. Sedangkan analisa TGA dilakukan dengan menggunakan TGA/DSC star system (Mettler Toledo) dengan gas N_2 sebagai gas carrier. Dari hasil percobaan yang dilakukan diperoleh hasil terbesar bio-oil adalah 49,8% yang diperoleh pada suhu 550^oC dengan ukuran partikel 25/40 mesh. Sedangkan laju alir gas inert tidak berpengaruh pada yield bio-oil yang dihasilkan. Nilai kalor total dari bio-oil yang dihasilkan adalah 26,7 ± 3,1 MJ/kg.

Kata kunci : *Bio-oil, pirolisis, Kulit Durian*

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan menipisnya cadangan minyak dunia dan isu lingkungan hidup, berbagai macam penelitian mengenai energi terbarukan sedang giat dilakukan oleh berbagai pihak. Salah satunya adalah pemanfaatan limbah pertanian sebagai sumber energi baru dan terbarukan. Secara garis besar teknologi untuk memanfaatkan atau mengkonversikan limbah pertanian sebagai sumber energi terbagi menjadi tiga kategori yaitu: secara biokimia, panas, dan konversi termokimia. Konversi termokimia meliputi proses gasifikasi, pencairan (*liquefaction*), dan pirolisis (Butler dkk, 2011).

Pirolisis merupakan proses konversi termokimia yang penting untuk merubah biomassa limbah pertanian menjadi produk yang lebih berharga: *char* (padatan), cairan, dan gas. Cairan yang diperoleh dari proses pirolisis merupakan suatu produk yang potensial untuk digunakan sebagai *bio-oil*. Kandungan senyawa kimia dalam *bio-oil* adalah berbagai macam asam organik, alkohol, keton, ester, komponen-komponen fenolik, dan lain-lain (Demiral dkk, 2012). Tetapi penggunaan *bio-oil* ini secara langsung akan menimbulkan berbagai macam kesulitan pada sistem pembakaran karena viskositas yang tinggi, nilai kalor yang rendah, korosif dan tidak stabil.

Berbagai macam limbah biomassa dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan *bio-oil*, seperti tongkol jagung (Demiral dkk, 2012), serbuk gergajian kayu dan kulit gandum (Bertero dkk, 2012), jarak (Pandey dkk, 2012), kayu oak (Ellens dan Brown, 2012), ampas buah-buahan (Ozbay dkk, 2008). Karateristik dari *bio-oil* yang dihasilkan juga bervariasi dan sangat tergantung dari sumber bahan baku dan kondisi proses. Pada makalah ini disajikan proses pembuatan *bio-oil* dengan menggunakan bahan baku limbah kulit durian. Pengaruh berbagai macam kondisi proses terhadap *yield bio-oil* juga dipelajari.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Sebelum digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan *bio-oil*, kulit durian segar terlebih dahulu dicuci dengan menggunakan air PDAM hingga bersih. Kemudian kulit durian dipotong kecil-kecil dan dikeringkan dalam sebuah oven pada suhu 105^oC selama 24 jam. Kemudian kulit durian kering dihancurkan menggunakan *hammer mill* JANKE & KUNKEL dan dipisahkan berdasarkan ukuran partikel (8/12, 16/20, dan 25/40 mesh) dengan menggunakan *sieve shaker*. Analisa *proximate* dilakukan dengan menggunakan

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

ISSN 9 771978 042736

metode ASTM D3173-75. Analisa profil pemanasan (*TGA*) dari kulit durian dilakukan menggunakan TGA/DSC star system (Mettler Toledo) dengan gas N_2 sebagai gas pembawa.

Proses pirolisis dilakukan dalam sebuah *horizontal tubular reactor*, reaktor dilengkapi dengan pengontrol suhu tipe FID. Secara singkat proses pembuatan *bio-oil* dari kulit durian dengan menggunakan proses pirolisis adalah sebagai berikut: kulit durian sebanyak 25 gram dimasukkan dalam reaktor, kemudian gas nitrogen dialirkan dalam reaktor dengan laju alir tertentu (3, 4, dan 5 liter/menit). Setelah beberapa saat, kemudian pemanas dihidupkan dengan laju alir pemanasan sebesar 10°C/menit hingga dicapai suhu yang diinginkan (400-700°C). Setelah suhu yang diinginkan tercapai, suhu dijaga konstan pada suhu operasi selama 30 menit. Gas yang keluar selama proses pirolisis berlangsung dialirkan ke sebuah alat pengembun (kondensor) untuk dipisahkan fraksi yang dapat terembunkan (cairan) dari campuran gas. Cairan dari kondensor kemudian ditampung dan kemudian massa nya ditimbang. Setelah proses pirolisis selesai, sistem kemudian didinginkan hingga mencapai suhu sekitar 30°C. Selama proses pendinginan berlangsung, nitrogen tetap dialirkan ke dalam sistem. Kemudian padatan yang tertinggal ditimbang massanya. Massa gas yang dihasilkan dihitung berdasarkan selisih massa kulit durian mula-mula terhadap massa padatan dan cairan (*bio-oil*).

Padatan (*bio-char*) yang dihasilkan dilakukan analisa proximate, sedangkan komposisi kimia cairan (*bio-oil*) dianalisa dengan menggunakan *GC/MS QP 2010 Shimadzu*. Sedangkan nilai kalor dari *bio-oil* dianalisa dengan menggunakan Parr Bomb Calorimeter.

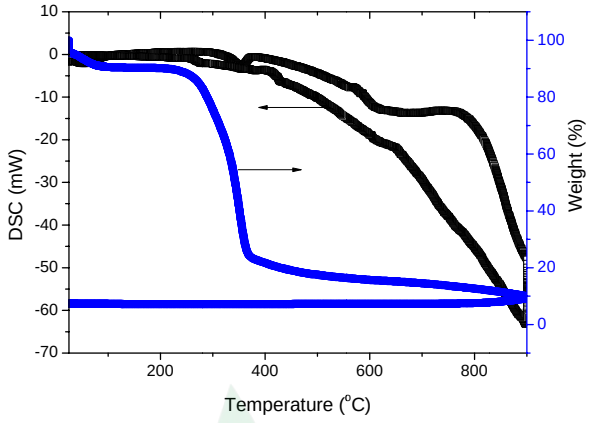
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa proksimat dan nilai kalor kulit durian dapat dilihat pada Tabel I. Dari Tabel I dapat dilihat bahwa kandungan zat terbang atau *volatile matter* dari kulit durian cukup tinggi sehingga diharapkan hasil *bio-oil* yang dihasilkan juga cukup besar.

Tabel I. Analisa proksimat dan nilai kalor kulit durian

Property	% basis kering
Kandungan air	14,5
Abu	0,4
Volatile matter (zat terbang)	64,4
Fixed carbon (karbon tetap)	20,7
Higher Heating Value HHV (MJ/kg)	13,8

Kurva TGA/DSC untuk kulit durian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini. Kurva TGA/DSC tersebut diperoleh pada kondisi berikut: laju pemanasan 5°C/menit dari 25°C hingga 900°C, setelah mencapai 900°C suhu dijaga konstan selama 10 menit kemudian didinginkan pada laju 5°C/menit hingga suhunya 25°C.



Gambar 1. Kurva TGA/DSC kulit durian

Kehilangan massa pada permulaan proses disebabkan karena penguapan air yang ada di dalam bahan. Pada kenaikan suhu yang lebih tinggi air terikat juga mengalami penguapan. Penurunan massa secara tajam pada

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

ISSN 9 771978 042736

rentang suhu antara 270 hingga 370°C disebabkan oleh pelepasan zat terbang (*volatile matter*). Di atas 370°C kehilangan massa disebabkan oleh dekomposisi lanjut dari kulit durian.

Pada percobaan yang dilakukan pada suhu 400°C dilakukan variasi laju alir gas inert dan ukuran partikel ternyata diperoleh data yang menunjukkan bahwa laju alir gas inert (N_2) tidak memberikan pengaruh pada hasil *bio-oil*, sehingga untuk proses pada suhu yang lebih tinggi laju alir gas nitrogen dibuat konstan pada 3 Liter/menit. Laju alir gas nitrogen tidak berpengaruh pada hasil *bio-oil* Distribusi produk pirolisis kulit durian pada berbagai macam kondisi operasi dapat dilihat pada Tabel II berikut ini.

Tabel II. Distribusi produk pirolisis kulit durian

Suhu, ^{o}C	Ukuran partikel, mesh	Hasil *bio-oil* (%)	Hasil *bio-char* (%)	Hasil gas (%)
400	8/12	20,9	33,5	45,6
400	16/20	25,1	31,4	43,5
400	25/40	28,7	29,8	41,5
450	8/12	25,8	30,5	43,7
450	16/20	30,7	28,1	41,2
450	25/40	33,6	26,6	39,8
500	8/12	35,7	25,1	39,2
500	16/20	40,8	24,3	34,9
500	25/40	43,1	23,7	33,2
550	8/12	42,7	23,4	33,9
550	16/20	46,8	23,1	30,1
550	25/40	49,8	23,3	26,9
600	8/12	40,1	22,8	37,1
600	16/20	42,3	22,6	35,1
600	25/40	44,4	22,5	33,1
650	8/12	39,4	22,6	38,0
650	16/20	37,5	22,7	39,8
650	25/40	36,4	22,4	41,2
700	8/12	38,1	21,9	40.0
700	16/20	36,3	21,6	42,1
700	25/40	33,2	21,5	45,3

Distribusi produk dalam proses pirolisis bergantung pada parameter-parameter reaksi seperti suhu dan ukuran partikel dari reaktan seperti terlihat pada Tabel II. Hasil maksimum *bio-oil* diperoleh pada suhu 550°C dan ukuran partikel 25/40 mesh. Pada ukuran partikel yang sama kenaikan suhu dari 400°C menjadi 550°C akan menaikkan hasil *bio-oil*. Tetapi dengan menaikkan suhu lebih lanjut, hasil bio-oil yang diperoleh akan mengalami penurunan (dapat dilihat pada Tabel II). Dengan naiknya suhu maka dekomposisi primer atau sekunder dari *bio-char* (padatan) akan terjadi sehingga jumlah *bio-char* berkurang dan yield *bio-oil* bertambah.

Satu hal yang menarik adalah hasil yang diperoleh dari pirolisis kulit durian ini adalah hasil gas yang menurun dengan kenaikan suhu, pada umumnya kenaikan suhu akan menaikkan jumlah gas yang dihasilkan, karena terjadinya perengkahan sekunder dari produk *bio-oil* yang dihasilkan. Menurunnya produk gas dan bertambahnya produk cair pada proses pirolisis kulit durian ini kemungkinan disebabkan adanya polimerisasi produk gas menjadi senyawa-senyawa dengan berat molekul yang lebih tinggi yang dapat terkondensasi pada saat pendinginan sehingga menyebabkan hasil *bio-oil* mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Di atas suhu 550°C reaksi perengkahan sekunder lebih dominan dibanding reaksi repolimerisasi sehingga hasil *bio-oil* akan mengalami penurunan.

Ukuran partikel juga memegang peranan cukup penting dalam proses pirolisis kulit durian menjadi *bio-oil*. Dengan bertambah kecilnya ukuran partikel maka produk *bio-oil* akan bertambah seperti terlihat pada Tabel II. Dengan bertambah kecil ukuran partikel maka luas permukaan kontak partikel akan bertambah, sehingga reaksi perengkahan primer akan berjalan lebih baik sehingga jumlah total produk gas dan cair akan bertambah.

Komposisi kimia dari produk bio-oil yang dihasilkan sebagian besar adalah golongan asam organic, aldehid dan keton, serta senyawa-senyawa fenol. Sedangkan senyawa-senyawa kimia lainnya yang terdeteksi adalah golongan ester, alkohol, *oxygenated cyclic compounds*, ether, senyawa hidrokarbon dan derivative nya. Senyawa-senyawa organik yang mengandung unsur nitrogen juga terdeteksi dalam produk *bio-oil* yang dihasilkan. Komposisi golongan senyawa-senyawa kimia yang terdapat dalam *bio-oil* dari pirolisis kulit durian dapat dilihat pada Tabel III.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

ISSN

Nilai kalor (HHV) dari *bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis kulit durian ini adalah sebesar 26,7 ± 3,1 MJ/kg. Jika dibandingkan dengan nilai kalor dari bensin (47,3 Mj/kg) dan solar (44,8 Mj/kg) nilai kalor dari *bio-oil* yang dihasilkan masih sekitar 60% dari kedua bahan bakar tersebut. Hal ini dikarenakan kandungan dari *bio-oil* sangat beragam sehingga untuk aplikasi sebagai bahan bakar system transportasi perlu dilakukan upgrading lebih lanjut.

Tabel III. Komposisi kimia *bio-oil* dari kulit durian

Senyawa	Komposisi, %
Asam-asam organik	19,1
Senyawa-senyawa fenol	15,7
Aldehid dan keton	18,5
Alkohol	9,4
Ether	0.7
oxygenated cyclic compounds	3,1
senyawa hidrokarbon dan derivative	0,5
Ester	8,3
Senyawa-senyawa yang mengandung nitrogen	2,1
Senyawa-senyawa lain yang tidak teridentifikasi	22,6

4. KESIMPULAN

Bio-oil yang dihasilkan dari proses pirolisis kulit durian berkisar antara 20,9% sampai 49,8% pada suhu operasi 400-700°C. Komposisi kimia dari *bio-oil* yang dihasilkan secara umum dapat digolongkan dalam golongan asam organic, aldehid dan keton, senyawa-senyawa fenol, golongan ester, alkohol, *oxygenated cyclic compounds*, ether, senyawa hidrokarbon dan derivative nya, serta senyawa-senyawa organik lainnya yang mengandung unsur nitrogen. Nilai kalor (HHV) dari *bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis kulit durian ini adalah sebesar 26,7 ± 3,1 MJ/kg.

DAFTAR PUSTAKA

Bertero, M., de la Puente, G., Sedran, U., 2012, "Fuels from bio-oils: bio-oil production from different residual sources, characterization and thermal conditioning", *Fuel*, 95, 263-271.

Butler, E., Devlin, G., Meier, D., McDonnell, K., 2011, "A review of recent laboratory research and commercial developments in fast pyrolysis and upgrading", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 15, 4171-4186.

Demiral, I., Eryazici, A., Sensoz, S., 2012, "Bio-oil production from pyrolysis of corncob (Zea mays L.)", *Biomass Bioenergy*, 36,43-49.

Ellens, C.J., Brown, R.C., 2012, "Optimization of a free-fall reactor for production of fast pyrolysis bio-oil", *Biores. Technol.*, 103, 374-380.

Ozbay, M., Apaydin-Varol, E., Uzun, B., Putun, A., 2008, "Characterization of bio-oil obtained from fruit pulp pyrolysis", *Energy*, 33, 1233-1240.

Pandey, V.C., Singh, K., Singh, J.S., Kumar, A., Singh, B., Singh, R.P., 2012, "Jatropha curcas: A potential bio-fuel plant for sustainable environmental development', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16, 2870-2883.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

TATA LOKA
VOLUME 22 NOMOR 3, AGUSTUS 2020, 428-436
© 2020 BIRO PENERBIT PLANOLOGI UNDIP
P ISSN 0852-7458- E ISSN 2356-0266

Memahami Pembangunan Ekonomi Provinsi Nusa Tenggara Timur Berbasis Energi Baru Dan Terbarukan

Understanding the Economic Development of East Nusa Tenggara Province Based on New and Renewable Energy

Adrianus Amheka[1]

Diterima: 20 Desember 2019 Disetujui: 1 April 2020

Abstrak: Ekonomi sebagai indikator pembangunan Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) menjadi penting untuk dipahami hubungannya dengan level aktivitas sektor industri dalam menyokong roda ekonomi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui optimasi pembangunan saat ini guna memproyeksikan peningkatan ekonomi di Provinsi NTT dengan memanfaatkan potensi lokal energi baru dan tebarukan (EBT) dalam rangka mendukung Kebijakan Energi Nasional (KEN) melalui penerapan model *Long-range Energy Alternative Planning (LEAP) system* jangka panjang tahun 2015 sampai 2030 dengan sub-sektor industri yang *exist* di Provinsi NTT melalui intengrasi sistim teknik dan pengkajian sistim energi. Hasilnya menunjukan penggunaan energi primer terbesar adalah jenis industri makanan dan minuman, sedangkan konsumsi energi sekunder listrik terbesar dari industri semen, oleh karena adanya upaya pemerintah dalam mendongkrak industri skala besar. Bauran energi listrik bersumber dari EBT menunjukan peningkatan drastis sampai tahun 2030 yaitu sebesar 19,05% dibandingkan dengan jenis energi lainnya sekaligus mencapai sasaran KEN yaitu pemanfaatan EBT semaksimal mungkin dan meminimalkan penggunaan minyak serta mengoptimalkan penggunaan gas. Dengan demikian ekonomi Provinsi NTT saat ini masih memadai untuk mengoptimalkan penggunaan dan pemanfaatan EBT jangka panjang.

Kata kunci: Provinsi NTT, Energi, Eknomi, EBT

Abstract: The economy as an indicator of the development of the Province of East Nusa Tenggara (NTT) becomes important to understand its relationship with activity level of the industrial sector in supporting the economic wheel. This study objectives are to determine the current development optimization to project economic improvement in the province of NTT by utilizing the local potential of renewable energy (RE) in order to support the Indonesian National Energy Policy (INEP) through implementation of the Long-range Energy Alternative Planning (LEAP) system for the period 2015 to 2030 with existing industrial sub-sectors in the province with integrated of operating systems and energy systems assessments. The results show that the largest primary energy use is the food and beverage industry, while the largest secondary energy consumption is from the cement industry, due to government efforts to boost large-scale industries. The mix of electric energy sourced from RE showed a drastic increase up to 2030, which amounted to 19.05% compared to other types of energy while achieving the INEP target, namely the utilization of RE as much as

[1] Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Kupang

Korespondensi: adrianus.amheka@gmail.com

DOI: https://doi.org/10.14710/tataloka.22.3.428-436

possible and minimizing oil use, then optimizing gas use. Thus, the economy of NTT Province is currently still adequate to optimize the use and utilization of long-term RE.

Keywords: NTT Province, energy, economy, renewable energy

PENDAHULUAN

Ekonomi sebagai indikator dan pilar pembangunan suatu wilayah menjadikannya parameter penting sehingga perlu dikontrol pertumbuhannya yang diukur melalui peningkatan Produk Domestik Bruto (PDB) atau di level regional disebut PDRB (Iqbal, Rifin, & Juanda, 2019; Purnomo, 2017). Pertumbuhan PDRB Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) selama kurun waktu 2010-2017 adalah diatas 5% pertahun(BPS Nusa Tenggara Timur, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017). Seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang baik, membutuhkan energi yang memadai dalam menjalankan aktvitas sektor-sektor produktif penggerak perekonomian di Provinsi NTT (Amheka, 2018; Iqbal et al., 2019). Sektor-sektor produktif yang berdampak baik diklasterisasi menjadi satu sektor yang disebut sektor industri yang terdiri dari agregat berbagai sektor pembangunan (Amheka, Higano, Mizunoya, & Yabar, 2014; Zhou, Yabar, Mizunoya, & Higano, 2016). Permintaan energi primer Indonesia pada tahun 2025 dan 2050 diproyeksikan akan mecapai 400 *Million tonnes oil equivalent* (MTOE) dan 1.000 MTOE atau setara dengan penyediaan pembangkit listrik masing-masing sebesar 115 GW dan 430 GW di tahun yang sama (Regulation, 2017)(Ministry of Energy and Mineral Resources, 2014) dalam mendukung bukan hanya sektor Industri namun semua aktivitas manusia akan tetapi konsekuensi berdampak buruk pada lingkungan ditingkat nasional dan lokal yaitu Provinsi NTT (Amheka, Higano, Mizunoya, & Yabar, 2015, 2016) jika tidak dikontrol penggunaan energi fosil yang berlebihan. Potensi energi energi baru dan terbarukan (EBT) di Provinsi NTT cukup melimpah sebesar 23.812,5 MW dan sampai saat ini yang sudah dimanfaatkan belum mencapai 0,5% dari total potensi yang ada. Pada tahun 2014, konsumsi minyak untuk aktivitas ekonomi Provinsi NTT mencapai angka 756.431 Kilo litter (KL) yang terdiri dari jenis bahan bakar bensin, minyak tanah, minyak bakar, minyak diesel, dan avgas avtur yang mana semua bersumber dari bahan bakar fosil. Konsep ekonomi berbanding lurus dengan konsumsi energi (Amheka, 2014), yang mana seperti halnya Kota Kupang sebagai ibu kota Provinsi NTT, mengkonsumsi energi fosil untuk pembangunan kelistrikan di tahun 2010 sebesar 50.385 KL (Amheka, 2014) atau setara dengan 6,7% dari total konsumsi di tahun 2014 dan tren konsumsi ini cenderung naik. Pembangunan ekonomi sangat berpengaruh terhadap pasokan aliran komoditas dari sektor-sektor input termaksud unsur pelayanan yang menggunakan energi yang cukup banyak (Amheka et al., 2016). Di provinsi NTT, laju pertumbuhan PDRB tahun 2018 pada harga konstan sebesar 5,16% (BPS Nusa Tenggara Timur, 2018). Sampai saat ini telah teridentifikasi 55 sektor ekonomi di Provinsi NTT yang menjadi penggerak ekonomi, diantara sektor-sektor tersebut terdapat sekitar tujuh sektor yang menonjol dalam kontribusi pembangunan antara lain penjualan dan perdagangan, pemerintahan, konstruksi bangunan, perikanan laut, komunikasi, peternakan dan transportasi darat (Amheka et al., 2014). Penggunaan energi fosil dalam menggerakan roda pembangunan tersebut dengan proyeksi peningkatan permintaan akhir pada waktu tertentu dari listrik dan air ternyata berdampak drastis pada besaran *output* sebagian besar sektor pembangunan diantaranya adalah konstruksi bangunan oleh karena maraknya pembangunan fisik hotel dalam mendukung upaya pemerintah daerah yang gencar terhadap pariwisata lokal yang diimbangi oleh sektor komukasi, perdanganan dan transportasi (Amheka et al., 2014) dimana lebih dari 90% penggunaan energi dari jenis bahan bakar minyak (ESDM Division Setda NTT Province, 2015) dan sisanya batubara. Semua ini akan memacu emisi CO_2 global yang dikontribusikan oleh Provinsi NTT menjadi tidak terkontrol, karena energi sebagai penyokong pembangunan murni berasal dari energi fosil. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui optimasi pembangunan saat ini, guna memproyeksikan

peningkatan ekonomi suatu daerah melalui kajian mendalam (Gul & Qureshi, 2012; Wangjiraniran, Vivanpatarakij, & Nidhiritdhikrai, 2011), termaksud untuk Provinsi NTT dengan memanfaatkan potensi lokal EBT dalam rangka mendukung Kebijakan Energi Nasional dari perspektif lokal yaitu bauran energi primer Indonesia di tahun 2025 yang bersumber dari EBT sebesar 23% (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2014). Penggunaan sistim teknik optimasi yang dilakukan dalam penelitian ini dalam memprediksikan kebutuhan energi regional yang berfokus pada pengkajian kebijakan masih menjadi salah satu solusi yang efektif dan efisien (Asumadu-Sarkodie & Owusu, 2017; Irmak, Ayaz, Gok, & Sahin, 2014; Tan, Culaba, & Aviso, 2008).

METODE

Riset ini telah dilakukan pada tahun 2017 dengan menggunakan data baseline 2015 untuk demografi dan ekonomi makro Provinsi NTT yaitu besaran masing-masing dan penambahan beberapa indikator kelistrikan berupa rasio elektrifikasi dan kuantitas konsumsi listrik masayarakat seperti detail pada Tabel 1.

Tabel 1. Indikator demografi dan sosial Pronvisi NTT

DEMOGRAFI Satuan: persen, jiwa, rumah tangga	EKONOMI MAKRO Satuan: milliar	
	Lapangan Usaha	PDRB Harga konstan 2010
Jumlah penduduk	Pertanian, kehutanan, dan perikanan	PDRB
Laju pertumbuhan penduduk per tahun	Pertambangan dan penggalian	Pertumbuhan PDRB
Prosentase penduduk perkotaan	Industri pengolahan	PDRB per Kapita
Jumlah rumah tangga	Pengadaan listrik dan gas	Pertumbuhan PDRB per kapita
Jumlah anggota per rumah tangga	Pengadaan air, pengelolaan sampah, limbah dan daur ulang	PDRB Industri pengolahan tanpa industri batubara dan pengilangan Migas
Jumlah rumah tangga perkotaan	Konstruksi	Pertumbuhan PDRB Industri Pengolahan
Jumlah rumah tangga perdesaan	Perdagangan besar dan eceran; reparasi mobil dan sepeda motor	Elastisitas pertumbuhan industri pengolahan
Rasio elektrifikasi (rumah tangga)	Transportasi dan pergudangan	PDRB Transportasi
Rasio elektrifikasi perkotaan	Penyediaan akomodasi dan makan minum	Pertumbuhan PDRB Transportasi
Rasio elektrifikasi perdesaan	Informasi dan komunikasi	Elastisitas pertumbuhan transportasi
Jumlah rumah tangga perdesaan terlistriki	Jasa keuangan dan asuransi	PDRB Komersial
Jumlah rumah tangga perdesaan belum terlistriki	Real estate	Pertumbuhan PDRB Komersial
	Jasa perusahaan	Elastisitas pertumbuhan komersial
	Administrasi pemerintahan, pertahanan dan jaminan sosial wajib	PDRB Sektor Lainnya
	Jasa pendidikan	Pertumbuhan PDRB Sektor Lainnya
	Jasa kesehatan dan kegiatan sosial	Elastisitas pertumbuhan sektor lainnya
	Jasa lainnya	

Selain data primer, ketersediaan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber resmi serta sumber ilmiah relevan lainnya akan digunakan. Baseline data 2015, menjadi acuan proyeksi tren pertumbuhan ekonomi yang dipengaruhi oleh keadaan demografi dan permintaan energi sampai tahun 2030 yang dikhusukan untuk sektor Industri. Adapun klasterisasi industri adalah satu agregat dari sejumlah industri kecil, menengah dan besar yang ada antara lain: 1.Industri batubara dan pengilangan migas; 2.Industri makanan dan minuman; 3.Industri pengolahan tembakau; 4.Industri tekstil dan pakaian jadi; 5.Industri kulit, barang dari kulit dan alas kaki; 6.Industri kayu, barang dari kayu dan gabus dan barang anyaman dari bambu, rotan dan sejenisnya; 7.Industri kertas dan barang dari kertas; percetakan dan reproduksi media rekaman; 8.Industri kimia, farmasi dan obat tradisional; 9.Industri karet, barang dari karet dan plastik; 10.Industri barang galian bukan logam; 11.Industri logam dasar; 12.Industri barang logam; komputer, barang elektronik, optik; dan peralatan listrik; 13.Industri mesin dan perlengkapan; 14.Industri alat angkutan; 15.Industri furnitur; 16.Industri pengolahan lainnya, jasa reparasi, pemasangan mesin dan peralatan.

Ketersediaan data dan informasi nilai *output* industri-industri tersebut ditentukan oleh *existing* industri tersebut dikarenakan tidak semua industri tersebut *exist* di NTT. Nilai dari data primer dan sekunder yang ada dipakai sebagai nilai eksogen dalam pemodelan untuk mendapatkan level aktivitas menggunakan sumber EBT yang ada. Melalui bantuan perangkat lunak *Long-range Energy Alternative Planning (LEAP) system* (Hu, Ma, & Ji, 2019; Mirjat et al., 2017) dengan formula yang digunakan:

$E_i = \sum(PDRB\ subsektor\ industri\ x\ I_i)$, dimana, E_i adalah total kebutuhan energi sektor industri; dan I_i adalah intensitas konsumsi energi sektor industri. i menunjukan tahun 2015 sampai tahun 2030. Sedangkan untuk permintaan energi termaksud listrik dihitung berdasarkan proyeksi permintaan listrik dalam rencana umum penyediaan tenaga listrik (RUPTL) 2019-2028 dan formula asumsi yang dibuat (Handayani, Krozer, & Filatova, 2019) bahwa permintaan listrik pada tahun tertentu adalah jumlah listrik yang diminta pada tahun sebelumnya dan pertumbuhan yang diprediksikan, formulanya:

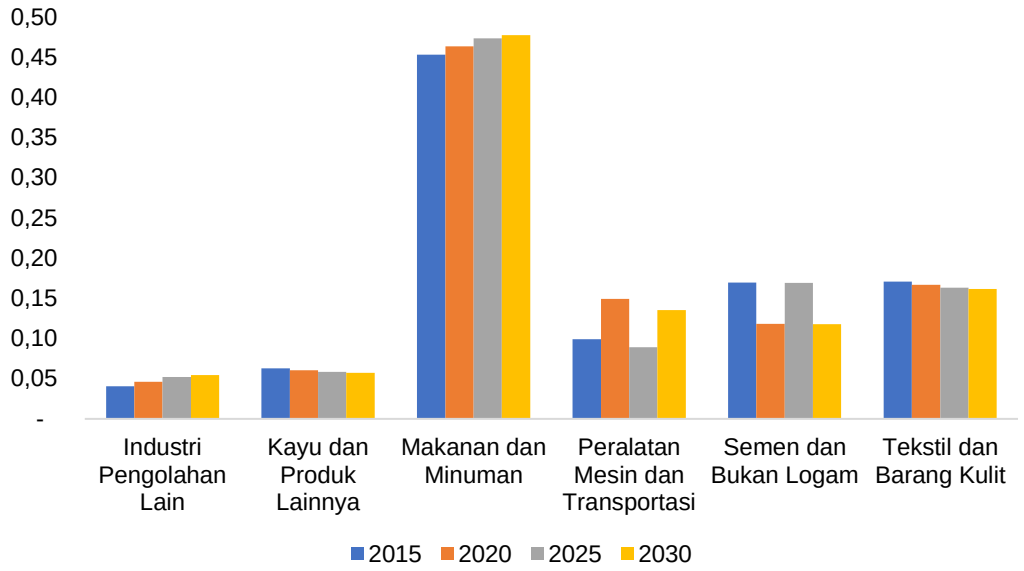
$ED_t = (ED_{t-1} * EDG_t) + ED_{t-1}$, where ED_t adalah permintaan listrik dalam tahun t; EDG_t adalah persentasi dari pertumbuhan permintaan listrik pada tahun t hal lain yang dipetimbangkan adalah rugi-rugi daya sewaktu transmisi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas pembanguan Provinsi NTT ternyata sangat dipengaruhi oleh laju konsumsi energi, namun level elastisitas energi masih cukup tinggi diantara tahun 2015 dan 2020 dengan nilai diluar target Kebijakan Energi Nasional (Nusa Tenggara Timur Government, 2019) hal ini dipengaruhi oleh penggunaan energi fosil dalam menjalankan aktivitas perekonomian yang membutuhkan energi dalam menyokong aliran komoditas antar sektor. Klasterisasi industri yang relevan dan *exist* di Provinsi NTT antara lain tekstil dan barang dari kulit; semen bukan logam; peralatan mesin dan transportasi; makanan dan minuman; kayu dan produk lainnya serta industri pengolahan lainnya. Adapun hasil optimasi bauran konsumsi energi primer tahun 2012-2030 antar sub-sektor industri, menunjukan industri makanan dan minuman mengkonsumsi energi yang terbanyak diantara industri lainnya yaitu sebesar 45% dan 48% diantara tahun 2015 dan 2030 dengan peningkatan stabil 1% seperti terlihat pada Gambar 1.

Hal ini menunjukan penggunaan energi primer dalam seb-sektor ini akan terus meningkat stabil, sehingga kebijakan dalam mendukung pertumbuhan ekonomi tidak mempengaruhi peningkatan penggunaan energi per tahun atau dapat dikatakan ekonomi berjalan baik seiring dengan pertumbuhan permintaan energi primer yang konsisten. Adapun peningkatan permintaan energi primer dari industri ini dipengaruhi oleh banyaknya urbanisasi dari desa terpencil yang berkumpul pada sentra ekonomi di perkotaan yang membuat lonjakan pada permintaan *output* dari sub-sektor industri makanan dan minuman

tersebut, meskipun usaha industri ini di desa juga lumayan banyak dan hampir semua menggunakan biomasa kayu bakar dalam proses produksi. Sedangkan jika dibandingkan dengan sub-sektor industri tekstil dan barang kulit berbanding terbalik berkaitan dengan tren dimana untuk industri tekstil dan barang kulit cenderung turun untuk bauran penggunaan energi diantara tahun-tahun target dimana penurunan statisnya terjadi setelah tahun 2025 yaitu sebesar 16% turun 1% dari tahun-tahun sebelum.



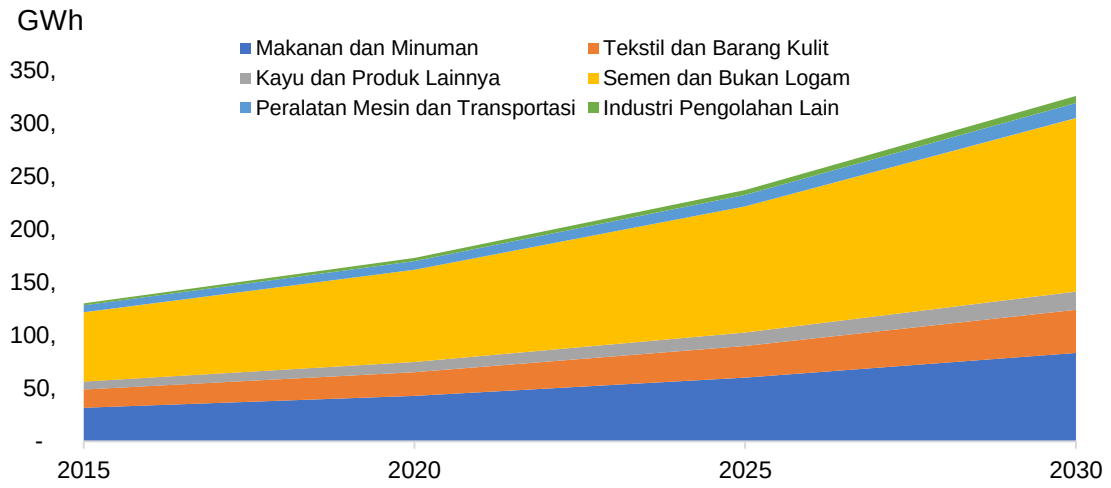
Gambar 1. *Share* Penggunaan Energi Primer Dalam Industri Tahun 2015 – 2030

Umumnya industri ini diramaikan dengan aliran komoditas ekspor dan impor antar antar provinsi dari bahan mentah di Provinsi NTT. Hal yang sama juga terjadi untuk industri kayu dan produk lainnya v.s industri pengolahan lainnya yaitu tren terbalik, dimana bauran penggunaan energi primer dari kedua jenis industri ini jika dibandingkan dengan industri lainnya dalam sub-sektor industri memang cendereng kecil yaitu antara 5% dan 6% diantara tahun 2015 dan 2030. Namum tren terbalik ini untuk industri pengolahan lainnya penggunaan energi meningkat dipengaruhi pesatnya permintaan berbagai industri yang terlibat didalamnya seperti industri kreatif dan industri pariwisata lokal lainnya yang banyak permintaan melalui digitalisasi.

Terjadi fluktuasi tren pada bauran penggunaan energi primer sub-sektor industri, yaitu pada industri peralatan mesin dan transportasi serta industri semen bukan logam. Untuk industri peralatan mesin dan transportasi lonjakan permintaan energi primer terjadi pada tahun 2020 dan 2030 yaitu diantara 14% dan 15% lebih tinggi dari tahun 2015 dan 2025 yaitu diantara 9% dan 10%. Hal menarik ini terjadi karena perkembangan teknologi dan inovasi yang terjadi sebagai dampak dari transformasi industri 4.0 di Provinsi NTT pada tahun 2020 yang cukup pesat, walaupun cenderung lama dibandingkan dengan provinsi lainnya di Pulau Jawa oleh karena situasi dan kondisi geografis. Selanjutnya permintaan energi primer sempat menurun drastis di tahun 2025 sebesar 6% dibandingkan dengan tahun 2020 oleh karena faktor melek produksi oleh karena permintaan terhadap *output* industri pengolahan lainnya ini sempat stak. Lebih lanjut bauran penggunaan energi dari industri semen bukan logam juga terjadi fluktuasi namun berbading terbalik dengan tren industri peralatan mesin dan

transportasi. Fluktuasi industri semen ini terjadi pada tahun 2015 dan 2025 v.s 2020 dan 2030. Hal ini terjadi oleh karena kebijakan lingkungan bebas polusi yang kuat telah terbentuk di tahun setelah 2019 yang imbasnya pada ketatnya kontrolan terhadap polusi yang diakibatkan dari proses produksi yang menggunakan energi fosil yang banyak pada industri semen kupang serta aliran komoditas ekspor dan impor bahan baku serta material. Namum pada tahun 2030 sempat naik bauran energi primer dari industri ini dikarenakan intervensi permintaan semen dari sektor konstruksi bangunan dalam rangka percepatan infrastruktur di Provinsi NTT kemungkinan terjadi sangat pesat.

Penggunaan energi listrik sub-sektor industri baik bersumber dari fosil dan EBT cukup banyak dan pesat perkembangannya dengan total pada tahun 2015 sebesar 130.39 GW; tahun 2020 sebesar 173,27 GW; tahun 2025 sebesar 237,24 GW; dan tahun 2030 sebesar 326,06 GW seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Besar Penggunaan Listrik dalam Industri Tahun 2015 – 2030

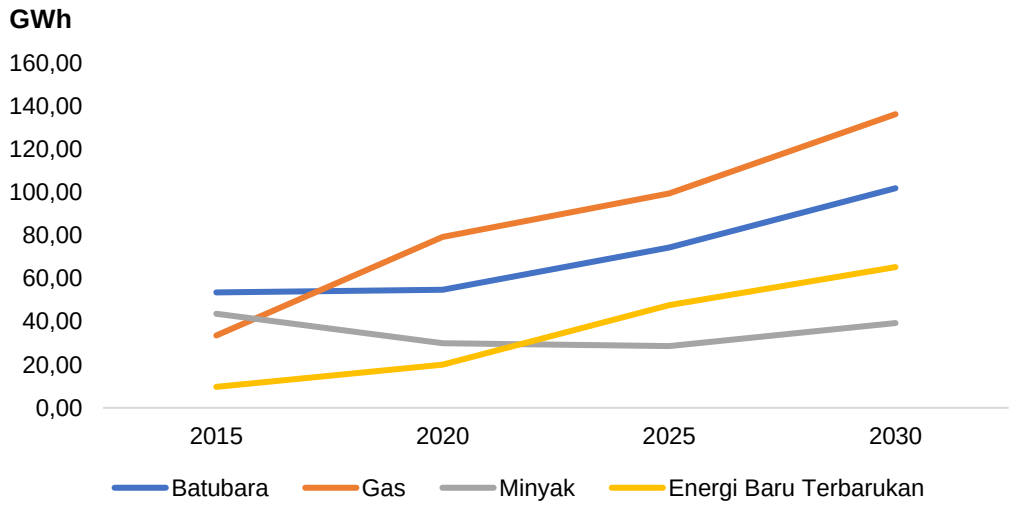
Ternyata ada perbedaan penggunaan energi sekunder baik dari EBT dan *non*-EBT antar sub-sektor industri yang cenderung berbeda dengan penggunaan energi primer. Pada penggunaan listrik industri semen bukan logam lebih besar secara kuantitas dan terus meningkat dari tahun dasar 2015 sampai tahun 2030 yaitu antara 65,5 GW dan 164 GW masing-masing di tahun 2015 dan 2030. Hal ini dipicu oleh permintaan listrik dalam mendongkrak industri skala besar yang hanya satu-satunya di Provinsi NTT adalah Pabrik Semen Kupang untuk mencapai pemakaian proporsional (Singgih, 2016). Hal ini dijadikan monopoli konsumsi listrik yang cenderung mengorbankan industri skala kecil lainnya oleh karena upaya pencapaian pertumbuhan ekonomi dari sektor industri besar sekaligus merangsang investor untuk menanamkan modal pada industri besar di NTT untuk jangka panjang. Hal ini perlu adanya kebijakan kongkrit pemerintah dalam hal menekan elastisitas energi untuk mencapai pola pembangunan berkelanjutan (Amheka et al., 2016). Industri makanan dan minuman menempati posisi kedua konsumsi listrik terbesar namun peningkatannya stabil dari tahun dasar sampai 2030. Adapun tren Kebiajakan Energi Nasional akan stabil juga terjadi pada ketiga industri lainnya. Lebih lanjut kuantitas bauran energi final jenis fosil dan EBT Provinsi NTT tahun 2015-2030 menunjukan nilai yang baik seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kuantitas Bauran Energi Provinsi NTT Tahun 2015-2030

Jenis energi	2015	2020	2025	2030
Batubara	53,54	54,84	74,40	101,88
Gas	33,57	79,21	99,43	136,21
Minyak	43,65	30,02	28,66	39,35
EBT	9,74	20,05	47,66	65,28
Total	140,50	184,12	250,15	342,72

Satuan: Giga watt (GW)

Pada tahun dasar 2015 penggunaan energi fosil batubara dan minyak khusus untuk sub-sektor industri masih mendominasi masing-masing 38,11% dan 31,07% sedangkan gas dan EBT masing-masing 23,89% dan 6,93%. Hal ini dikarenakan tidak adanya kebijakan serius dari pemerintah yang berpihak pada penggunaan EBT semaksimal mungkin untuk kesejahteraan dan pembangunan di Provinsi NTT. Namun data endogen hasil simulasi, baik yang ditunjukan dalam Tabel 1 dan Gambar 2, menunjukan pada tahun 2020 dan 2030, posisi bauran energi fosil *versus* EBT sudah mulai kompetitif, dimana EBT semakin meningkat dan *non*-EBT atau fosil semakin berkurang, namun sesuai dengan amanat Kebijakan Energi Nasional tetap mengoptimalkan pemanfaatan dan penggunaan gas dan jika masih kurang memadai, maka pasokan energi bisa diisi oleh batubara yang cadangannya masih cukup untuk jangka menengah. Secara kuantitif penggunaan EBT di tahun 2030 mencapai 62,28 GW atau setara dengan 19,05% dari total bauran energi listrik di tahun 2030 untuk sub-sektor industri.



Gambar 2. Besar Penggunaan Listrik Perjenis Energi dalam Industri Tahun 2015 – 2030

Tren pertumbuhan penggunaan EBT mengalami peningkatan awal titik drastis pada tahun 2020 dan 2025. Hal ini dipicu kemungkinan besar oleh sudah diperkenalkannya Kebijakan Energi Daerah dalam mendukung Kebijakan Energi Nasional yang berpihak pada pemanfaatan EBT sebesar-besarnya dan seluas-luasnya untuk pembangunan dan kesejahteraan masyarakat di Provinsi NTT. Hal ini menunjukan bahwa ekonomi NTT masih ada ruang untuk pemanfaatan energi berbasis EBT dalam mencapai pembangunan di Provinsi NTT ramah lingkungan dan mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (Amheka, Higano, Tanesab, & Tuati, 2019). Akan tetapi komitmen pemerintah selain pemanfaatan EBT, perlu mempertimbangkan ulang kaitannya dengan pemanfaatan

batubara sebagai stok dalam bauran energi (Mirjat et al., 2017) jikalau gas mencapai titik stak. Penelitian ini memberikan nilai tambah dengan memfokuskan pada level regional. Hal ini perlu dilakukan kajian lebih mendalam dalam hal dukungan infrastruktur yang memadai dalam mencapai optimalisasi pengguaan energi berbasis EBT dalam menunjang pembangunan di Provinsi NTT sekaligus mencapai kemandirian dan ketahanan energi daerah jangka panjang.

KESIMPULAN

Strutur ekonomi Provinsi NTT masih memadai untuk dioptimalkan penggunaan EBT dalam rangka ketahanan dan kemandirian energi daerah sekaligus mendukung Kebijakan Energi Nasional pemerintah, dan untuk hal ini perlu adanya suatu *platform ad hoc* seperti Badan Energi Daerah guna memantau jalannya pembangunan daerah berbasis energi bersih dan percepatan capaian penggunaan EBT. Penelitian selanjutnya perlu memperhatikan aspek laju produksi bukan hanya sektor industri namun sektor ekonomi produktif lainnya pengguna energi dan dampak terhadap pembangunan dan lingkungan global.

DAFTAR PUSTAKA

Amheka, A. (2014). Comprehensive evaluation of energy structure transformation policies to reduce GHG emission in Kupang, NTT, Indonesia: Assessment of renewable energy technology with extended dual input-output analysis. University of Tsukuba.

Amheka, A. (2018). Evaluation of Economic Structure Development of Kupang City, NTT Province, Indonesia to Meet National GHG Emission Target. Regional Science Inquiry, X(1), 11–17. Retrieved from https://ideas.repec.org/a/hrs/journl/vxy2018i1p11-17.html

Amheka, A., Higano, Y., Mizunoya, T., & Yabar, H. (2014). Comprehensive Evaluation of the Feasibility to Develop a Renewable Energy Technology System and Waste Treatment Plant in Kupang City, Indonesia based on a Kupang Input Output Table. Procedia Environmental Sciences, 20, 79–88. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.012

Amheka, A., Higano, Y., Mizunoya, T., & Yabar, H. (2015). An overview of current household waste management in Indonesia: Development of a new integrated strategy. International Journal of Environment and Waste Management, 15(1), 86. https://doi.org/10.1504/IJEWM.2015.066953

Amheka, A., Higano, Y., Mizunoya, T., & Yabar, H. (2016). Emission reduction strategies in indonesia: Evaluation of socio-economic development trends in Kupang city based on an I/O analysis. Studies in Regional Science, 45(1), 41–60. https://doi.org/10.2457/srs.45.41

Amheka, A., Higano, Y., Tanesab, J., & Tuati, N. (2019). Energy Transformation and GHG Emission Reduction Model: An empirical Strategy for Kupang City, NTT Province, Indonesia. International Journal of Renewable Energy Research, 9(2), 1089–1096. Retrieved from https://www.ijrer.org/ijrer/index.php/ijrer/article/view/9431

Asumadu-Sarkodie, S., & Owusu, P. A. (2017). Carbon dioxide emissions, GDP per capita, industrialization and population: An evidence from Rwanda. Environmental Engineering Research, 22(1), 116–124. https://doi.org/10.4491/eer.2016.097

BPS Nusa Tenggara Timur. (2010). NTT in Figures 2010 -2018

ESDM Division Setda NTT Province. (2015). Primary data on energy usage in 2010-2011 NTT Province. ESDM Division, Setda NTT Province.

Gul, M., & Qureshi, W. A. (2012). Modeling diversified electricity generation scenarios for Pakistan. IEEE Power and Energy Society General Meeting. https://doi.org/10.1109/PESGM.2012.6344821

Handayani, K., Krozer, Y., & Filatova, T. (2019). From fossil fuels to renewables: An analysis of long-term scenarios considering technological learning. Energy Policy, 127, 134–146. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.045

Hu, G., Ma, X., & Ji, J. (2019). Scenarios and policies for sustainable urban energy development based on LEAP model – A case study of a postindustrial city: Shenzhen China. Applied Energy, 238, 876–886. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.162

Iqbal, M., Rifin, A., & Juanda, B. (2019). Analisis Pengaruh Infrastruktur Terhadap Ketimpangan Pembangunan Ekonomi Wilayah Di Provinsi Aceh. Tataloka, 21(1), 75. https://doi.org/10.14710/tataloka.21.1.75-84

Irmak, E., Ayaz, M. S., Gok, S. G., & Sahin, A. B. (2014). A survey on public awareness towards renewable energy in Turkey. 2014 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), 932–937. https://doi.org/10.1109/ICRERA.2014.7016523

Ministry of Energy and Mineral Resources. Indonesia National Energy Policy (INEP). , (2014).

Mirjat, N. H., Uqaili, M. A., Harijan, K., Valasai, G. Das, Shaikh, F., & Waris, M. (2017). A review of energy and power planning and policies of Pakistan. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79, 110–127. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.040

Nusa Tenggara Timur Government. (2019). General Regional Energy Plan of NTT Province: a draft.

Purnomo, R. A. (2017). Ekonomi Kreatif Pilar Pembangunan Indonesia - Umpo Repository. Retrieved from http://eprints.umpo.ac.id/2859/

Regulation, P. National Energy General Plan. , Pub. L. No. Presidential Regulation No. 22 (2017).

Singgih, E. (2016). Pengaruh Suplai Sumber Daya Energi Batubara dan Energi Listrik Terhadap Pertumbuhan Industri Besar dan sedang (IBS) dan Implikasinya Bagi Pertumbuhan Produk Domestik Bruto. Jurnal Ekonomi, 18(3), 284–311.

Tan, R. R., Culaba, A. B., & Aviso, K. B. (2008). A fuzzy linear programming extension of the general matrix-based life cycle model. Journal of Cleaner Production. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.06.020

Wangjiraniran, W., Vivanpatarakij, S., & Nidhiritdhikrai, R. (2011). Impact of economic restructuring on the energy system in Thailand. Energy Procedia, 9, 25–34. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.09.004

Zhou, Q., Yabar, H., Mizunoya, T., & Higano, Y. (2016). Exploring the potential of introducing technology innovation and regulations in the energy sector in China: A regional dynamic evaluation model. Journal of Cleaner Production, 112, 1537–1548. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.070

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Akuntansi Universitas Jember
Vol. 18 No. 1 (2020)

MENELISIK DAMPAK PENGGUNAAN ENERGI TERBARUKAN PADA LAPORAN KEUANGAN

ANALYSIS THE IMPACT OF RENEWABLE ENERGY IN FINANCIAL STATEMENT

Gardina Aulin Nuha
gardina@unmuhjember.ac.id
Universitas Muhammadiyah Jember

Ari Sita Nastiti
arisitanastiti@unmuhjember.ac.id
Universitas Muhammadiyah Jember

ABSTRACT

This study analyzed the impact of renewable energy in financial statement of energy companies listed on Indonesian Stock Exchange. This study used 3 energy companies during the 2018 period as samples. This study is written using a qualitative descriptive approach by analyzing the financial statements and annual reports of sample companies. Based on the data analysis, the results show that that the use of renewable energy had no particular impact on the financial statements of the energy sector companies. Information related to accounting treatment of renewable energy assets is still very minimal reported by the company. Especially for the companies that are still new to implementing and developing renewable energy, there is not much information related to renewable energy assets. This is indicated by the absence of accounting rules governing for the use of renewable energy, so that renewable energy assets are treated as the same as other fixed assets.

Keywords: ***Accounting, Annual Report, Financial Statement, Fixed Asset, Renewable Energy***

1. PENDAHULUAN

Potensi sumber daya alam yang dimiliki oleh Indonesia sangatlah besar. Namun, hal tersebut tidak menjamin bahwa Indonesia akan bebas dari fenomena kelangkaan sumber daya alam. Kelangkaan sumber daya alam merupakan sebuah fenomena yang terjadi akibat ketidakseimbangan antara kebutuhan manusia yang tidak terbatas dengan sumber daya alam yang terbatas. Sumber daya alam yang memiliki unsur keterbatasan adalah sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui.

Ketidakmampuan alam untuk memperbarui dikarenakan waktu penggunaan sumber daya tersebut lebih cepat daripada waktu pembentukkannya. Seperti kita ketahui bersama, bahwa sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui merupakan sumber daya yang berasal dari fosil pada jutaan tahun yang lalu.

Data penggunaan sumber daya alam dalam bentuk energi di Indonesia dengan rincian sebagai berikut: 1). Bahan Bakar Minyak (BBM): 52,50% ; 2). Gas: 19, 04% ; 3). Batu Bara: 21,52% ; 4). Air: 3,73% ; 5). Panas Bumi: 3,01% ; 6). Energi Baru: 0,2% (Kholiq, 2015). Berdasarkan data tersebut dapat kita ketahui bahwa penggunaan sumber daya terbesar adalah minyak. Minyak merupakan sumber daya alam yang

sifatnya tidak dapat diperbarui. Jumlah sumber daya minyak saat ini mulai menurun, bahkan Indonesia mengambil keputusan untuk impor. Hal tersebut dikarenakan sumber energi minyak bumi masih menjadi sumber utama yang digunakan dalam hal kelistrikan, transportasi, dan industri. Permasalahan tersebut mengharuskan berbagai negara termasuk Indonesia untuk mencari alternatif lain yang dapat digunakan sebagai pengganti dari sumber daya yang sifatnya tidak dapat diperbarui.

Alternatif tersebut merupakan bentuk dari diversifikasi energi, yang berarti penggunaan energi lain yang masih banyak tersedia. Pengkajian mengenai alternatif tersebut sudah banyak dilakukan dan diterapkan di berbagai negara. Alternatif energi-energi tersebut biasa disebut dengan energi terbarukan. Energi terbarukan merupakan energi yang sifatnya berkelanjutan dan proses pembentukkanya tidak membutuhkan waktu yang lama sehingga sifat dari energi ini selalu dapat diperbarui. Sumber energi yang termasuk dalam energi terbarukan adalah energi panas bumi, energi surya atau matahari, tenaga angin, tenaga air, dan biomassa. Sumber energi tersebut merupakan potensi energi yang biasa menjadi alternatif.

Indonesia merupakan salah satu negara yang berkomitmen untuk menggunakan energi terbarukan sebagai solusi berkaitan dengan permasalahan energi. Komitmen tersebut dibuktikan dengan keluarnya UU No. 30 Tahun 2007. Dimana pada tahun 2025, pemerintah menargetkan penggunaan energi terbarukan sebesar 23% dan di tahun 2050 meningkat menjadi 31%. Selain itu, komitmen Indonesia dalam penggunaan energi terbarukan dibuktikan dengan penandatanganan *Paris Agreementto The UN Framework Convention on Climate Change* yang salah satunya mengenai upaya mengurangi gas rumah kaca. Lebih lanjut lagi, komitmen diatas dapat terlaksana dengan sinergi yang baik antara pemerintah dan masyarakat. Masyarakat dalam hal ini perusahaan BUMN maupun sektor swasta diharapkan dapat mulai mengganti penggunaan energinya ke arah energi terbarukan.

Untuk memacu agar berbagai entitas baik sektor BUMN maupun swasta menggunakan energi terbarukan, pemerintah memberikan stimulus positif. Salah satunya melalui kebijakan fiskal. Kebijakan fiskal ini disebut dengan fasilitas insentif fiskal. Insentif perpajakan bagi pengguna sumber energi terbarukan tertuang dalam Peraturan Menteri Keuangan No.24/PMK.011/2010, tertanggal 29 Januari 2010. Fasilitas pajak yang diberikan sebagai bentuk keringanan pada perusahaan yang menerapkan energi terbarukan yaitu berupa fasilitas PPh, fasilitas PPN, fasilitas Bea Masuk, dan fasilitas pajak ditanggung Pemerintah.

Lebih lanjut lagi, penggunaan energi terbarukan ternyata dapat memberikan dampak pada laporan keuangan. Kajian mengenai dampak penggunaan energi terbarukan dilakukan oleh beberapa kantor akuntan publik (KAP). Hal tersebut patutdikaji karena, laporan keuangan perusahaan yang menggunakan energi terbarukan, ketika diaudit akan menemukan kondisi-kondisi yang berbeda dengan perusahaan lainnya. Salah satu KAP PricewaterhouseCoopers (PwC) yang berada di Jepang telah melakukan kajian mengenai dampak penggunaan energi terbarukan pada laporan keuangan. Sebuah perusahaan konsultan yaitu Amper, Politziner & Mattia juga melakukan pengkajian mengenai praktek akuntansi untuk proyek energi terbarukan. Selain itu perusahaan konsultan akuntansi yaitu MossAdams juga telah melakukan kajian mengenai panduan akuntansi untuk perusahaan yang menerapkan energi terbarukan.

Isu akuntansi yang dibahas oleh konsultan akuntansi akibat dari penggunaan energi terbarukan adalah berkaitan dengan kebijakan depresiasi atau penyusutan aset, biaya yang timbul akibat proyek pembuatan energi terbarukan, leasing, dan permasalahan pajak. Lebih lanjut lagi, riset yang membahas mengenai dampak penggunaan energi terbarukan pada laporan keuangan di Indonesia belum ada. Bahkan, secara aturan akuntansi belum diatur di dalam PSAK (Pernyataan Standar Akuntansi Keuangan). Lebih jauh lagi, kebijakan fiskal yang ditetapkan di Indonesia berkaitan dengan perusahaan yang menerapkan energi terbarukan perlu untuk dikaji dalam hal dampaknya terhadap laporan keuangan.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka peneliti tergelitik untuk melakukan penelitian dengan mengkaji dampak penggunaan energi terbarukan pada laporan keuangan. Pengkajian akan dilakukan melalui sumber literatur dan riset dilanjutkan dengan menganalisis laporan keuangan perusahaan energi yang telah listing dan yang telah menerapkan energi terbarukan. Tujuan dari penelitian ini adalah Berdasarkan perumusan penelitian diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak penggunaan energi terbarukan pada laporan keuangan perusahaan di Indonesia.

2. TINJAUAN LITERATUR

Price Waterhouse Coopers, sebagai salah satu kantor jasa profesional akuntansi terbesar yang termasuk dalam *The Big Four Auditors*, merumuskan beberapa isu terkait permasalahan akuntansi untuk bisnis dan investasi di bidang energi terbarukan (www.pwc.com), antara lain:

a. Penyusutan peralatan pembangkit listrik
   Dalam bisnis energi terbarukan, investasi dalam aset tetap merupakan bagian terbesar dari biaya konstruksi, seperti: panel surya untuk energi surya dan turbin angin untuk energi angin. Aset tetap ini harus disusutkan secara berkala dan teratur berdasarkan metode akuntansi yang cukup komprehensif untuk mengalokasikan biaya secara tepat. Dalam perhitungan penyusutan, masa manfaat didasarkan pada estimasi tahun penggunaan aset yang mendasari di masa depan. Namun terjadi permasalahan, apabila masa manfaat dalam kebijakan penyusutan aset-aset tersebut berbeda dengan ketentuan pajak.
b. Depresiasi khusus dan cadangan untuk depresiasi khusus
   Untuk alasan politis, depresiasi khusus, termasuk depresiasi satu kali, diperbolehkan untuk beberapa aset yang digunakan dalam bisnis energi terbarukan sebagai bagian dari Kredit Pajak Investasi Hijau. Namun, karena depresiasi formal diperlukan untuk tujuan akuntansi, depresiasi khusus berdasarkan Kredit Pajak Investasi Hijau harus dipertanggungjawabkan dengan mencatat cadangan untuk depresiasi khusus.
c. Pengeluaran modal (*capital expenditures*) dan biaya pemeliharaan (*repair expenses*)
   Untuk tujuan akuntansi, pengeluaran modal didefinisikan sebagai pengeluaran yang meningkatkan nilai aset yang mendasarinya, sementara biaya pemeliharaan didefinisikan sebagai biaya yang diperlukan untuk mempertahankan nilai sekarang. Definisi ini jelas, tetapi secara praktis seringkali sulit untuk membedakannya, salah satunya terkait pertimbangan dalam perlakuan pajak.
d. Sewa Peralatan
   Sebagai bagian dari strategi keuangan, beberapa operator menggunakan peralatan pembangkit listrik yang disewa dari perusahaan leasing daripada memiliki sendiri. Dalam kasus ini, ada dua jenis metode akuntansi sewa yang disyaratkan oleh standar akuntansi saat ini: sewa pembiayaan (*finance leases*) dan sewa operasi (*operating*

leases). Sewa pembiayaan dicatat sebagai transaksi jual beli, sedangkan sewa operasi dicatat sebagai transaksi sewa. Sewa pembiayaan adalah kontrak sewa yang jangka waktunya tidak dapat dibatalkan, dimana penyewa menerima manfaat ekonomi substansial dari aset sewaan dan menanggung semua biaya yang timbul dari penggunaan aset sewaan. Sewa operasi didefinisikan sebagai sewa yang bukan sewa pembiayaan.

e. Perlakuan akuntansi untuk sewa tanah dan kewajiban penghapusan aset
   Tanah dapat disewa ketika memasang peralatan pembangkit listrik seperti panel surya. Dalam kasus seperti itu, kewajiban untuk menghapus peralatan yang dipasang dan mengembalikan tanah kepada pemilik dapat timbul pada akhir masa sewa. Ini harus dipertimbangkan ketika menilai masa pakai peralatan pembangkit listrik, dan jika biaya untuk penghentian peralatan terjadi, biaya tersebut harus diakui dan dicatat sebagai kewajiban penghentian pengoperasian aset.
f. Penilaian dan pengakuan penurunan nilai pada akhir periode
   Peralatan pembangkit listrik adalah aset tetap dan pada prinsipnya dinilai berdasarkan biaya perolehan (*cost*). Namun, akuntansi penurunan nilai diperlukan dalam kasus-kasus tertentu. Akuntansi penurunan nilai adalah perlakuan untuk mengurangi nilai buku suatu aset untuk mencerminkan pengembalian aset dalam kondisi tertentu, ketika jumlah yang diinvestasikan dianggap tidak sepenuhnya dapat dipulihkan karena penurunan profitabilitasnya. Harus dicatat bahwa akuntansi penurunan nilai tidak mengharuskan aset dinilai pada harga pasar, tetapi akuntansi mengharuskan penurunan nilai buku dalam kondisi tertentu.
g. Konsolidasi laporan keuangan ketika operator adalah Entitas bertujuan khusus (*Special Purpose Entities*)
   Entitas bertujuan khusus (SPE) sering digunakan dalam pembiayaan proyek untuk konstruksi dan pembelian peralatan pembangkit listrik. Pada prinsipnya, SPE tersebut harus dikonsolidasikan ketika dianggap sebagai anak perusahaan. Namun, pertimbangan yang cermat diperlukan karena dalam banyak kasus, kepentingan voting tidak selalu memiliki pengaruh besar pada kekuatan untuk mengendalikan SPE tersebut.
h. Perbedaan antara perlakuan pajak dan akuntansi saat operator menggunakan *"conduit"*
   Untuk meningkatkan efisiensi pajak, beberapa operator menggunakan struktur yang disebut *conduit* di mana mereka memiliki SPE peralatan pembangkit energi sendiri sehingga operator tidak perlu menanggung kewajiban pajak. Karena perbedaan dalam perlakuan pajak dan akuntansi dalam struktur *"conduit"*umumnya menghasilkan *"conduit"* yang menanggung kewajiban pajak, maka harus dipertimbangkan dengan hati-hati ketika menilai penurunan nilai dan item lainnya yang sering menunjukkan perbedaan yang signifikan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian kualitatif intrepretif dengan teknik studi literatur atau studi pustaka *(Library Research)* berupa pencarian fakta dengan interpretasi yang tepat. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis deskriptif, yaitu dengan jalan mengumpulkan data, menyusun atau mengklarifikasi, menyusun dan menginterpretasinya (Surakhmad, 1980:147). Kajian deskriptif ini dimulai dengan merumuskan masalah, merumuskan fokus, kajian, atau

mengajukan pertanyaan-pertanyaan kajian, dilanjutkan dengan pengumpulan data oleh peneliti sebagai instrumennya.

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, berupa literatur (kepustakaan), laporan keuangan dan laporan tahunan perusahaan yang diperoleh dari website masing-masing perusahaan. Adapun Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini berupa metode dokumentasi, yaitu dengan mendokumentasikan data–data yang bersifat kepustakaan, berupa informasi-informasi yang didapat dari buku, dan jurnal maupun laporan publikasian perusahaan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah daftar nama perusahaan yang diteliti dalam penelitian ini:

Tabel 5.2 Daftar Perusahaan

NO	NAMA PERUSAHAAN	KODE PERUSAHAAN
1	PT. Mega Power Makmur Tbk	MPOW
2	PT. Cikarang Listrindo Tbk	POWR
3	PT. Terregra Asia Energy Tbk	TGRA

Sumber: www.idx.co.id

Analisis Laporan Keuangan dan Laporan Tahunan Perusahaan

a. PT. Mega Power Makmur Tbk (MPOW)

Kegiatan usaha yang dilakukan MPOW sepanjang tahun 2018 adalah pembangkit tenaga listrik dan pengoperasian fasilitas pembangkit yang menghasilkan energi listrik, yang berasal dari berbagai sumber energi seperti tenaga air (hidroelektrik), batubara, gas (turbin gas) dan bahan bakar minyak. Di tahun 2018, MPOW juga melakukan berbagai ekspansi bidang pembangkit tenaga listrik energi baru dan terbarukan (*renewable energy*) seperti minihydro, energi surya, angin, biomass dan semacamnya demi mewujudkan listrik yang ramah bagi lingkungan.

Berikut adalah kapasitas produksi MPOW untuk pembangkit tenaga listrik di tahun 2017 dan 2018, sebagaimana terlihat dalam Tabel 3 ini:

Tabel 3 Kapasitas Produksi Proyek Pembangkit Listrik MPOW

(dalam kWh) / in kWH

Proyek Project	2018	2017
PLTD		
Toboali 1	20.680.550	26.385.400
Toboali 2	20.663.700	26.318.200
Muntok	36.165.050	26.271.500
Bengkalis	17.501.994	26.906.722
Siak	49.056.000	45.154.500
Sungai Apit	18.396.000	19.618.500
PLTM		
Bantaeng-1	13.223.522	14.183.235

Sumber: Laporan Tahunan MPOW, 2018

Dari data tersebut terlihat bahwa terjadi penurunan kapasitas produksi di Tahun 2018 pada proyek pembangkit listrik MPOW secara keseluruhan sebesar 4,95% dibandingkan tahun 2017. Adapun proyek tenaga listrik energi terbarukan MPOW yaitu PLTM Bantaeng-1 memiliki kapasitas produksi sebesar 13.223.552 KWh di Tahun 2018 atau sebesar 10,47% dari keseluruhan kapasitas produksi proyek pembangkit listrik MPOW di tahun 2018.

Sepanjang tahun 2018, tidak terdapat investasi barang modal (*Capital Investment*) yang signifikan di MPOW. Berikut adalah data aset berupa barang modal (*Capital Investment*) MPOW sebagaimana terlihat dalam Tabel ini:

Tabel 4. *Capital Investment* MPOW di Tahun 2017 dan 2018

Keterangan Description	2018	2017
Tanah Land	13,406	13,406
Bangunan Building	106,771	98,033
Mesin Machineries	244,717	242,892
Biaya Perolehan At Cost	364,894	354,331
Akumulasi Penyusutan - Bangunan Accumulated Depreciation - Buildings	12,446	7,515
Akumulasi Penyusutan - Mesin Accumulated Depreciation - Machineries	56,573	39,944
Total Akumulasi Penyusutan Total Accumulated Depreciation	69,019	47,459

Sumber: Laporan Tahunan MPOW, 2018

MPOW menerapkan PSAK No. 16, "Aset Tetap". Pada tahun 2015, MPOW melakukan perubahan kebijakan akuntansi atas peralatan, mesin dan kendaraan dari model biaya menjadi model revaluasi. Peralatan, mesin dan kendaraan disajikan sebesar nilai wajar, dikurangi akumulasi penyusutan. Penilaian terhadap peralatan, mesin dan kendaraan dilakukan oleh penilai independen eksternal yang telah memiliki sertifikasi. Metode penyusutan yang digunakan adalah metode garis lurus (*straight Line Method*) berdasarkan estimasi masa manfaat ekonomis aset, dengan rincian: Kendaraan = 4-5 Tahun, Peralatan Kantor = 4 Tahun, Mesin = 16 Tahun dan Bangunan = 20 Tahun.

MPOW tidak melakukan pengeluaran modal (c*apital expenditure*) yang signifikan di tahun 2018. Namun setiap biaya perbaikan dan pemeliharaan yang timbul, akan diakui sebagai beban dan dicatat pada laporan laba rugi dan pendapatan komprehensif lainnya. Dalam semua laporan publikasinya, MPOW tidak merinci jenis aset-aset yang dimilikinya, apakah itu termasuk ke dalam proyek PLTD ataupun proyek energi terbarukannya, yaitu PLTM Bantaeng-1. Namun pada setiap aset yang dimiliki oleh MPOW dilakukan revaluasi secara berkala oleh penilai independen eksternal bersertifikat.

b. PT. Cikarang Listrindo Tbk (POWR)

Pada tahun 2018, POWR menganggarkan keperluan belanja modal (*Capital Expenditure)* sebesar US$ 40juta-US $50juta. Dimana 50% dari anggaran tersebut digunakan untuk pemeliharaan gas dan batu bara, sedangkan 50% sisanya digunakan untuk pembangunan dan pengembangan energi terbarukan.

POWR berkomitmen untuk melakukan penelitian dan pengembangan terhadap energi terbarukan. Pengembangan pertama berkaitan dengan energi terbarukan dilakukan di tahun 2018. Pengembangan tersebut dalam bentuk pembangunan *pilot project solar rooftop* diatas kantor perseroan sebesar 52,5 kWp yang merupakan energi terbarukan melalui matahari. Selain itu, penelitian juga dilakukan dalam pilihan pembakaran dengan menggunakan biomassa.

Berdasarkan informasi diatas, dapat disimpulkan bahwa pengembangan energi terbarukan, dalam hal ini pembangunan *pilot project solar rooftop*, pada laporan keuangan dicatat sebagai belanja modal sehingga terklasifikasi sebagai aset tidak lancar. Pada tahun 2018, POWR membukukan aset tidak lancarnya senilai US$ 960. 524. 752. Aset tidak lancar POWR terdiri dari: 1) Uang muka pembelian aset tetap, 2) Tagihan Pajak, 3) Pinjaman karyawan, 4) Aset Tetap (bersih), 5). Properti Investasi (bersih), 6). Aset Pajak Tangguhan (bersih), 7). Aset Tidak Lancar Lainnya.

Dalam laporan keuangan POWR, belanja modal berkaitan dengan energi terbarukan tidak dijelaskan secara rinci mengenai klasifikasinya. Namun, jika ditelaah dari jenis aset tidak lancar yang dimiliki oleh POWR maka belanja modal energi terbarukan termasuk dalam kategori aset tetap atau properti investasi. Lebih lanjut lagi, telaah dilakukan terhadap kedua jenis aset tidak lancar tersebut.

- Aset Tetap
  Dalam laporan keuangannya, yang digolongkan sebagai aset tetap meliputi: 1) Bangunan dan prasarana, 2) Mesin dan Peralatan, 3) Kapal Tunda dan Tongkang, 4) Perabotan, perlengkapan, dan peralatan kantor, 5) Peralatan transportasi.
- Properti Investasi
  Dalam laporan keuangan POWR properti investasi merupakan ruang kantor yang dimiliki untuk penggunaan masa depan yang belum ditentukan, bukan untuk digunakan maupun penjualan dalam kegiatan operasi normal.

Berdasarkan telaah diatas maka dapat disimpulkan bahwa belanja modal untuk energi terbarukan termasuk dalam klasifikasi aset tetap. Hal tersebut tidak masuk kedalam properti investasi karena, properti investasi hanya berupa ruang kantor untuk masa depan, sehingga pembangunan *pilot project solar rooftop* termasuk dalam aset tetap. Oleh karenanya, maka pembangunan *pilot project solar rooftop* akan diakui sebesar biaya perolehannya yaitu seluruh biaya yang dihabiskan sampai aset tersebut siap digunakan. Selain itu, *pilot project solar rooftop* akan disusutkan setiap tahun menggunakan metode garis lurus dengan masa manfaat aset diprediksi berumur 10-20 tahun. Tidak ada penjelasan rinci mengenai berapa tepatnya masa manfaat dari *pilot project solar rooftop*.

c. PT. Terregra Asia Energy Tbk (TGRA)

PT. Terregra Asia Energy Tbk (TGRA) merupakan perusahaan energi yang cukup lama berkomitmen untuk pengembangan energi terbarukan. Sejak tahun 2009, penelitian dan pengembangan di bidang energi terbarukan secara rutin dilakukan. Selain itu, untuk mewujudkan komitmen energi berkelanjutan, TGRA memiliki anak perusahaan yang khusus menggunakan energi terbarukan dalam aktifitas produksinya. Dimana anak perusahaan tersebut, memiliki empat proyek pembangkit listrik tenaga surya yang

berlokasi di Australia. Selain itu, TGRA juga sedang proses membangun sembilan proyek pembangkit listrik tenaga air di Aceh, Sumatera Utara, dan Bengkulu.

Energi terbarukan bukanlah hal baru bagi TGRA, dimana fokus energi terbarukan yang dikembangkan oleh TGRA adalah pembangkit listrik tenaga surya (*solar*) dan pembangkit listrik tenaga air (*hydro*). Pada laporan tahunan TGRA, pembangkit tenaga listrik dicatat sebagai aset tetap. Untuk pembangkit listrik tenaga surya telah digunakan, namun untuk pembangkit listrik tenaga air masih dalam proses pembangunan. Hal tersebut, menyebabkan terdapat perbedaan perlakuan akuntansi untuk aset yang telah digunakan dan sedang dalam proses pembangunan. Berikut telaah yang dilakukan oleh peneliti berkaitan hal tersebut.

- Aset Dalam Pembangunan
  Aset dalam pembangunan adalah aset tetap dalam tahap konstruksi yang dinyatakan pada biaya perolehan dan tidak disusutkan. Akumulasi biaya pembangunan akan direklasifikasikan ke akun aset tetap yang bersangkutan dan akan disusutkan saat konstruksi telah selesai dan aset siap digunakan sesuai tujuannya.
- Aset Tetap Pemilikan Langsung
  Aset tetap pemilikan langsung merupakan aset tetap kecuali tanah yang diakui pada harga perolehannya dikurangi akumulasi penyusutan dan akumulasi penurunan nilai jika ada. Untuk biaya perawatan sehari-hari tidak dicatat sebagai penambahan aset, melainkan dicatat sebagai beban dalam laporan laba rugi komprehensif. Untuk aset tetap dalam bentuk tanah, dicatat pada harga perolehan tanpa disusutkan, namun nilainya dapat turun jika terjadi akumulasi penurunan nilai.

Berdasarkan penjelasan diatas maka dapat disimpulkan bahwa pembangkit listrik tenaga air (*hydro*) yang masih dalam pembangunan akan diakui dan diklasifikasi sebagai aset dalam pembangunan. Sedangkan pembangkit listrik tenaga surya (*solar*) diakui dan diklasifikasi sebagai aset tetap pemilikan langsung.

Berdasarkan kebijakan akuntansi TGRA, aset untuk energi terbarukan dalam hal ini pembangkit listrik tenaga surya diakui sebagai aset tetap pada harga perolehannya. Untuk biaya perbaikan dan pemeliharaan pembangkit listrik tenaga surya diakui sebagai beban pada laporan laba rugi komprehensif. Pembangkit listrik tenaga surya disusutkan setiap tahun dengan menggunakan metode garis lurus. Pembangkit listrik tenaga surya termasuk dalam kategori peralatan panel surya dengan masa manfaat 4-8 tahun.

Isu Akuntansi Berkaitan dengan Energi Terbarukan

Lebih lanjut lagi, akan dilakukan telaah mengenai isu akuntansi berkaitan dengan energi terbarukan. Isu akuntansi ini dirumuskan oleh Kantor Akuntan Publik *Price Waterhouse Coopers* (PWC). Ringkasan isu akuntansi berhubungan dengan energi terbarukan yang dianalisis melalui data empiris pada laporan publikasi perusahaan dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Ringkasan Isu Akuntansi terkait Energi Terbarukan pada Perusahaan yang diteliti

NO.	Isu Akuntansi	MPOW	PWOR	TGRA
1.	Penyusutan peralatan pembangkit listrik	Menggunakan metode garis lurus yang berbeda dengan kebijakan pajak	Menggunakan metode garis lurus yang berbeda dengan kebijakan pajak	Menggunakan metode garis lurus yang berbeda dengan kebijakan pajak
2.	Depresiasi khusus dan cadangan untuk depresiasi khusus	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya
3.	Pengeluaran modal (*capital expenditures*) dan biaya pemeliharaan (*repair expenses*)	Pembangunan energi terbarukan diakui sebagai *capital investment*. Adapun biaya perbaikan dan pemeliharaan yang timbul, akan diakui sebagai beban.	Pembangunan energi terbarukan diakui sebagai *capital expenditures* sedangkan biaya pemeliharaannya diakui sebagai beban.	Aset energi terbarukan diakui sebagai belanja modal sedangkan aset energi terbarukan yang masih dalam pembangunan diakui sebagai aset dalam pembangunan dan jika selesai akan diakui langsung sebagai aset tetap. Biaya pemeliharaannya diakui sebagai beban
4.	Sewa Peralatan	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya	TGRA menyewakan beberapa panel suryanya, dengan menggunakan kebijakan sewa operasi yang memiliki jangka waktu yang terbatas.
5.	Perlakuan akuntansi untuk sewa tanah dan kewajiban penghapusan aset	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

NO.	Isu Akuntansi	MPOW	PWOR	TGRA
6.	Penilaian dan pengakuan penurunan nilai pada akhir periode	Menggunakan model revaluasi dalam menilai aset energi terbarukan dan berdasarkan evaluasi manajemen, tidak ada peristiwa yang mengindikasikan penurunan nilai aset	Mengakui dan menilai pembangunan energi terbarukan pada biaya perolehannya, namun tidak ada pembahasan lebih lanjut mengenai penurunan nilai karena memang aset tersebut baru dibangun di tahun 2018.	Mengakui dan menilai pembangunan energi terbarukan pada biaya perolehannya, dan bila ada indikasi penurunan nilai maka TGRA akan melakukan penyesuaian kembali untuk nilai yang seharusnya.
7.	Konsolidasi laporan keuangan ketika operator adalah Entitas bertujuan khusus	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya
8.	Perbedaan antara perlakuan pajak dan akuntansi saat operator menggunakan *"conduit"*	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya

Sumber: Data Diolah, 2020

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Analisis dan Pembahasan

Indonesia memiliki potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang sangat besar. Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia mencapai lebih dari 400 Giga Watt (GW), namun baru sekitar 1 GW yang dimanfaatkan. Pemerintah terus berupaya melaksanakan percepatan pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) agar dapat mencapai target 23% pada bauran energi nasional tahun 2025 sebagaimana amanat Rencana Umum Energi Nasional (RUEN).

Sejalan dengan itu, pemerintah mencanangkan beberapa strategi percepatan pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT), antara lain: Pertama, mendorong peningkatan kapasitas unit-unit Pembangkit Listrik Tenaga (PLT)-EBT yang sudah ada dan proyek Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) yang sedang berjalan sesuai (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik) RUPTL. Kedua, upaya penciptaan pasar EBT. Ketiga, meningkatkan akses energi kepada masyarakat langsung melalui pendanaan APBN dan memudahkan akses kepada pendanaan yang kompetitif. Keempat, mengeluarkan kebijakan pendukung untuk memperbaiki tata kelola dalam rangka upaya percepatan proyek EBTKE (www.esdm.go.id).

Anjuran pemerintah dalam penggunaan energi terbarukan, turut didukung oleh perusahaan yang ada di Indonesia. Perusahaan di sektor energi mulai mencanangkan dan bahkan ada yang sudah mengembangkan energi terbarukan dalam aktifitas bisnisnya. Terdapat 7 perusahaan sektor energi yang telah *listing* di Indoenesia. Dimana 3 diantaranya telah mengembangkan dan menggunakan energi terbarukan. Lebih lanjut lagi, peneliti melakukan telaah terhadap dampak penggunaan energi terbarukan terhadap laporan keuangan perusahaan.

Berdasarkan hasil analisis terhadap laporan keuangan dan laporan tahunan perusahaan yang diteliti, diketahui bahwa informasi terkait perlakuan akuntansi terhadap aset energi terbarukan masih sangat minim dilaporkan oleh perusahaan. Apalagi untuk perusahaan yang masih baru menerapkan dan mengembangkan energi terbarukan, informasi yang berhubungan dengan aset energi terbarukan tidak banyak ditemukan. Sehingga penggunaan energi terbarukan tidak memberikan dampak besar pada laporan keuangan perusahaan.

Perusahaan memperlakukan aset energi terbarukannya sama dengan aset tetap lainnya, yaitu mengacu pada PSAK No. 16 "Aset Tetap". Dari tiga perusahaan yang diteliti yang dianalisis hanya 1 perusahaan yaitu TGRA yang merinci aset energi terbarukanya, sehingga nilai dan kebijakan akuntansinya lebih rinci. Sedangkan dua perusahaan lainnya tidak merinci aset-aset tetap yang dimiliki. Perusahaan cenderung menggabungkan aset energi terbarukannya dalam aset tetap secara umum. Oleh karenanya pengguna laporan keuangan kesulitan untuk menentukan berapakah nilai dari aset energi terbarukan yang dimiliki oleh perusahaan.

Perusahaan yang diteliti mengakui pembangunan energi terbarukan sebagai *capital expenditures* atau biaya modal, hal tersebut berarti bahwa perusahaan mengakui pembangunan energi terbarukan sebagai aset. Setiap biaya perbaikan dan pemeliharaan yang timbul terkait dengan aset energi terbarukan, akan diakui sebagai beban dan dicatat pada laporan laba rugi dan pendapatan komprehensif lainnya. Namun terdapat perbedaan dalam menilai aset energi terbarukan yang dimiliki. MPOW menggunakan model revaluasi, dimana setiap aset tetap yang dimiliki disajikan sebesar nilai wajar setelah dikurangi akumulasi penyusutan dan terhadap aset tetap dilakukan penilaian secara berkala oleh penilai independen eksternal yang telah memiliki sertifikasi. Adapun POWR dan TGRA menggunakan metode biaya dalam menilai aset tetapnya, dimana aset

tetap diakui pada harga perolehannya dikurangi akumulasi penyusutan dan akumulasi penurunan nilai jika ada.

Metode penyusutan yang digunakan perusahaan yang diteliti seragam, yaitu metode garis lurus (*straight-line method*), dengan umur estimasi berkisar antara 4-20 tahun tergantung jenis aset tetapnya. Metode ini berbeda dengan peraturan perpajakan di Indonesia yang menghendaki penggunaan metode saldo menurun dalam menghitung penyusutan aset tetap. Untuk mengatasi perbedaan tersebut, perusahaan diharuskan melakukan penghitungan kembali atau penyesuaian penyusutan menggunakan metode yang diwajibkan oleh pajak dalam laporan perpajakannya tiap tahun.

Terkait isu-isu akuntansi lainnya sehubungan dengan aset energi terbarukan, seperti: depresiasi khusus dan cadangan untuk depresiasi khusus, sewa peralatan, perlakuan akuntansi untuk sewa tanah dan kewajiban penghapusan aset, konsolidasi laporan keuangan ketika operator adalah Entitas Bertujuan Khusus, serta perbedaan antara perlakuan pajak dan akuntansi saat operator menggunakan *"conduit,* sangat sedikit sekali informasi yang dilaporkan oleh perusahaan dalam laporan publikasiannya.

Minimnya informasi perusahaan terkait perlakuan akuntansi untuk aset energi terbarukannya, kemungkinan disebabkan oleh belum adanya pedoman akuntansi, baik: PSAK, aturan pajak maupun aturan lainnya, yang khusus mengatur mengenai sektor usaha energi terbarukan yang dimiliki oleh perusahaan. Untuk itu perlu adanya pedoman akuntansi terkait Energi Baru Terbarukan (EBT) untuk dapat mengakomodir perkembangan sektor usaha Energi Baru Terbarukan (EBT) ke depan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan memberikan bukti empiris dan menganalisis mengenai dampak penggunaan energi terbarukan pada laporan keuangan perusahaan pada sektor energi. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan energi terbarukan tidak memberikan dampak khusus pada laporan keuangan perusahaan sektor energi. Informasi terkait perlakuan akuntansi terhadap aset energi terbarukan masih sangat minim dilaporkan oleh perusahaan. Apalagi untuk perusahaan yang masih baru menerapkan dan mengembangkan energi terbarukan, informasi yang berhubungan dengan aset energi terbarukan tidak banyak ditemukan. Hal tersebut diindikasi oleh belum adanya aturan akuntansi yang mengatur mengenai penggunaan energi terbarukan, sehingga aset energi terbarukan diperlakukan sama dengan aset tetap lainnya.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain: 1. Periode pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini hanya terdiri dari 1 tahun saja, yaitu tahun 2018; 2. Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pada metode dokumentasi saja, yaitu dengan cara menganalisis data-data informasi yang tercantum dalam laporan publikasi perusahaan.

Untuk itu, beberapa saran yang bisa peneliti berikan untuk penelitian selanjutnya, adalah: 1. Penelitian selanjutnya sebaiknya menambah jumlah periode penelitian agar hasil yang diperoleh dapat meningkatkan generalisasi atas dampak penggunaan energi terbarukan pada laporan keuangan perusahaan; 2. Penelitian selanjutnya dapat melengkapi metode pengumpulan datanya dengan menggunakan pula metode wawancara, sehingga dapat diperoleh informasi yang lebih dalam terkait perlakuan akuntansi untuk energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

Azwar, Saifuddin.(2001). *Metode Penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Farida, Lea Emilia., Andriani dan Susilowati, Hani. (2017). Analisis Pelaporan Aktivitas Pengelolaan Lingkungan Pada Perusahaan Pembangkit Listrik Tenaga Bio Energi. *Jurnal Intekna, Volume 17 (No. 1): Hal 1-78.*

Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor: 02 tahun 2004 tentang Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Pengembangan Energi Hijau).

Kholiq, Imam. (2015). Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal IPTEK, Volume 19 (No.2): Hal 75-91.*

Lyu, Xiaohuan dan Shi, Anna. (2018). Research on the Renewable Energy Industry Financing Efficiency Assessment and Mode Selection. *Sustainability Vol. 10 (No. 222): Hal 1-13.*

Mazzucato, Mariana dan Semieniuk, Gregor. (2018). Financing renewable energy: Who is financing what and why it matters. *Technological Forecasting & Social Change Vol. 127 (2018): Hal 8–22*

Miles, B.B., dan A.M. Huberman. (1992). *Analisa Data Kualitatif*. Jakarta: UI Press Jakarta.

Peraturan Menteri Keuangan Nomor 24/PMK.011/2010 tentang Pemberian Fasilitas Perpajakan dan Kepabeanan untuk Kegiatan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan.

Prastowo, Andi. (2010). *Menguasai Teknik-teknik Koleksi Data Penelitian Kualitatif*. Jogjakarta: DIVA Press.

Price Waterhouse Coopers (PWC). (2019). *Accounting Issues Concerning Businesses of and Investments in Renewable Energy.* https://www.pwc.com/jp/en/services/assurance/sustainability/renewable-energy/accounting.html. [16 Desember 2019].

Putan, Ana. 2013. Fiscal and Accounting Aspects in the Field of Renewable Energy in Romania. *International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences Vol. 3 (No.3) : Hal 89–94.*

Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Penerbit Alfabeta.

Surakhmad, Winarno. (1980). *Metodologi Pengajaran Nasional.* Bandung: Jemmars

Widyawati, Dini. (2018). Akuntansi Hijau (*Green Accounting*). http://bisnissurabaya.com/2018/05/18/akuntansi-hijau-green-accounting/. [16 Desember 2019].

MENGEMBANGKAN POTENSI ENERGI TERBARUKAN DI JARINGAN IRIGASI DENGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)

Suwignyo[1]

Sekretaris Pusat Penerapan Dan Pekajian Eergi Baru Terbarukan (P3EBT) UMM
Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil [1]
Fakultas Teknik - Univ. Muhammadiyah Malang
Kampus III, Jl. Tlogomas No. 246 Telp. (0341) 464318-319 Pes. 130 Fax. (0341) 460435
e-mail: wignyo_08@yahoo.com

ABSTRACT

Power Generation Potential Micro Hydro Mini & Micto Hydro (PLTM & PLTMH) in Indonesia reached 0.45 GWatt, has been developed for 0084 GWatt (18%). One potential PLTM & PLTMH is irrigation networks, both new irrigation networks and existing irrigation networks. Wide of †rice fields in Indonesia are 6134 million ha, consisting of 19,344 technical irrigation network mainly scattered in the island of Java, Sumatra, Sulawesi, Bali and West Nusa Tenggara Province. Year 2005 has been successfully built the capacity of 100 kW PLTMH Melong exploit irrigation networks were involved networks fall building in Curug Agung in Subang district. PLTMH produced 700,800 KWh of energy per year, medium voltage network interconnected with PLN. In April 2008 this power of Micro Hydro Power (PLTMH) with a capacity of 100 kW operating in Campus University Muhammadiyah of Malang (UMM) and this is collaboration result of UMM with the National Research and Development (Balitbang) Ministry of Energy and Mineral Resources of Indonesia. UMM PLTMH Development is to promote the use of renewable energy sources as part of efforts to overcome the energy crisis as well as efforts to decrease greenhouse gas emissions that cause global warming. One type of renewable energy sources are small -scale water or micro- hydro. Development of PLTM & PLTMH in irrigation networks can be done in the main building, building falls, and buildings structures to complement that have a high hydraulic fall. The study on an irrigation network D.I. in Kedungkandang Malang shows that the potential power in buildings comes up in irrigation on the main channel reaches about 1 MWatt.

Key words: power, micro hydro, irrigation channels

PENDAHULUAN

Saat ini hampir semua wilayah di Tanah Air masih mengalami krisis pasokan tenaga listrik termasuk di wilayah Jawa-Bali. Pada tahun 2005, beban puncak sistem interkoneksi Jawa-Bali mencapai 15.830 MW, sedangkan kapasitas terpasang pembangkit PT PLN 19.615 MW dan daya listrik yang dapat disalurkan sebesar 18.398 MW. Artinya system kelistrikan Jawa-Bali mempunyai cadangan 17 % lebih rendah daripada cadangan normal minimal sebesar 30%. Kebutuhan akan tenaga listrik terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Pada tahun 2008 permintaan pasokan tenaga listrik telah mencapai 40.000 MW sedangkan kapasitas produksi listrik oleh PT PLN hanya sekitar 29.000 MW. Dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi di Indonesia sebesar ± 6 % per tahun, maka idealnya peningkatan produksi tenaga listrik minimal 1,5 kalinya atau ± 9 % per tahun (Jawa Pos,28 Juni 2008).

Sebagaimana diketahui bersama, naiknya harga minyak dunia yang pada awal 2007 sekitar 50 US$ per barel hingga mencapai hampir 90 US$ per barel (Desember 2007) semakin menaikkan biaya produksi listrik. Biaya produksi tenaga listrik oleh PT PLN per kWH mencapai ± Rp 1.300,- dan dijual oleh PT PLN kepada pelanggan dengan harga sekitar Rp 630,-/kWH, hal ini semakin menambah besar biaya subsidi yang akan di tanggung oleh Pemerintah. Terlebih lagi cadangan sumber energi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

fosil semakin menipis, maka pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan untuk menambah kemampuan pasokan energi haruslah terus ditingkatkan.

Fast track I pada 2006, pemenuhan tenaga listrik sebesar 10.000 MW diproduksi menggunakan bahan bakar fosil berupa batubara. Namun pada Fast track II tahun 2010, pemakaian batubara sebagai penghasil tenaga listrik di skenariokan hanya menghasilkan ± 3.000 MW dan produksi tenaga listrik sebesar ± 7.000 MW sisanya akan menggunakan energi terbarukan.

Pemerintah juga memprogramkan penyediaan tenaga listrik yang murah dan efisien dengan menargetkan pemenuhan produksi tenaga listrik sebesar ± 3.000 MW (hidro) dan ± 1.000 MW (geothermal) sehingga diharapkan penggunaan BBM untuk pembangkitan tenaga listrik hanya sebesar ± 2 % pada tahun 2016. Panas bumi (geothermal) sebagai salah satu sumber energi listrik, memiliki potensial pembangkitan listrik ± 27.000 MW dan baru termanfaatkan sebesar 1000 MW, sedangkan air dengan potensial pembangkitan ± 50.000 MW telah termanfaatkan sebesar 3000 MW. Pemerintah juga menargetkan dalam 5-10 tahun ke depan akan mengembangkan dan memanfaatkan potensi–potensi energi pembangkit listrik yang ada sebesar 10.000 MW begitu juga dengan rencana penawaran kerjasama dengan pi[illegible] swasta untuk membangun pembangkit tenaga listrik skala kecil (PSK, dibawah 1 MW) dan PT. PLN akan membeli seharga 80% dari harga jual.

Terkait dengan pemanasan global, turunnya pemakaian energi fosil secara tidak langsung akan menurunkan emisi karbondioksida, salah satu gas rumah kaca penyebab pemanasan global (global warming). Pemanasan global inilah yang menyebabkan terjadinya perubahan iklim berikut dampak ikutannya seperti kegagalan panen, kelangkaan air, tenggelamnya daerah pesisir, banjir, dan kekeringan. Sebagaimana diketahui, sekitar 63% emisi karbondioksida dihasilkan oleh sektor industri energi (pembangkit listrik/kilang minyak) dan sektor transportasi.

Potensi Energi Terbarukan

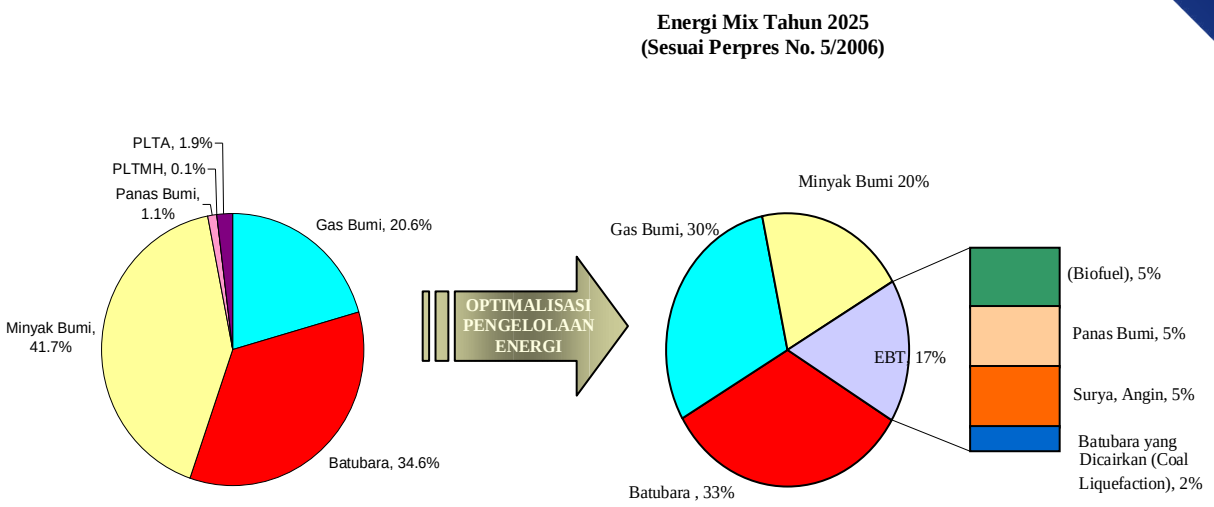
Data dari Departemen ESDM (Yusgiantoro, 2006) sebagaimana terlihat pada Tabel 1, menunjukkan bahwa pada Tahun 2005 hanya sebagian kecil dari potensi sumber energi terbarukan yang sudah termanfaatkan. Tenaga air baru terpasang 4,2 GW (5,55%) dari potensi 75,67 GW. Karena itu sangatlah bisa dimengerti jika pemerintah berusaha menaikkan target pemakaian sumber energi terbarukan

.

Tabel 1. Potensi Sumber Energi Baru Terbarukan

JENIS SUMBER ENERGI	SUMBER DAYA	SETARA	*KAPASITAS TERPASANG*
Tenaga Air	845.00 juta BOE	75.67 GW	*4.2 GW*
Panas Bumi	219.00 juta BOE	27.00 GW	*0.8 GW*
Mini/Micro Hydro	0.45 GW	0.45 GW	*0.084 GW*
Biomass	49.81 GW	49.81 GW	*0.3 GW*
Tenaga Surya	-	4.80 kWh/m2/hari	*0.008 GW*
Tenaga Angin	*9.29 GW*	*9.29 GW*	*0.0005 GW*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 1. Diagram Diversifikasi Energi

Sesuai Perpres No. 5/2006, untuk optimalisasi pengelolaan energi, pada Tahun 2025 Departemen ESDM menargetkan pemakaian sumber energi baru terbarukan sebesar 17%, jauh lebih besar daripada kondisi tahun 2005 sebesar 4,43% (Gambar 1). Pemakaian energi fosil (minyak bumi dan batubara) ditargetkan sebesar 53%, turun dari pada kondisi tahun 2005 sebesar 77%.

Potensi Saluran Irigasi di Indonesia

Indonesia memiliki sawah irigasi teknis 6,134 juta ha, terdiri dari 19.344 daerah irigasi yang tersebar di seluruh Indonesia, terutama di P. Jawa, P. Sumatera dan P.Sulawesi. Disetiap jaringan irigasi teknis terdapat beberapa bangunan terjun dan bangunan sadap yang memiliki tinggi jatuh hidrolik, sehingga mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai PLTMH. Pengembangan PLTMH dengan memanfaatkan saluran irigasi, merupakan phenomena menarik tentang diversifikasi fungsi jaringan irigasi yang selama ini hanya dititikberatkan pada pemanfaatan untuk irigasi pertanian.

Apalagi dengan laju pertumbuhan penduduk yang relatif cepat dan kebutuhan akan pemilikan lahan hunian di sebagian wilayah di Indonesia, menyebabkan air yang mengalir di saluran irigasi ini tidak lagi termanfaatkan secara maksimal karena menyusutnya lahan pertanian yang seharusnya dialiri air rigasi yang berubah fungsi menjadi kawasan pemukiman dan industri. Di sebagian wilayah yang lain saluran irigasi telah berubah fungsinya menjadi saluran drainase. Karena itu akan lebih bermanfaat apabila air yang sudah tidak termanfaatkan untuk lahan pertanian ini dijatuhkan kembali ke sungai asal sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik.

Tabel 2. Data Daerah Irigasi di Indonesia, 2006

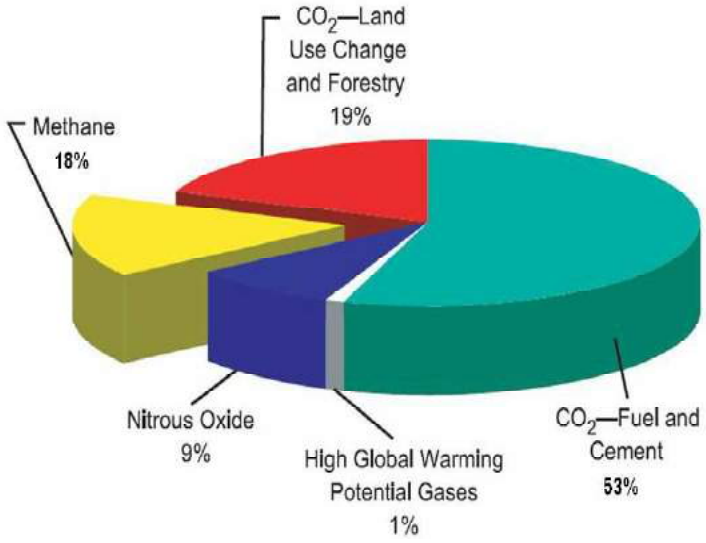
Pulau / Nasional	Jumlah Irigasi	Luas Rencana (Ha)	Luas Fungsional (Ada Jaringan Utama) - (Ha)						Luas Belum Ada Jaringan Utama - Ha		
			Sudah Sawah		Belum Sawah	Alih Fungsi		Jumlah	Sudah Sawah	Belum Sawah	Jumlah
			Optimal	Belum Optimal		Sawah	Belum Sawah				
Sumatera	3800	1,506,748	1,067,320	163,401	200,910	18,844	1,154	2,962,711	248,757	131,113	379,870
Jawa + Bali	13000	2.853.730,7	3,230,565	91,256	42,899	47,552	0	6,279,002,7	288,254	4,628	4,716,254
Nusa Tenggara	808	583,507	233,160	17,740	20,232	11,369	221	867,037	269,212	31,573	300,785
Kalimantan	853	385,216,1	228,960	35,457	15,391	1,89	0	666,066,1	57,204	44,254	101,458
Sulawesi	837	741,953	4,223,875	30,880	64,503	31,912	627	5,094,587	173,725	19,428	19,601,725
Maluku	31	41,302	23,269	4,121	1,597	881	0	71,201	11,324	110	121,434
Papua	15	22,150	2,122	850	2,068	0	0	27,205	15,810	1,300	17,110
Indonesia	**19,344**	**6,134,624,8**	**9,009,271**	**180,467**	**333,800**	**100,547**	**2,002**	**5,227,470**	**1,064,286**	**1,641,048**	**20.998.636**

Sumber :Suwignyo, 2008

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Environtmental Benefits PLTMH

emakaian sumber energi air untuk pembangkit tenaga listrik akan menggantikan/ mengurangi pemakaian sumber energi fosil seperti solar. Karena itu turunnya pemakaian energi fosil secara tidak langsung akan menurunkan emisi karbondioksida, salah satu gas rumah kaca penyebab pemanasan global (global warming) yang menyebabkan terjadinya perubahan iklim. Sebagaimana diketahui, sekitar 53% emisi karbondioksida dihasilkan oleh sektor industri energi (pembangkit listrik/ kilang minyak) dan sektor transportasi



Gambar 2 : Emisi Gas Rumah Kaca

Menurut Environtmental Protection Agency (EPA) US (http://www.epa.gov), setiap kilowatts listrik hasil pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil akan menghasilkan emisi karbondioksida sebesar 0,00076 ton per jam. Sehingga pembangkit listrik dengan kapasitas 1 MW dengan menggunakan energi terbarukan secara tidak langsung akan mereduksi sekitar lebih dari 5.500 ton gas karbondioksida per tahun. Emisi sebesar itu setara dengan emisi 1.000 kendaraan atau reboisasi hutan lebih dari 500 ha. Karena itu masyarakat perlu diberikan contoh yang nyata tentang cara-cara melakukan eksplorasi sumber alam untuk pembangkit listrik yang tidak merusak lingkungan seperti halnya pembangkit listrik tenaga air skala kecil (PLTMH). Persamaan untuk menentukan karbondioksida yang secara tidak langsung dapat dicegah dengan pemanfaatan sumber energi pembangkit listrik dengan tenaga air adalah sebagai berikut:

Produksi karbondioksida = 0.85 x P x t x 0.00076 (ton/ tahun)

Dimana:

P = produksi listrik (kW)

t = 8760

METODELOGI

Identifikasi potensi PLTMH

Untuk mengidentifikasi potensi dan kendala dalam pengembangan PLTMH, terdapat 4 (empat) parameter utama yaitu (Sewoyo dan Suwignyo, 2008), yaitu: ketersediaan air, potensi topografi, jarak area pemanfaatan, dan infrastruktur yang ada.

Ketersediaan Air

Kompilasi data debit yang memadai dan analisa ketersediaan air perlu dilakukan secara cermat karena hampir semua PLTMH dibangun dengan memanfaatkan aliran langsung (tanpa waduk). Selain itu debit aliran harus dijamin terpenuhi sepanjang tahun dengan tingkat keandalan tertentu.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Potensi Topografi / Tinggi Jatuh

Kondisi topografi menentukan tinggi jatuh efektif. Karena itu pemilihan lokasi terkait dengan kondisi topografi ini haruslah tepat sehingga akan meminimumkan biaya pekerjaan sipil. Semakin besar tinggi jatuh efektif, maka daya terbangkit semakin besar atau dimensi turbin semakin kecil. Sehingga kondisi topografi sangat menentukan terhadap biaya konstruksi per satuan daya (Rp/ kWatt).

Jarak Area Pemanfaatan

Pemanfaatan energi listrik dari PLTMH dapat dimanfaatkan secara mandiri / terpisah atau diinterkoneksikan dengan jaringan listrik PLN. Semakin dekat jarak area pemanfaatan, biaya pembangunan jaringan listrik semakin murah, diupayakan jarak area pemanfaatan tidak lebih dari 2 kM. Karena kehilangan daya cukup tinggi dan biaya jaringan listrik dapat mencapai 30 % atau lebih dari biaya total pengembangan PLTMH.

Infrastruktur yang ada

Dalam pembangunan PLTMH, penting untuk dipertimbangkan adanya sarana (terutama jalan) yang sudah ada (existing), agar pembangunan PLTMH menjadi murah dan mudah.

Analisa ketersediaan air

Analisa ketersediaan air bertujuan untuk menentukan besaran debit yang bisa dimanfaatkan atau yang tersedia sepanjang tahun dengan tingkat keandalan (debit andalan) tertentu. Tingkat keandalan yang dipilih tergantung pada jenis pemanfaatan air dan tingkat kepentingannya. Untuk penyediaan air irigasi ditentukan tingkat keandalan 80% dan penyediaan air baku ditentukan tingkat keandalan 90%. Sedangkan untuk pembangkit listrik ditentukan tingkat keandalan 95% atau bahkan 100%.

Pengukuran dan pemetaan

Pengukuran dan pemetaan rencana lokasi PLTMH bertujuan untuk menetapkan tinggi jatuh total (beda tinggi topografis) dan sebagai d perencanaan tata letak PLTMH. Hasil pengukura digambarkan dalam peta situasi detail skala 1 : 500 s/d 1 : 1000, dilengkapi dengan gambar potongan memanjang rencana jalur pipa pesat.

Perencanaan dan pembangunan PLTMH

Pengembangan PLTMH diawali dengan kegiatan analisa debit andalan dan penetapan debit desain, serta penentuan tinggi jatuh hidrolik total dari hasil pengukuran dan pemetaan. Berdasarkan besaran debit desain dan tinggi jatuh dapat ditentukan tipe turbin, estimasi daya terbangkit dan kapasitas generator. Selanjutnya diikuti proses desain fasilitas sipil dan fasilitas elektrikal dan di tindak lanjuti dengan proses pembangunan konstruksi, operasional dan pemeliharaan

Daya terbangkit

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) memanfaatkan debit aliran air dan tinggi jatuh efektif sebagai sumber pembangkitan. Produksi energi listrik tahunan dirumuskan sebagai berikut (Trihono S dan Suwignyo, 2008).

$$P = \eta . \gamma\omega . g . Q . H_{ef} \quad (1)$$

$$E = P . T . Ni \quad (2)$$

Dimana :

P = daya terbangkit, k W
ç = efisiensi total
ãw = berat volume air, kg/m^3
g = percepatan grafitasi, m/dt^2
Q = debit air, m^3/dt
Hef.= tinggi jatuh efektif, m
T = waktu operasi harian, jam
Ni = jumlah hari operasi dalam setahun

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi energi dan pengembangan pltmh Di jaringan irigasi

Studi Kelayakan dan Studi Lingkungan PLTMH UMM

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Salah satu jaringan irigasi yang mempunyai potensi untuk pengembangan PLTMH adalah jaringan irigasi Sengkaling kiri yang melintas di area kampus Universitas Muhammadiyah Malang (UMM). Di kawasan Kampus UMM mengalir Sungai Brantas dimana sekitar 800 meter dari Kampus UMM terdapat Dam Sengkaling yang ada di Sungai Brantas tersebut. Dari Dam Sengkaling ini dialirkan air ke areal persawahan di wilayah Kota Malang melalui Saluran Irigasi Sengkaling Kanan dan Saluran Irigasi Sengkaling Kiri. Dengan semakin berkurangnya jumlah baku sawah yang diairi dari 691,00 Ha pada tahun 1990 tinggal 193,00 Ha pada tahun 2000 (Baku Sawah Sengkaling Kiri awal ± 1000 Ha) dan dari 193,00 Ha pada tahun 2000 tinggal 173,00 Ha pada tahun 2001 (Baku Sawah Sengkaling Kanan awal ± 1200 Ha), maka potensi sumber air yang tersisa inilah yang dijadikan sumber energi pembangkit listrik (Suwignyo, 2006 dan Syayuti & Agus Cahyono, 2002). PLTMH UMM memanfaatkan Saluran Sengkaling Kiri dengan debit 1,00 m^3/dt yang dijatuhkan kembali ke Sungai Brantas dengan ketinggian 15 m sehingga menghasilkan listrik sebesar 100 kWatt 720.000 kWH per tahun.

Untuk pembangunan PLTMH disyaratkan untuk memenuhi kelayakan lingkungan dengan studi UKL & UPL. Pengelolaan dan pemantauan lingkungan dilaksanakan selama pelaksanaan konstruksi dan secara berkala pasca konstruksi (masa operasional dan pemeliharaan) selama umur fungsional PLTMH.

Debit Andalan PLTMH UMM

Berdasarkan pencatatan dan kompilasi data debit Sungai K. Brantas di Dam Sengkaling selama 17 tahun terakhir (1990 s/d 2006) dan kebutuhan air irigasi Daerah Irigasi (DI) Sengkaling Kiri dan Kanan, debit anadalan untuk PLTMH UMM sebagai debit perencanaan ditetapkan 0,95 m^3/dt.

Penentuan Tinggi Jatuh Efektif PLTMH UMM

Hasil pengukuran topografi di lokasi PLTMH UMM menghasilkan data sebagai berikut:

- Elevasi bangunan sadap (hulu) = +570,0
- Elevasi rumah pembangkit (hilir) = +556,26
- Elevasi dasar sungai = +550,20
- Tinggi jatuh brutto = 17,05 m

Perhitungan kehilangan tinggi tekan mayor dan minor sebesar 2,10 m.

Tinggi jatuh efektif

= 17,05 – 2,10 = 14,95 m

Daya Terbangkit PLTMH UMM

Daya terbangkit PLTMH UMM didasarkan data teknik sebagai berikut :

- Debit rencana, Q = 0.95 m^3/dt
- Tinggi jatuh efektif, Hef. = 14.95 m
- Percepatan gravitasi, g = 9.81 m/dt^2
- Berat volume air, ãw = 1 ton/m^3
- 5Efisiensi total, ç = 0.72

Hasil perhitungan daya terbangkit adalah:

P = 0.72 x 1 ton/m^3 x 9.81 m/dt^2 x 0.95 m^3/dt x 14.95 m = 100 kW

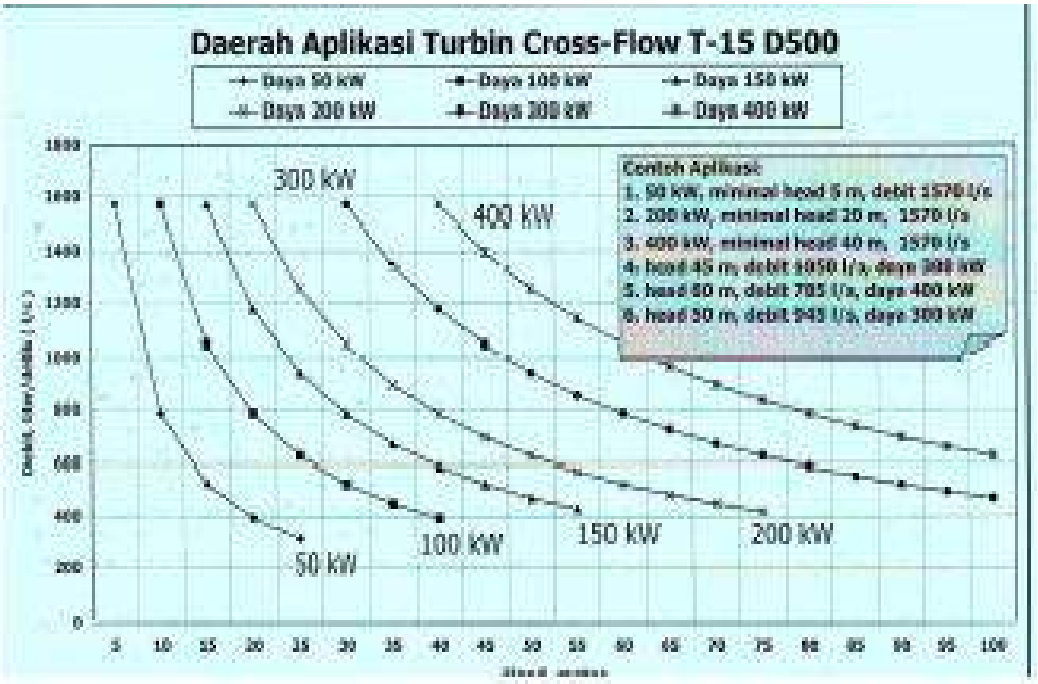
Sedangkan untuk produksi listrik tahunan, didapatkan nilai sebagai berikut :

E = 100 kWx 300 hari/thn x 24 jam = 720.000 kWH / tahun.

Turbin dan Generator PLTMH UMM

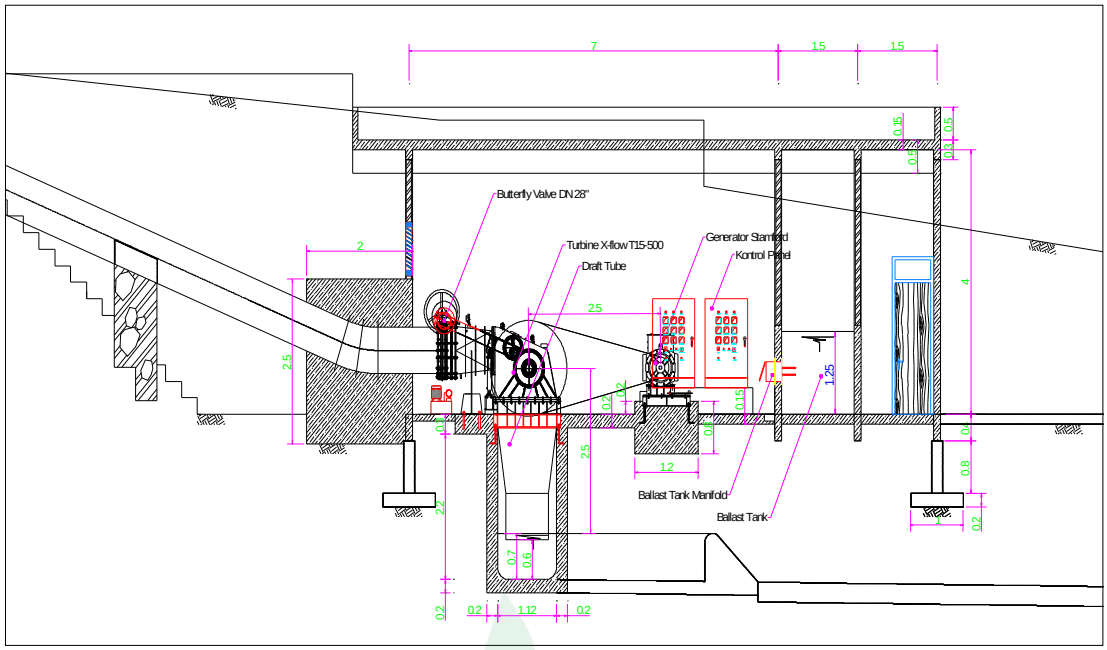
Turbin yang digunakan dalam PLTMH ini adalah turbin *cross-flow* buatan dalam negeri. Data hasil studi perencanaan digunakan untuk memilih tipe turbin dari grafik pada Gambar 3 (Raharjo, K, 2006)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 3: **Daerah aplikasi Turbin T-15 D500**

Bagian-bagian utama dari rumah pembangkit dan turbin cross-flow dapat dilihat pada Gambar 4. Sudu pengarah (*guide vane*) digerakkan menggunakan aktuator hidrolik dengan *counter weight*. Sudu pengarah ini digunakan untuk pengontrolan operasional turbin (*start, run, stand by* dan *stop*). Turbin ini menggunakan *ballast load* atau *dummy load* untuk pengontrolan beban. *Dismantling joint* didesain untuk memudahkan pemasangan pipa adapter turbin pada pipa pesat (*penstock*) sekaligus memudahkan saat overhaul.



Gambar 4. Rumah Pembangkit, Turbin T-15 D500 dan Generator.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kombinasi antara proteksi beban via *ballast load* (beban dialirkan dulu ke *ballast load* pada saat terjadi pelepasan beban) dan diikuti dengan penutupan *guide vane* turbin via aktuator hidrolik merupakan solusi untuk mengatasi water hammer yang biasa terjadi pada governor konvensional. Generator yang digunakan adalah Generator Sinkron 162 kW, 50 Hz merek Stamford dan dilengkapi dengan ELC-sinkro. ELC-SINKRO pada hakekatnya adalah governor hidrolik-elektronik berupa kombinasi pengatur beban ELC1 dengan *synchronizer* PCD-SINKRO yang berbasis teknologi digital.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Melong Subang

Tahun 2005 telah berhasil dibangun PLTMH Melong yang terletak di Desa Jambel Aer Kecamatan Kalijati Kabupaten Subang. PLTMH ini memiliki kapasitas 100 kW yang memanfaatkan bangunan terjun di jaringan irigasi Curug Agung di Kabupaten Subang. PLTMH ini menghasilkan energi 700.800 kWh per tahun, diinterkoneksikan dengan jaringan tegangan menengah PLN.

Instalasi turbin di PLTMH Melong Subang menggunakan turbin tipe cross-flow Tandem unit 2 x T-15 D500 Bo 1260 dengan tinggi jatuh 6 m, memakai generator stamford 140 kVA, 1500 RPM, 220/380 V (PT. Heksa Prakarsa Teknik, Bandung).

Potensi Energi Terbarukan di Jaringan Irigasi Kedungkandang Malang

Di Jaringan Irigasi (JI) Kedungkandang Kabupaten Malang pada saluran primer mempunyai 22 bangunan terjun dan 6 bangunan sadap yang memiliki tinggi jatuh hidrolik 2.0 – 3.5 m. Dengan potensi daya terbangkit 10 s/d 80 kWatt, total potensi daya terbangkit yang dapat dikembangkan di J.I Kedungkandang ± 1 MW. Potensi energi listrik mencapai 7.92 MWh (Suwignyo, 2007).

Environmental Benefits

Sebagai contoh environmental benefits, diambil studi kasus pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH-UMM & Melong). Telah diketahui kapasitas produksi listrik PLTMH UMM & Melong sebesar 100 kW, berdasarkan persamaan yang dikemukakan oleh EPA US, produksi karbon yang dapat dicegah dengan adanya PLTMH UMM ini adalah sebesar 570 ton/ tahun. Produksi listrik sebesar 100 kW dari PLTMH ini akan meniadakan penggunaan 200.000 liter bahan bakar fosil. Sedangkan emisi sebesar 570 karbondioksida per tahun setara dengan peniadaan 100 mobil atau penghijauan kembali lebih dari 50 Ha hutan.

KESIMPULAN

Jaringan irigasi mempunyai potensi energi terbarukan yang dapat dikembangkan dengan pembangunan pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH). PLTMH UMM yeng memanfaatkan dengan daya 100 kWatt, menghasilkan energi 720.000 kWH per tahun atau setara dengan penggunaan 200.000 liter bahan bakar fosil. PLTMH UMM juga akan menghindari terjadinya penambahan emisi karbondioksida sebesar 570 ton per tahun, sehingga akan mengurangi konsentrasi gas rumah kaca di atmosfir penyebab pemanasan global.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen ESDM Republik Indonesia (2003), "*Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Energi Hijau)*"

Mahmudsyah, S, (2007), "Pemetaan dan Identifikasi Energi Alternatif/ Energi Terbarukan Potensial di Wilayah Jawa Timur", Surabaya.

Raharjo, K, (2006), "Draft Design Teknik dan Drawings – PLTMH Sengkaling UMM", Universitas Muhammadiyah Malang - PT. Heksa Prakarsa Teknik, Bandung.

Sayuti dan Agus Cahyono, (2002), "Studi Kelayakan Pembangunan PLTMH di Saluran Irigasi", Tugas Akhir S1, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Sewoyo, T dan Suwignyo, (2008), "Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH-UMM)", Prosiding Seminar Nasional Potensi Kekayaan Alam Indonesia Sebagai Sumber Energi Alternatif, Politeknik Negeri Malang, Malang.

Suwignyo, (2002), "Pra Desain Pengembangan PLTMH", Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.

Suwignyo, (2006), "Review Studi Kelayakan PLTMH UMM", Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.

Suwignyo, (2007), "Studi Potensi Mikro Hidro Di J.I. Kedungkandang", Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.

US Environtmental Protection Agency, *"Benefits of LFG Energy"*, http://www.epa.gov/lmop/index.htm

Yusgiantoro P.(2006), "*Peran Energi Terbarukan dalam Ketahanan Energi Nasional"*, Orasi Ilmiah Wisuda UMM 17 Juni 2006

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

MENGUKUR DAN MERANCANG MODEL KETAHANAN ENERGI MELALUI PERUBAHAN PERILAKU KONSUMEN ENERGI TERBARUKAN

MEASURING AND MODELING ENERGY RESILIENCE THROUGH CHANGES IN BEHAVIOR OF RENEWABLE ENERGY CONSUMERS

Nufian S Febriani[1], Fitria Avicenna[2]

Program Studi Ilmu Komunikasi, Universitas Brawijaya, Malang[1, 2]

Nufian.febriani@ub.ac.id

ABSTRACT

The benefits of renewable energy in Indonesia are not well understood by consumers. This research suggests the use of renewable energy, which is very beneficial for consumers. This research also has implications for policy makers, electricity suppliers, and future researchers. Using two online and offline survey methods, this study can formulate a behavior change model that can help policy makers identify marketing and branding strategies so that they are expected to succeed in changing consumer behavior and increasing the degree of consumer involvement in renewable energy products, for example in forming an energy independent community. Therefore, in addition to strengthening the use of renewable energy, other sections such as marketing and further research on consumer behavior must continue to be carried out in order to obtain a whole independent energy system.

Keywords: *renewable energy, surveys, consumer behavior, independent energy, behavior models*

ABSTRAK

Manfaat energi terbarukan di Indonesia tidak dapat dipahami dengan baik oleh konsumen. Penelitian ini membuktikan penggunaan energi terbarukan sangat menguntungkan konsumen serta berimplikasi pada pembuat kebijakan, pemasok listrik, dan peneliti selanjutnya. Penelitian ini menggunakan dua metode survei, yaitu daring dan luring. Penelitian ini dapat merumuskan sebuah model perubahan perilaku yang dapat membantu pengambil kebijakan dalam melakukan identifikasi strategi pemasaran dan *branding* sehingga diharapkan akan berhasil mengubah perilaku konsumen dan meningkatkan derajat keterlibatan konsumen pada produk energi terbarukan, misalnya dalam membentuk komunitas energi mandiri. Oleh karena itu, selain memantapkan penggunaan energi terbarukan, bagian lain seperti pemasaran dan penelitian lebih lanjut tentang perilaku konsumen harus terus dilakukan untuk mendapatkan sebuah sistem energi mandiri secara keseluruhan.

Kata Kunci: energi terbarukan, survei, perilaku konsumen, energi mandiri, model perilaku

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PENDAHULUAN

Selama ini, pola konsumsi energi di Indonesia memberikan kenyamanan dengan penggunaan satu produk yang hanya dapat dibeli melalui badan usaha milik negara. Salah satu contoh perusahaan penyedia energi milik negara, yaitu PLN (Perusahaan Listrik Negara). PLN menyediakan listrik untuk konsumen rumah tangga dan industri. Sebagai satu-satunya penyedia energi listrik, perusahaan lain kesulitan menyasar konsumen untuk mengubah kebiasaan konsumsi energi fosil ke bentuk energi lain yang memiliki fungsi sama. Tidak hanya penyedia listrik, gas juga dikuasi oleh badan usaha milik negara, PERTAMINA. Seiring bertambahnya waktu, penggunaan energi berbahan dasar fosil semakin berkurang sepanjang tahun. Pengurangan ini akan terus berlangsung selama manusia masih menggunakan fosil sebagai bahan energi utama untuk kehidupan sehari-hari.

Sebagai bentuk upaya untuk memperlambat menipisnya energi berbahan dasar fosil, di beberapa negara mulai dikembangkan penggunaan energi lain pengganti fosil yang disebut dengan energi terbarukan. Terdapat berbagai jenis energi terbarukan yang dapat dikembangkan sebuah negara atau bahkan sebuah daerah. Melalui energi terbarukan masing-masing wilayah sangat mungkin untuk mewujudkan kemandirian energi (Kholiq, 2015). Energi terbarukan merupakan sebuah energi yang diperoleh dari pemrosesan bahan baku seperti limbah sampah ataupun kotoran hewan/manusia. Sifat terbarukan energi ini muncul dari adanya karakteristik energi yang dapat berperan dalam memecahkan persoalan jumlah limbah yang kian bertambah, serta pemrosesan daur ulang yang lebih menguntungkan dan berguna untuk masyarakat.

Minimnya keinginan masyarakat dalam penggunaan energi terbarukan mungkin disebabkan oleh masyarakat yang masih mencari alternatif lain, ataupun masyarakat sudah sangat begantung pada ketersediaan listrik PLN (Juwito, 2012). Permasalahan dalam penelitian ini terdapat pada dampak positif yang diberikan dari penggunaan energi terbarukan yang tidak dapat menumbuhkan minat untuk menggunakan energi terbarukan di masyarakat Indonesia. Untuk mewujudkan wilayah dengan status mandiri energi, diperlukan pengolahan energi alternatif yang dimiliki oleh sebuah wilayah. Proses pengolahan energi bukanlah hal yang mudah, diperlukan waktu cukup lama untuk mendapatkan energi yang solid dan aman untuk dikonsumsi masyarakat secara luas.

Gagasan tentang penggunaan energi alternatif telah banyak dilakukan oleh beberapa negara di dunia, seperti yang dilakukan oleh (Keirstead, 2012) di Inggris. Keorstead menyajikan kerangka pemodelan sumber daya terintegrasi yang mengidentifikasi sistem pasokan energi berbiaya rendah yang dioptimalkan, termasuk pilihan teknologi konversi, sumber bahan bakar, dan jaringan distribusi. Sementara di Pakistan, analisis SWOT digunakan untuk menentukan faktor dan subfaktor yang penting untuk perencanaan energi berkelanjutan. Hasil penelitian mengungkapkan, penyediaan listrik berbiaya rendah dan berkelanjutan untuk sektor perumahan, komersial, dan industri merupakan strategi energi yang sangat diprioritaskan (Solangi, 2019).

Indonesia telah melakukan penelitian dengan tema energi terbarukan. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan penggantian energi yang berasal dari minyak bumi dan batu bara dapat digantikan dengan energi alternatif seperti angin dan gelombang laut yang tersedia di pantai selatan Jawa Barat (Purba, 2014). Potensi lain yang dimiliki Indonesia untuk mendapatkan energi terbarukan dari sampah organik berupa daun dan ranting kering bisa dikonversi menjadi bahan bakar berupa *bio-oil* melalui proses *fast pirolisis* (Cahyono, 2013).

Indonesia termasuk salah satu negara yang menginginkan mandiri-energi untuk seluruh wilayahnya. Berbagai kebijakan telah diterbitkan pemerintah untuk mendukung berbagai kemungkinan pengembangan potensi energi terbarukan. Salah satunya adalah menyusun strategi pengembangan energi terbarukan di Indonesia terutama untuk mencapai target bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025, dan 31% pada tahun 2050 dari bauran energi final, sesuai dengan kebijakan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

energi nasional (Peraturan Pemerintah No.79 tahun 2014) utamanya dari sektor pembangkit listrik (Adjikri, 2017).

Dengan munculnya peraturan pemerintah yang mendukung penggunaan energi terbarukan, maka diperlukan dukungan dan peran dari berbagai pihak untuk mewujudkan dan menunjang ketahanan energi. Peneliti meyakini bahwa peralihan penggunaan energi berbahan dasar fosil menjadi energi terbarukan (air, angin, sampah, kotoran hewan/manusia), akan membawa perubahan yang lebih baik khususnya perubahan perilaku konsumsi yang menyadari pentingnya menyelamatkan lingkungan dari kerusakan dan menipisnya simpanan energi fosil.

Strategi Waste-to-Energy (WtE) menjadi strategi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah gunung sampah. Pemanfaatan sampah dapat mengurangi jumlah sampah yang ditimbun (mengatasi masalah sumber daya lahan), sekaligus meningkatkan produksi energi terbarukan. Evaluasi strategi WtE ini memberikan wawasan yang berharga bagi pengambil kebijakan dalam praktik pengelolaan sampah perkotaan dengan biaya rendah, mendapatkan manfaat berupa energi, dan perlindungan terhadap lingkungan (Tan, 2014). Manfaat lain juga dapat diperoleh dari segi ekonomi, dengan mengevaluasi potensi manfaat ekonomi dan lingkungan yang tersedia dengan menyediakan energi terbarukan untuk pengisian kendaraan listrik di peralatan layanan kendaraan listrik publik. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan simulasi penggunaan energi terbarukan menunjukkan manfaat lingkungan yang signifikan dari pengurangan emisi, serta masyarakat bersedia membayar untuk energi tersebut jika disediakan (Nienhuesser, 2016). Masih banyak penelitian terdahulu baik di Indonesia maupun di luar negeri yang menunjukan penelitian tentang energi terbarukan terus dilakukan dengan kajian ilmu yang berbeda-beda untuk membantu pengambil kebijakan merumuskan kebijakan terkait energi terbarukan.

Penelitian ini menggunakan dua teori untuk mengkaji perubahan perilaku konsumen energi terbarukan yang muncul di masyarakat. Pertama adalah Theory of Planned Behavior (TPB) dan kedua adalah teori difusi-inovasi. Theory of Planned Behavior (TPB) merupakan perluasan dari Theory of Reasoned Action (TRA) yang dikemukakan oleh Ajzen (Ajzen & Fishbein, 2011). Teori ini merupakan penyempurnaan dari Theory of Reasoned Action (TRA) yang memiliki dua prediktor yang memengaruhi intensi untuk melakukan suatu perilaku, yakni *attitude towards behavior* dan *subjective norm,* dengan menambahkan *perceived behavioral* control sebagai faktor tambahan yang dapat memengaruhi dan memprediksi niat dan perilaku.

Dalam TPB, secara umum, jika individu memiliki intensi untuk melakukan suatu perilaku maka individu cenderung akan melakukan perilaku tersebut. Sebaliknya, jika individu tidak memiliki intensi untuk melakukan suatu perilaku maka individu cenderung tidak akan melakukan perilaku tersebut (Chen, 2014). Menurut Ajzen & Fishbein (dalam Meitiana, 2017) secara khusus, melalui TPB dijelaskan niat yang timbul didasari oleh tiga variabel, yaitu sikap terhadap perilaku (*attitude towards behavior*), norma subjektif (*subjective norm*), dan kontrol berperilaku yang dirasakan (*perceived behavioral control*).

TPB merupakan salah satu teori perubahan perilaku yang fleksibel dan banyak digunakan di berbagai bidang termasuk komunikasi, psikologi sosial, dan kesehatan masyarakat (Gao, 2017). Pada aplikasinya dalam penelitian-penelitian yang telah dilakukan, untuk memprediksi intensi dan perilaku teori ini juga diaplikasikan pada kajian perilaku konsumen. Pada kajian perilaku konsumen sendiri terdapat subkajian atau konsep yang disebut dengan minat beli (Yadav, 2016).

Penggunaan teori difusi inovasi dipilih sebagai salah satu dari teori komunikasi dari beberapa teori yang ada. Tokoh terkenal yang melakukan penelitian pada teori ini adalah Everett Rogers. Rogers dalam bukunya Diffussion of Innovations (1995) menyebutkan bahwa difusi inovasi sebagai proses sosial yang mengkomunikasikan informasi tentang ide baru yang dipandang secara subjektif (Lee, 2011). Rosenberg membahas tentang kendala-kendala kemampuan innovator untuk meramalkan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dampak inovasi mengenai adopsi teknologi (Severin & Tankard, 2011). Kendala yang disebutkan meliputi bentuk primitif, penggunaan khusus potensinya, hubungan di antara teknologi yang kompetitif dan saling melengkapi, dan nilai ekonomis inovasi. Sementara Rosen dan Weil menyebutkan bahwa karakteristik demografis dan psikologis yang mungkin menjelaskan pengelakan teknologi (Severin & Tankard, 2011). Difusi Inovasi dan TPB adalah penentu signifikan dari adopsi inovasi (Weigel, 2014). Penggunaan dua teori tersebut, peneliti melakukan identifikasi pola konsumsi konsumen energi fosil dan energi terbarukan serta menetapkan demografi konsumen energi terbarukan sosiografi dan psikografi konsumennya dan mendapatkan faktor-faktor pemicu perubahan perilaku konsumen energi terbarukan. Selanjutnya, peneliti merancang model kampanye sesuai dengan hasil identifikasi pola konsumsi konsumen energi terbarukan.

METODE

Penelitian mengenai perilaku konsumen energi terbarukan dalam upaya peralihan penggunaan energi berbahan bakar fosil menjadi energi terbarukan (air, udara, sampah, kotoran hewan/manusia) menggunakan pendekatan kuantitatif. Penelitian tersebut bertujuan memberikan simpulan pada populasi penelitian serta mendapatkan data sesuai dengan kondisi saat ini. Peneliti menetapkan populasi yang tersedia (*accessible population*) di TPA Supit Urang sebagai populasi dalam penelitian ini, karena secara kuantitatif populasi dapat dinyatakan secara tegas, yakni 690 jiwa (www.malangkota.go.id, 2020). Populasi ini bersifat homogen karena memiliki unsur yang sama, yaitu sebagai pekerja buruh, sehingga tidak perlu dipersoalkan jumlahnya secara kuantitatif.

Melalui penelitian ini, peneliti melakukan generalisasi pada hasil penelitian sehingga peneliti memilih sampel dengan pertimbangan masalah ketelitian agar simpulan dapat dipertanggungjawabkan. Masalah ketelitian dalam sampel ini dilakukan dengan mengumpulkan data populasi, mencatat, dan melakukan analisis pada data yang diperoleh. Berdasarkan populasi yang sudah ditetapkan, peneliti menetapkan sampel dalam penelitian ini adalah warga TPA Supit Urang yang pernah menggunakan sumber energi terbarukan sebagai perwakilan dari populasi. Untuk mendapatkan sampel tersebut, peneliti menerapkan teknik pengambilan sampel pada kelompok *probability sampling* menggunakan teknik *simple random sampling.* Melalui teknik ini, peneliti dapat memberikan kesempatan yang sama pada populasi untuk dijadikan sampel dalam penelitian ini yang dilakukan secara acak tanpa memperhatikan strata dalam populasi karena populasi dalam penelitian ini bersifat homogen.

Besaran ukuran sampel menggunakan tingkat kesalahan 5% agar semakin kecil peluang kesalahan generalisasi. Penentuan jumlah sampel menggunakan Rumus Slovin, kemudian diperoleh sebanyak 251 responden. Berdasarkan jumlah sampel tersebut, peneliti membagi menjadi dua metode dalam penyebaran kuesioner. Kuesioner pertama disebarkan secara online kepada 100 responden yang bersedia mengisi *online*. Responden merupakan anggota komunitas masyarakat yang menggunakan energi terbarukan. Selain itu, kuesioner juga disebarkan secara *offline* kepada 151 rumah tangga di TPA Supit Urang, Malang yang bersedia mengisi secara *offline*.

Analisis data yang digunakan adalah tahap analisis data Cresswell (2014), diawali dengan mengolah hingga menginterpretasi data. Sebelum kuesioner diberikan kepada responden, peneliti melakukan uji instrumen terlebih dahulu kepada 30 orang di luar responden penelitian untuk kemudian dihitung validitas dan reliabilitas instrumen. Pengujian validitas dan reliabilitas dilakukan sebanyak tiga kali uji sebelum didapatkan instrumen yang valid dan reliabel.

Pada uji validitas pertama, terdapat satu item dalam kuesioner yang tidak valid, namun reliabel. Peneliti memperbaiki item pernyataan dalam kuesioner dan melakukan uji instrumen kedua. Pada uji kedua, diperoleh hasil yang valid, namun tidak *reliable* sehingga peneliti menghapus item pernyataan dan menggantinya dengan menuliskan dua item pernyataan baru

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pada kuesioner. Pada uji instrumen ketiga, baru didapatkan instrumen yang valid dan reliabel. Setelah dinyatakan valid dan reliabel, instrumen berupa kuesioner diberikan kepada responden penelitian sebanyak 100 responden secara *online* dan 151 responden dilakukan secara langsung di lapangan.

Pertanyaan yang diajukan dalam kuesioner terbagi menjadi tiga bagian dengan dua jenis pertanyaan, yaitu pertanyaan terbuka dan pertanyaan tertutup yang kemudian dalam penelitian ini disebut sebagai pernyataan. Bagian pertama berisi pendahuluan yang menyebutkan tujuan penelitian serta kesediaan responden untuk mengisi kuesioner baik secara *online* maupun *offline*. Kemudian dilanjutkan dengan pertanyaan seputar demografi responden sebagai bentuk validasi atas populasi yang sudah ditentukan sebelumnya serta sebagai data analisis karakter konsumen energi terbarukan sebagai responden dalam penelitian. Pernyataan bagian kedua diawali dengan definisi konseptual tentang teori adopsi-inovasi yang dikembangkan oleh Everet M Rogers di tahun 1983. Rogers menyebutkan inovasi adalah sebuah ide, praktik atau objek yang dipersepsikan sebagai sesuatu yang baru oleh individu.

Difusi merupakan proses mengkomunikasikan sebuah inovasi melalui saluran komunikasi tertentu dalam waktu tertentu kepada anggota sistem sosial, dan adopsi akan terjadi ketika individu menggunakan secara penuh sebuah inovasi ke dalam praktik sebagai pilihan terbaik (Rogers, 1983). Kemudian definisi ini dioperasionalisasikan dalam variabel dan indikator tentang adopsi-inovasi energi terbarukan dalam bentuk item pernyataan dengan 5 (lima) skala penilaian menggunakan Likert. Penggunaan skala ini berlaku untuk pernyataan dalam kuesioner bagian ketiga. Pernyataan bagian ketiga merupakan operasionalisasi definisi konseptual TPB (The Theory of Planned Behavior). Dimensi TPB mengukur pengaruh variabel bebas *attitude toward behavior*, *subjective norm* dan *perceived behavioral* control. Penggunaan tiga varibel bebas ini, peneliti akan melihat pengaruh yang ditimbulkan pada variabel terikat berupa kemudahan dan kemanfaatan. Penelitian ini juga menggunakan SPSS versi 27 untuk menghitung korelasi, uji asumsi klasik, koefisien determinasi, Anova dan Manova dalam variabel penelitian ini.

Untuk mengetahui perilaku konsumen terkait energi terbarukan, peneliti melakukan teknik pengumpulan data dengan menggunakan kuisioner *online* dan *offline* yang berisi 27 butir pertanyaan dengan rincian yakni: bagian pertama berisi informasi diri responden dengan rincian delapan pertanyaan. Bagian kedua berisi penilaian konsumen atas energi yang digunakan dengan rincian lima pernyataan. Bagian ketiga berisi perilaku konsumsi energi dengan rincian tiga belas pernyataan. Pertanyaan yang diajukan dalam kuesioner ini masing-masing dibahas lebih detail dalam bagian pembahasan penelitian ini. Kuesioner dibuat menggunakan piranti Google Form, lalu dibagikan secara *online.*

HASIL DAN PEMBAHASAN

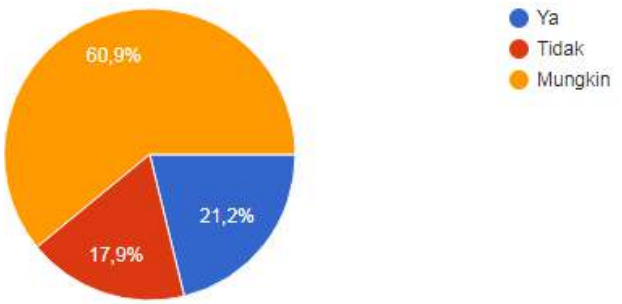
Hasil penelitian di bagian awal memaparkan karakteristik responden dalam penelitian, yaitu konsumen energi terbarukan di Indonesia. Responden yang menggunakan energi terbarukan dalam kehidupan sehari-hari memiliki karakteristik umum sebagai berikut:

1. Konsumen paling banyak berusia 25-30 tahun dan paling sedikit berusia 46-50 tahun;
2. Berpenghasilan antara 1-5juta rupiah;
3. Bekerja sebagai karyawan swasta; dan
4. Status pernikahan didominasi tidak kawin.

Berdasarkan karakteristik umum tersebut, peneliti menggali lebih jauh kebiasaan konsumsi energi yang biasa dilakukan oleh responden selama di dalam rumah. Berdasarkan hasil distribusi jawaban responden atas pertanyaan terbuka yang diajukan oleh peneliti, diperoleh hasil bahwa responden menggunakan energi listrik dari PLN. Responden tidak mengetahui adanya sumber energi lain yang dapat digunakan. Selain itu, responden tidak mendapatkan informasi jika ada perusahaan lain penyedia energi listrik selain PLN. Begitupun dengan pengguna yang membeli rumah baru, pengembang menggunakan listrik PLN untuk energi di daerah pemukiman.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Ketika responden ditanya tentang kesediaan membayar jika ada energi terbarukan sebagai pengganti energi fosil, sebesar 60,9% responden memberikan jawaban mungkin akan membayar dan 21,2% bersedia membayar seperti yang ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 1 Jawaban Responden Kesediaan Membayar Energi Terbarukan.
(Sumber: Peneliti, 2020)

Penelitian terdahulu menemukan hasil serupa dengan yang terjadi di TPA Supit Urang. Hasil empiris menunjukkan bahwa orang paruh baya mungkin lebih bersedia membayar (Kostakis, 2012). Dengan menggunakan pendekatan meta-analitik *random-effect,* diperoleh ringkasan perkiraan WTP (*Willing To Pay*) sebesar USD 7.16. Rata-rata rumah tangga bersedia membayar kenaikan jumlah ini per bulan melebihi harga energi yang dibayarkan saat ini, untuk beralih ke penggunaan energi terbarukan. Mereka kemudian menentukan model meta-regresi *random-effect* untuk menjelaskan variasi dalam WTP rumah tangga. Berdasarkan model tersebut, ditemukan penduduk metropolitan dan rumah tangga di Amerika Utara memiliki WTP lebih tinggi daripada penduduk pedesaan dan Asia. Selain itu, ditemukan juga bukti efek empiris mendasar yang menyebutkan bahwa semakin banyak rumah tangga yang bersedia membayar untuk penggunaan energi terbarukan dan jenis energi terbarukan yang digunakan tampaknya tidak berdampak pada WTP (Soon, 2015).

Untuk pilihan energi terbarukan yang diinginkan atau dianggap sebagai sumber energi terbarukan yang dirasa cukup aman adalah energi baru pengganti listrik berbahan bakar nonfosil seperti PLTA, PLTU, gas metana, seperti yang ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 2 Jawaban Responden Jenis Energi Terbarukan
(Sumber: Peneliti, 2020)

Berdasarkan pada hasil jawaban responden, dapat disimpulkan responden sebagai konsumen mengetahui keberadaan energi lain yang dapat dipakai untuk menggantikan energi listrik dari fosil. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa masyarakat pedesaan pada umumnya mendukung pengembangan energi terbarukan mengingat dampak positifnya terhadap lingkungan. Tingkat pengetahuan individu dan keyakinan tentang biaya penggunaan energi terbarukan mempengaruhi keputusan seseorang untuk memilih jenis energi yang akan digunakan (Liu, 2013).

Data yang diperoleh dari hasil survei kemudian diolah menggunakan SPSS versi 27 untuk dilihat signifikansi antarvariabel. Berdasarkan hitungan Anova diperoleh hasil sebagai berikut:

TABEL 1 ANOVA

ANOVA[a]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	8,558	1	8,558	4,060	,046[b]
	Residual	314,051	149	2,108		
	Total	322,609	150			

a. Dependent Variable: TotB3

b. Predictors: (Constant), TotB2

Sumber: Data SPSS, Peneliti (2020)

PERPUSTAKAAN NASIONAL

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa nilai signifikansi. yakni 0,046. Dengan demikian dapat ditulis 0,046 < 0,05. Oleh karena itu dapat disimpulkan pertanyaan pada bagian dua berpengaruh terhadap pertanyaan kuesioner yang ada pada bagian tiga. Bagian dua adalah pertanyaan tentang penilaian konsumen atas energi yang digunakan dan bagian ketiga berisi perilaku konsumsi energi. Penelitian lain menyebutkan bahwa mereka melakukan penelitian tentang bagaimana dorongan dapat membuat sedikit perubahan dalam kumpulan informasi yang dihadapi seseorang saat mengambil keputusan dapat membantu individu menyelaraskan perilaku dengan niat. Mereka menyajikan bukti dari eksperimen survei yang dorongannya mempengaruhi pilihan apakah akan menggunakan energi terbarukan atau energi konvensional. Mereka juga menemukan bahwa dorongan tertentu yang dapat memiliki efek signifikan, sementara semua dorongan lainnya terbukti tidak efektif membuat mereka menggunakan energi terbarukan (Momsen, 2014).

Berdasarkan hasil temuan yang sudah ditampilkan sebelumnya, setidaknya diperoleh dua *database* yang berbeda terkait perubahan perilaku konsumen energi terbarukan. Dua *database* tersebut antara lain informasi situasional dan informasi transaksional konsumen. Berdasarkan proses dan sistemnya, terdapat satu variabel kualitatif yang umum untuk setiap *database* diidentifikasi dan kemudian diubah menjadi satu atau lebih variabel kuantitatif. Informasi transaksi konsumen di setiap *database* kemudian diubah menjadi informasi yang diubah dalam hal variabel kuantitatif. Setelah itu, *database* terintegrasi dibentuk untuk memprediksi perilaku konsumen dengan menggabungkan informasi yang dikonversi dari *database* yang berbeda.

Sumber energi terbarukan atau *Renewable Energy* (RE) memiliki kapasitas yang sangat kecil dari keseluruhan konsumsi energi di Indonesia saat ini. Indonesia terus bergantung pada bahan bakar fosil yang cepat menipis dan impor minyak yang mahal untuk memenuhi kebutuhan energi sebagai salah satu tuntutan ekonomi. Namun kondisi ini tidak dapat terus dilanjutkan, Indonesia harus segera mendapatkan sumber energi baru agar dapat melayani kebutuhan energi penduduknya. Walaupun Indonesia telah memiliki sumber RE yang dikembangkan oleh komunitas-komunitas yang ada di dalam masyarakat, penyebarannya tidak merata di seluruh Indonesia sehingga diperlukan faktor lain untuk mendorong tumbuhnya RE di masyarakat. Salah satu hal yang dapat mulai dilakukan untuk mewujudkan hal tersebut adalah menciptakan daya tarik penggunaan RE dengan merujuk pada literatur perilaku konsumen tentang penggunaan kajian difusi inovasi. Permintaan sumber RE dari komunitas masyarakat harus dapat dicapai dengan cepat agar sektor ini dapat menjadi bisnis yang mandiri.

Dalam penelitian ini diperoleh hasil bahwa sumber energi dapat menciptakan dorongan pada konsumen untuk menggunakan RE. Akan tetapi, faktor pendorong saja tidak cukup untuk meningkatkan secara cepat adopsi RE. Terdapat beberapa model yang berbeda yang dapat dipakai untuk menciptakan faktor "penarik" tersebut yang dimulai dari komunitas konsumen. Kecepatan adopsi cukup bervariasi di setiap kategori produknya dan tidak dapat diperkirakan besaran nilainya jika diukur langsung ke sumber RE. Namun, konsep tersebut tetap dapat digunakan sebagai panduan untuk strategi debat yang dapat diadopsi oleh pembuat kebijakan dan praktisi untuk mempercepat adopsi sumber RE sebagai alternatif sumber energi berkelanjutan.

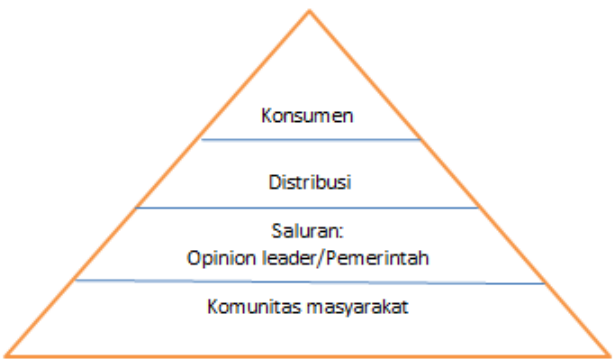
Kerangka untuk mengeksplorasi penerimaan konsumen untuk produk/teknologi baru diambil dari bidang penelitian yang dikenal sebagai difusi inovasi. Proses difusi dan adopsi sangat erat kaitannya dengan penerimaan produk baru oleh konsumen. Difusi adalah proses inovasi dikomunikasikan melalui saluran tertentu dari waktu ke waktu di antara anggota sistem sosial. Inovasi adalah ide, praktik, atau objek yang dianggap baru oleh individu atau unit adopsi lainnya. Proses difusi biasanya melibatkan media massa dan saluran komunikasi antarpribadi.

Saat ini dunia menggunakan teknologi informasi seperti internet dan telepon seluler

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dengan menggabungkan aspek media massa dan saluran interpersonal, mewakili alat difusi yang tangguh. Difusi terkait dengan konsep lain yang dikenal sebagai "adopsi" merupakan rangkaian langkah yang dilalui konsumen sejak awal memiliki pengetahuan tentang inovasi (kesadaran), untuk membentuk sikap ke arahnya (minat, evaluasi, dan uji coba), dan untuk mencapai adopsi keputusan.

Tingkat adopsi adalah kecepatan relatif yang anggota sistem sosialnya mengadopsi inovasi dan mencerminkan fakta bahwa beberapa orang mengadopsi inovasi lebih cepat daripada orang lain. Sementara itu, faktor pasar dalam RE tidak bereaksi terhadap inovasi dengan cara yang sama dan semua anggota populasi tidak mengadopsi inovasi secara bersamaan (beberapa tidak pernah mengadopsi). Oleh karena itu, konsumen dalam RE dapat diklasifikasikan sebagai inovator, pengadopsi awal, awal mayoritas, mayoritas terlambat, dan lamban. Peneliti telah mengidentifikasi dengan pasti karakteristik inovasi yang berdampak pada derajat difusi dan merupakan indikasi adopsi, yaitu keunggulan relatif, kompatibilitas, kompleksitas, trialabilitas, dan observabilitas.



Gambar 3 Model Difusi – Inovasi *Renewable Energy*
(Sumber: Peneliti, 2020)

Berikut ini merupakan konsep difusi inovasi yang memiliki relevansi dengan RE yang diperoleh selama penelitian dilakukan, konsep ini terbagi menjadi 4 poin utama, sebagai berikut:

1. Komunitas masyarakat: konsep ini berkaitan dengan segmen pasar dan target pasar, sehingga dilakukan identifikasi pada komunitas masyakarat sebagai inovator dan orang yang memiliki potensi menjadi pengguna awal sumber RE.
2. Saluran komunikasi: konsep ini menjelaskan bagaimana menyesuaikan komunikasi terkait lingkungan yang bersih, keamanan energi, kenyamanan terkait pendistribusian produk, dan lembaga yang menaungi mereka sebagai komunitas dalam masyarakat sebagai pengguna sumber RE. Mereka akan memilih seorang pemimpin atau mengikuti seorang *opinion leader,* karena berperan sebagai pengadopsi awal sumber RE
3. Distribusi: saluran distribusi yang dimaksudkan adalah fokus pada keunggulan RW dibandingkan dengan sumber energi yang berasal dari fosil bahan bakar. Distribusi yang diunggulkan jika menggunakan RE adalah kompatibilitas yang dirasakan, lebih sedikit kompleksitas, pengurangan tingkat polusi, dan tidak merusak lingkungan.
4. Konsumen: konsumen dalam komunitas yang memiliki RE adalah tipe konsumen aktif yang juga dapat berfungsi sebagai saluran komunikasi, sehingga peran mereka dapat ditingkatkan melalui media impersonal untuk mencapai target pasar dan mendukung konsumen melalui proses adopsi kesadaran, minat, evaluasi, dan jejak.

Selanjutnya, sektor energi di Indonesia sedang mengalami perubahan dan merupakan sumber daya yang paling baik yang harus segera digerakkan untuk memanfaatkan perubahan tersebut. Jika Kebutuhan energi masa depan Indonesia harus dipenuhi, maka RE dapat dimaksimalkan perannya di tahun-tahun mendatang sebagai alternatif bahan bakar pengganti fosil.

Terdapat berbagai kebijakan yang dikeluarkan oleh pemerintah terkait adopsi Teknologi Energi Terbarukan. Pemerintah melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menerbitkan Peraturan Menteri (Permen) ESDM No. 4 Tahun 2020. Beleid ini merupakan perubahan kedua atas Permen

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ESDM No. 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik. Direktur Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Kementerian ESDM, Harris menyebutkan, sejak awal pemerintah telah menyiapkan konsep revisi Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 bersamaan dengan draf Peraturan Presiden (Perpres) tarif listrik EBT. Permen ESDM No. 4 Tahun 2020 sendiri pada dasarnya tidak memiliki banyak perbedaan dibandingkan dengan Permen ESDM No. 50 Tahun 2017. Namun, Permen tersebut diyakini memiliki peran penting dalam pengembangan EBT di Indonesia. Untuk mendukung program pemerintah tersebut, beberapa strategi yang direkomendasikan dalam penelitian ini akan membantu pihak terkait seperti pemerintah, opinion leader, dan konsumen awal pengguna RE mencapai tujuan perihal mandiri energi.

Ketika sumber daya energi konvensional mengering dan polusi meningkat, perusahaan utilitas dan pembuat kebijakan berusaha mengembangkan program energi baru yang lebih ramah lingkungan dan dapat diisi ulang. Energi terbarukan telah muncul sebagai sumber energi alternatif, tetapi pemasarannya belum berhasil meskipun ada kekhawatiran konsumen yang meluas tentang lingkungan.

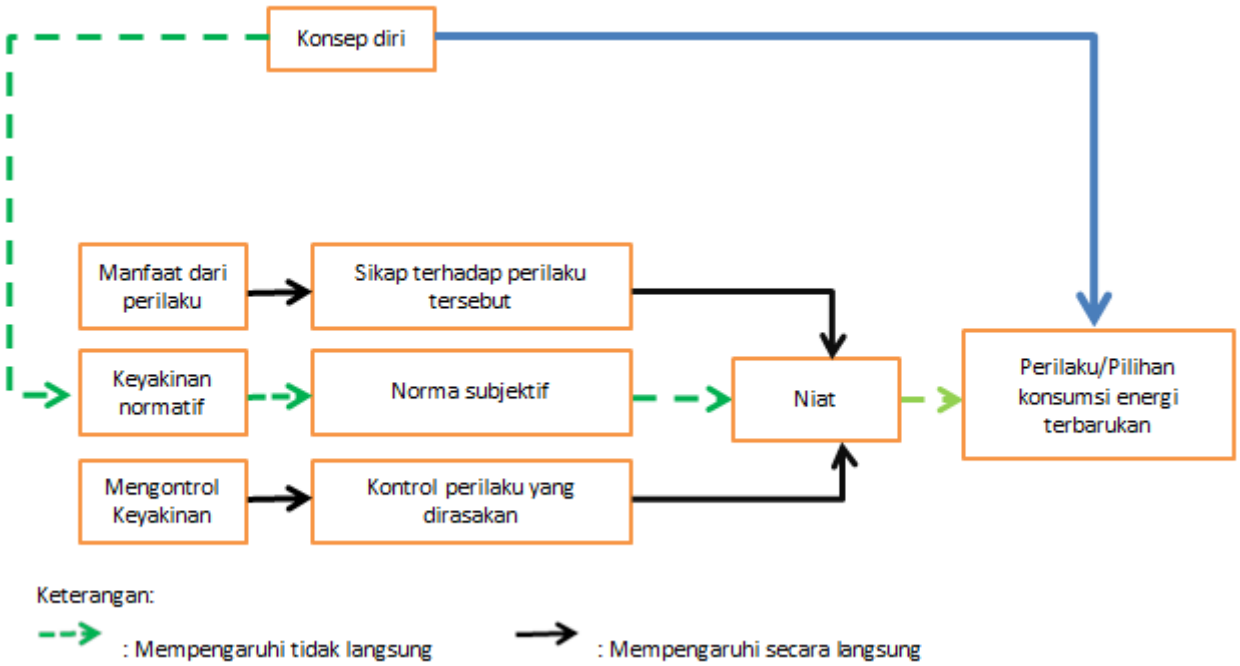
Dengan menggunakan teori perilaku konsumen dan mengadopsi konsep adopsi inovasi sebagai kerangka teoretis, penelitian ini menyelidiki hubungan tiga variabel (perhatian dengan lingkungan, pengetahuan tentang energi terbarukan, dan keyakinan tentang konsekuensi yang menonjol dari penggunaan energi terbarukan) untuk mendapatkan model kampanye energi terbarukan. Berdasarkan teori perilaku konsumen, ditemukan hubungan positif antara keyakinan tentang konsekuensi yang menonjol dan sikap untuk membayar lebih untuk energi terbarukan. Tingkat perhatian keseluruhan cukup tinggi bagi konsumen dalam sampel, sedangkan tingkat pengetahuan relatif rendah.

Dalam penelitian ini, ditemukan perhatian konsumen gagal diwujudkan menjadi pengetahuan yang lebih tinggi tentang energi terbarukan. Studi ini menunjukkan kepedulian dan keyakinan lingkungan konsumen tentang energi terbarukan hingga saat ini lebih emosional daripada berbasis fakta atau pengetahuan.

Implikasi perubahan perilaku konsumen energi terbarukan terlihat pada tingginya permintaan listrik terbarukan di pasar lebih rendah dari permintaan produk hijau lainnya. Melalui penelitian ini, konsep perilaku konsumen terbukti memiliki peran penting dalam perilaku konsumen untuk produk energi terbarukan, meskipun listrik yang bersumber pada energi terbarukan memiliki kekurangan pada visibilitas dan keterlibatan produk. Simulasi pilihan konsumen pada 151 rumah tangga di Supit Urang, Malang dilakukan dengan membandingkan pilihan konsumen untuk menggunakan RE. Hasil simulasi tersebut menunjukkan pengaruh positif dari identitas yang memberi sinyal pada permintaan RE. Sampel mengharapkan pangsa pasar untuk RE sebagai pengganti energi dapat terus ditingkatkan.

Penelitian ini dilakukan terhadap perilaku konsumen di bidang energi terbarukanterutama menyangkut kesediaan membayar listrik ramah lingkungan dan perilaku s*witching product.* Mengubah perilaku bukanlah hal yang mudah untuk konsumen yang sudah lama mengkonsumsi sebuah merek atau produk atau jasa tertentu untuk pemenuhan kebutuhan hidup sehari-harinya. Namun, hal ini selalu menjadi perhatian bagi perusahaan untuk dapat mengubah perilaku tersebut (switching product). Perusahaan meletakan perhatian pada area konsumen tertentu karena melihat perkembangan pasar yang kompetitif untuk produk tertentu. Begitupun dengan perusahaan penyedia listrik yang benar-benar kompetitif menemukan cara agar konsumen yang melakukan pencarian informasi energi alternatif pengganti listrik dan gas dapat membuat konsumen mengalihkan perhatiannya pada produk jenis baru ini. Namun, untuk produk RE biaya menjadi penghalang utama. Bukan karena harga yang tinggi melainkanharga yang tidak terduga ketika mereka harus *switching product* di pasar listrik dan gas. Berikut ini merupakan bagan tentang konsep perubahan perilaku konsumen energi terbarukan yang dirumuskan oleh peneliti:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 4 Model Perubahan Perilaku Konsumen Energi Terbarukan
(Sumber: Peneliti, 2020)

Model perubahan perilaku konsumen energi terbarukan diperoleh dari aktivitas atau kegiatan yang dilakukan oleh responden yang ditunjukkan melalui hasil dalam penelitian ini. Model ini memiliki kesamaan dengan model Howard dan Sheth, baik dalam ruang lingkup, sudut pandang maupun tujuannya. Model Perilaku Konsumen dari Engel, Kollat dan Blackwell (EKB) membedakan tipe-tipe perilaku konsumen atas dasar situasi yang dihadapinya, apakah pilihan membeli berlangsung secara rutin atau hanya pada saat tertentu saja.

Langkah-langkah utama dalam model EKB adalah pengenalan kebutuhan, pencarian informasi, evaluasi alternatif, pembelian, dan hasilnya (Suhari, 2010).

Berdasarkan model perilaku konsumen dan hasil penelitian yang diperoleh, peneliti menemukan konsumen energi terbarukan mempertimbangkan faktor tidak langsung dalam proses pengambilan keputusannya. Faktor tersebut adalah keyakinan normatif yang dihubungkan dengan norma subjektif yang sudah lebih dahulu ada di lingkungan mereka sebelum energi terbarukan ini digunakan. Perubahan yang muncul dalam diri konsumen yang diakibatkan oleh faktor eksternal seperti norma normatif subjektif memunculkan tekanan sosial dalam dirinya sendiri, kemudian mendapatkan niat untuk mengonsumsi energi terbarukan bersama anggota masyarakat lain di lingkungannya.

Penelitian ini merupakan studi empiris kuantitatif dengan menggunakan survei *online* yang dikirim ke rumah tangga di Indonesia pengguna RE dan survei *offline* yang dikirim ke rumah tangga di Supit Urang, Malang (telah diakui sebagai daerah percontohan tingkat nasional untuk daerah dengan mandiri energi). Survei *online* digunakan untuk menyimulasikan situasi pilihan pelanggan untuk penggunaan listrik sebagai layanan mayoritas serta perbandingan dan perubahan penggunaan listrik yang terjadi di Indonesia.

Dalam penelitian ini, peneliti mengirimkan kuesioner sebanyak mungkin kepada lebih dari 400 responden dengan tujuan untuk mengetahui situasi pilihan konsumen yang sebenarnya. Peneliti melakukan survei *online* dan mengarahkan pilihan responden pada penggunaan energi terbarukan. Penelitian ini mengkaji perubahan perilaku konsumen pada penggunaan energi terbarukan dan produk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

listrik terbarukan pada khususnya. Tujuannya untuk memunculkan model perubahan perilaku berdasarkan konsep adopsi-inovasi.

Hipotesis dalam penelitian ini menunjukkan persentase responden yang memilih RE lebih tinggi visibilitas dan keterlibatannya dalam penggunaan RE secara mandiri. Peneliti mengirimkan kuesioner kepada 200 rumah tangga untuk mengisi survei *online* dengan simulasi konsumen menghasilkan total 151 balasan yang valid dengan toleransi kesalahan sebesar 10%. Selanjutnya peneliti melakukan survei *offline* yang melibatkan 30 orang yang diperoleh dari 151 responden yang sudah mengisi kuesioner *online* untuk diminta mengisi kuesioner secara *offline* sekaligus melakukan penggalian data secara kualitatif.

Peneliti membedakan responden antara rumah tangga yang tidak memiliki pengetahuan tentang energi terbarukan dan responden rumah tangga dengan anggota keluarga yang memiliki pengetahuan tentang energi terbarukan. Pemilihan ini berdasarkan asumsi bahwa keterlibatan seorang anggota keluarga yang memiliki pengetahuan tentang energi terbarukan lebih banyak memiliki keterlibatan dalam perubahan perilaku bagi rumah tangga yang di dalamnya tidak terdapat orang dengan pengetahuan RE atau rumah tangga yang belum menggunakan RE di rumahnya.

Penelitian ini menunjukan terdapat kemungkinan bias di antara responden yang diperkirakan tidak akan mempengaruhi simpulan peneliti tentang perilaku konsumen energi terbarukan. Pada saat melakukan studi pilihan konsumen secara *online* dan mengundang responden melalui komunitas, diperoleh hasil yang dapat digunakan untuk melakukan generalisasi atas populasi penelitian. Namun, karena peneliti menggunakan pengambilan sampel dengan cara acak untuk survei *online,* maka hasil yang diperoleh digunakan sebagai indikator tentatif tentang perubahan perilaku konsumen menggunakan pola adopsi-inovasi sehubungan dengan kemandirian energi pada rumah tangga di Indonesia.

Upaya mengintegrasikan RE dengan luaran berupa listrik dan gas, saluran harus dibuat menjadi lebih praktis dan aman agar dapat menyeimbangkan kebutuhan listrik dan gas serta produksi tidak berhenti. Dalam penelitian ini diperoleh hasil bahwa visibilitas perilaku konsumen (dalam hal ini keterlibatan) menunjukkan hasil yang lebih tinggi. Selain itu, munculnya peningkatan keterlibatan masyarakat dalam RE memungkinkan konsumen untuk mengubah perilaku konsumsi listrik konvensional pada penggunaan listrik dan gas yang bersumber dari RE. Hal ini dapat menyebabkan munculnya permintaan yang lebih tinggi untuk listrik terbarukan. Meningkatnya kepedulian tentang perubahan iklim membuat kesadaran publik menjadi meningkat, sehingga dapat mendorong tercapainya kebijakan baru oleh pemerintah untuk mendukung penelitian ilmiah terkait masalah ini.

Indonesia merupakan salah satu negara utama yang padat energi dan berada di bawah beban yang berlebihan untuk meningkatkan efisiensi energi serta berupaya mengurangi emisi karbon. Penggunaan energi terbarukan sebagai pengganti bahan bakar fosil berpotensi mengurangi emisi karbon dan konsumsi bahan bakar kendaraan untuk mengatasi masalah lingkungan. Penggunaan RE dipandang sebagai solusi untuk mengurangi emisi karbon yang mencegah kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, berbagai upaya sedang dilakukan untuk mempromosikan penggunaan RE sebagai alternatif energi pengganti listrik dan gas yang inovatif dan terjangkau.

Peneliti menggunakan model berdasarkan teori perilaku konsumen, salah satunya adalah Theory Plan Behaviour (TPB). Hal ini dilakukan untuk membuat konsumen sadar tentang adopsi RE. Ulasan ini didasarkan pada faktor-faktor yang memengaruhi adopsi RE di antara konsumen pengguna energi terbarukan di Indonesia. Model tersebut memperhitungkan sepuluh fitur utama yang memengaruhi penerapan RE di masyarakat, seperti kepedulian lingkungan, norma pribadi, sikap, biaya, frekuensi, durasi, niat, norma subjektif, kontrol perilaku yang dirasakan, dan norma pribadi. Semua konstruksi ini merupakan pendorong penerapan RE di masyarakat. Faktor-faktor

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ini memengaruhi hubungan antara penerapan RE dan bagaimana konsumen bermaksud serta melindungi lingkungannya. Tinjauan tersebut didasarkan pada peningkatan bagaimana kesenjangan "sikap dan tindakan" dipahami karena merupakan elemen penting untuk studi lebih lanjut tentang perilaku konsumen.

Dalam penelitian ini diperoleh kerangka kerja cara memodifikasi masalah lingkungan dan konsumen dalam memperoleh RE. Hal ini akan membuka jalan bagi lebih banyak penelitian akademis dan karya masa depan yang dapat menekankan bagaimana memperoleh hasil empiris terkait masalah lingkungan yang melibatkan aspek pemasaran dan komunikasi (komunikasi pemasaran). Sebelum perilaku konsumen dinilai dan dipertimbangkan, perlu dilakukan observasi terhadap teknologi terkini dengan metode dan pengetahuan tentang aspek adopsi teknologi yang ada. Terlepas dari potensinya yang tinggi, sumber energi terbarukan tidak cukup dieksploitasi di Indonesia. Penelitian ini membahas potensi terjadinya perubahan perilaku konsumsi untuk sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk membuat strategi pemasaran sosial yang didasarkan pada penggunaan adopsi-inovasi untuk kemandirian energi. Untuk mendapatkan hasil analisis ini, peneliti menggunakan hasil survei terkait akseptabilitas untuk membayar RE yang digunakan. Setelah membedakan parameter yang mempengaruhi penerimaan atau pilihan dan kesediaan untuk membayar RE, responden diminta untuk mendemonstrasikan cara-cara untuk mengeksploitasi RE. Oleh karena itu, penelitian ini hanya mengukur kesenjangan antara hasil studi preferensi yang dinyatakan konsumen dan wawasan yang dihasilkan untuk perubahan perilaku konsumen.

Berdasarkan hasil temuan terkait adopsi-inovasi untuk perubahan perilaku konsumen energi terbarukan, disusunlah strategi SWOT yang dapat digunakan untuk memaksimalkan sumber energi terbarukan di suatu wilayah berdasarkan hasil analisis di bawah ini.

	Internal	Eksternal
	Strength	**Opportunities**
Positif	1. Produksi desentralisasi 2. Pembuangan karbon (Dekarbonisasi) konsumsi energi 3. *Sustainability* 4. Sesuai dengan undang-undang di Indonesia 5. keamanan energi	1. Hidup berdampingan, co-promotion, co-branding dengan konsep ekologis lainnya 2. Sumber energi terbarukan yang sangat beragam 3. Harga listrik dan harga bahan bakar fosil yang tinggi 4. Sumber energi terbarukan menciptakan lapangan kerja baru
	Weakness	**Threats**
Negatif	1. Infrastruktur jaringan yang tidak memadai 2. Modal / Biaya awal yang tinggi 3. Penelitian yang tidak memadai 4. Kurangnya penguatan dan pemantauan 5. Hambatan teknologi 6. Tidak efisien (Distorsi) pasar dan persaingan 7. Permasalahan administratif	1. Keterlambatan regulasi pasar energi 2. Keterlambatan pencapaian target 3. Eksploitasi yang tidak merata dan tidak memadai 4. Kapasitas kelembagaan yang tidak memadai 5. Penyebaran informasi yang tidak memadai

Gambar 5 Analisis SWOT untuk Sumber Energi Terbarukan
(Sumber: Peneliti 2020)

Evaluasi keseluruhan dari kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman (analisis SWOT) harus dipertimbangkan untuk bauran pemasaran agar sukses. Peneliti mendapatkan analisis SWOT tersebut dengan cara melakukan survei yang dimulai secara umum dengan sesi informasi dan pendahuluan yang menjelaskan penggunaan energi terbarukan kepada responden untuk memastikan bahwa responden mengetahuinya. Penjelasan gambar analisis SWOT tersebut RE memiliki sifat berkelanjutan karena dekarbonisasi, pertumbuhan ekonomi yang dihasilkan, aman (menahan diri dari risiko geopolitik, tidak ada risiko kecelakaan, misalnya tumpahan minyak) dan sebagian besar RE dapat dipasok bahkan di daerah pedesaan terpencil. Perkembangan mereka didukung oleh peluang yang disebutkan dalam kolom *opportunities* dan *threat.* RE dapat berkembang menjadi *co-branding* dan *co-promotion* dengan tujuan lain yang diupayakan oleh komunitas di daerah pengahasil RE.

Energi terbarukan sendiri muncul dalam variasi yang besar, artinya setiap negara atau bahkan konsumen/warga negara dapat mengembangkan keunggulan atau keunikannya masing-masing. Pengembangan RE lebih lanjut diperkuat dengan harga energi konvensional yang tinggi di seluruh dunia. Industri energi terbarukan di Supit Urang diperkirakan mampu mendukung seluruh penduduk di kota Malang, menyediakan jutaan pekerjaan pada tahun 2020.

Strength dan *Weakness* dalam matriks SWOT dapat disebut sebagai biaya dari RE. Infrastruktur jaringan yang tidak memadai dikombinasikan dengan biaya awal yang tinggi menyebabkan RE belum dapat ditransfer dari satu kota ke kota lain dan ke pedesaan terpencil atau sebuah daerah. Kurangnya penegakan aturan dan pemantauan terkait target yang ditetapkan, menyebabkan eksploitasi RE tidak merata di seluruh Indonesia. Hambatan penelitian dan teknologi bersama dengan kurangnya informasi dan dukungan kelembagaan juga memperlambat penyebaran RE. Penundaan dalam deregulasi bersama dengan pasar sejenis distorsi dan kekurangan persaingan merupakan bagian penyebab RE belum berkembang dengan baik di Indonesia.

Dalam penelitan ini, peneliti mempelajari sikap konsumen terhadap energi terbarukan di Indonesia dan keinginan mereka untuk menggunakan dan membeli listrik atau sistem energi terbarukan. Setelah responden mengisi kuesioner, peneliti menggunakan model regresi linier sederhana untuk menganalisis hasil penelitian. Kesediaan untuk membeli sistem energi terbarukan sendiri (misalnya pemanas air menggunakan gas metana) dipengaruhi oleh usia, seberapa menjanjikan potensi energi terbarukan terlihat dan apakah orang tersebut dapat memilih sistem energi terbarukan sendiri? Kesediaan untuk membayar produk listrik ramah lingkungan tertentu dipengaruhi oleh pendapatan, jenis bangunan, dan potensi energi terbarukan yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan masalah harga dan peralatan (operasi, pemeliharaan) sering dianggap sebagai hambatan untuk membeli RE. Penghematan energi dan ketahanan energi paling sering dipilih sebagai motivasi untuk membeli RE dan alasan lingkungan lebih jarang dipilih. Namun, membeli RE akan memiliki makna lingkungan yang kuat bagi banyak responden. Beberapa responden menyebutkan harga yang lebih rendah dan subsidi pemerintah dapat memotivasi mereka untuk membeli RE lebih banyak lagi.

Peneliti menyimpulkan bahwa selain regulasi diperlukan juga kampanye dari periklanan agar informasi terkait RE yang dibutuhkan oleh konsumen dapat tersampaikan dengan baik. Di pasar listrik yang diliberalisasi, konsumen dapat memilih produk listrik sesuai dengan kesukaan mereka, banyak pemasok menawarkan produk energi hijau sukarela kepada pelanggan. Kemauan untuk membayar listrik hijau juga dipelajari di beberapa negara. Studi-studi ini mewakili situasi yang berbeda mengingat kebijakan energi terbarukan, struktur produksi listrik, serta periode waktu dan tahapan pembukaan pasar listrik yang berbeda. Sebagian besar literatur yang ada berfokus pada negara-negara Barat, hanya ada sedikit penelitian yang melihat situasi energi terbarukan di Indonesia.

Penelitian ini menunjukkan perilaku konsumen dipengaruhi oleh beberapa faktor pada waktu yang bersamaan, dan pada

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

karakteristik seperti pendapatan, usia dan pendidikan yang telah terbukti berdampak pada kesediaan konsumen untuk membayar listrik ramah lingkungan. Sebagai tambahan, kesadaran lingkungan, jenis energi terbarukan, harga, dan energi terbarukan yang menjanjikan, secara umum dapat memengaruhi kemauan untuk membeli energi hijau. Di sisi lain, kurangnya informasi, kebingungan konsumen dan kebiasaan lama dapat menghambat pembelian energi terbarukan. Selain itu, terlihat bahwa struktur produksi energi di dalam negeri berpengaruh terhadap seberapa penting perannya produk energi terbarukan dipertimbangkan.

Penelitian yang dilakukan di Norwegia menemukan efisiensi energi dipandang sebagai tindakan lingkungan yang lebih penting daripada membeli listrik hijau karena produksi energi terbarukan sudah merupakan bagian tertinggi dalam produksi listrik (Aasen, Westskog, Wilhite, & Lindberg, 2010). Jenis mekanisme partisipasi juga dapat memengaruhi partisipasi seperti yang diungkapkan oleh (Kotchen & Moore, 2007). Selain itu, jenis energi terbarukan yang tersedia memiliki dampak lingkungan tambahan nyata yang dapat mempengaruhi permintaan (Hast, Syri, Jokiniemi, Huuskonen, & Cross, 2015). Energi terbarukan juga dapat dipandang sebagai contoh barang publik, dan kemungkinan biaya tambahannya dibayar oleh individu sukarela. Sejak konsumen membeli energi terbarukan, tidak hanya mendapatkan keuntungan, namun juga terdapat insentif yang kuat untuk tumpangan gratis seperti yang dinyatakan oleh (Batley, Colbourne, Fleming, & Urwin, 2001; Wiser, 1998).

Studi di Supit Urang menunjukkan faktor terpenting yang mempengaruhi niat konsumsi RE adalah penyebaran informasi, perilaku konsumen sangat dipengaruhi oleh pilihan konsumen lain. Niat konsumsi tidak terpengaruh dengan karakteristik seperti pekerjaan, kondisi ekonomi atau pendidikan. Perilaku pembelian sebenarnya dipengaruhi oleh niat berlangganan tetapi tidak oleh faktor ekonomi (Zhang, Jiang, & Lin, 2011).

Hasil survei *online* di kalangan penduduk di beberapa daerah perkotaan Indonesia menunjukkan responden dengan pendapatan dan pendidikan lebih tinggi memilih untuk membayar RE lebih tinggi daripada energi yang selama ini digunakan. Hasil survei tersebut menunjukkan RE dinilai ramah lingkungan sehingga produk dikategorikan dalam produk mewah dan efek Veblen (konsumen lebih memilih produk dengan harga lebih tinggi) ada di segmen populasi tertentu (Zhang & Wu, 2012).

Liu et al. telah mempelajari penerimaan pedesaan dari energi terbarukan di Cina dan menemukan sebagian besar penduduk pedesaan menunjukkan respon positif untuk listrik terbarukan. Orang tua dan muda dengan penghasilan yang lebih tinggi cenderung bersedia membayar lebih untuk listrik hijau. Tingkat pengetahuan individu dan persepsi tentang biaya energi terbarukan meningkatkan kemungkinan bersedia membayar lebih tinggi (Liu, Wang, & Mol, 2013b). Analisis oleh Yuan dkk. juga menunjukkan bahwa pendapatan, usia, dan pendidikan memengaruhi tingkat kesadaran teknologi energi surya dan keputusannya untuk menerapkan teknologi energi surya di rumah. Survei mereka di daerah perkotaan dan pedesaan kota Jinan di provinsi Shandong juga menunjukkan bahwa pemanas air tenaga surya telah mendapatkan tingkat kesadaran publik yang lebih tinggi daripada teknologi energi surya lainnya. Tingkat kesadaran itu lebih tinggi di antara penduduk perkotaan daripada penduduk di pedesaan (Yuan, Zuo, & Ma, 2011).

Beberapa penelitian di atas dapat disimpulkan munculnya beberapa kemungkinan bahwa konsumen memiliki ketakutan dan kekhawatiran tentang penggunaannya. Orang mungkin akan mengira penggunaan RE ramah lingkungan dapat merusak peralatan elektronik mereka. Dengan demikian, diperlukan sebuah saluran agar konsumen mendapatkan informasi yang jelas, sehingga mereka dapat memilih menggunakan RE atau tidak. Peneliti menemukan bahwa kesediaan untuk membeli listrik ramah lingkungan bergantung pada bagaimana responden melihat potensi RE secara umum, jenis bangunan, dan pendapatan. Kemungkinan untuk memilih sistem RE secara statistik berpengaruh signifikan terhadap hasil.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Demikian pula Yuan et al. (2011) menemukan jenis bangunan memengaruhi sikap terhadap teknologi surya. Pendapatan tampaknya memengaruhi kesediaan untuk membeli energi terbarukan dan jumlah yang harus dibayar konsumen.

SIMPULAN

Sumber energi terbarukan dan manfaat yang dihasilkan belum dapat dipahami dengan baik oleh konsumen dan komunitas lokal, sehingga konsumen energi terbarukan di Indonesia perlu mendapatkan pencerahan tentang pentingnya konsep difusi inovasi yang lebih sesuai dengan kondisi saat ini. Hal ini tentunya berimplikasi pada pembuat kebijakan, pemasok listrik, dan peneliti selanjutnya. Untuk membuat strategi pemasaran yang sukses atau *branding* yang efisien digunakan model perilaku konsumen untuk produk listrik dan motif di balik konsumerisme hijau yang harus dipahami. Melalui model perubahan perilaku ini, pengambil kebijakan dapat melakukan identifikasi strategi pemasaran dan *branding* sehingga diharapkan akan berhasil mengubah perilaku konsumen dan meningkatkan derajat keterlibatan konsumen pada produk energi terbarukan.

Dengan pengembangan energi terbarukan, konsumen akan menjadi lebih terlibat dan lebih banyak memiliki peran sentral dalam sistem komunitas di wilayah energi mandiri. Oleh sebab itu, selain memantapkan penggunaan energi terbarukan, bagian lain seperti pemasaran, penelitian lebih lanjut tentang perilaku konsumen harus terus dilakukan untuk mendapatkan sebuah sistem energi mandiri secara menyeluruh. Hasil penelitian ini berimplikasi pada pembuat kebijakan yang ingin meningkatkan permintaan listrik terbarukan di bawah aturan pasar saat ini. Penelitian pengaruh perilaku konsumen ini mendorong pilihan konsumen menggunakan listrik energi terbarukan. Pengaruh ini dapat menyebabkan peningkatan permintaan listrik terbarukan lebih cepat dengan biaya lebih rendah.

Terdapat beberapa langkah yang dapat diambil pada tingkat makro yang dapat meningkatkan kehidupan individu tanpa benar-benar terlibat dalam tindakan apa pun, seperti pemasangan energi terbarukan di semua gedung milik umum. Dengan demikian, pengurangan emisi CO_2 juga dapat tercapai, yang akan bermanfaat bagi seluruh masyarakat.

Survei yang dilaporkan di atas memberikan ruang untuk koreksi antara pengguna (konsumen), organisasi, dan negara. Survei tersebut yaitu pelanggan dapat berbagi pengalaman dan mengomunikasikan kebutuhan mereka secara langsung. Semua survei yang diterapkan sejauh ini telah memberikan kontribusi besar untuk pemahaman pasar, dan memberikan wawasan pemasaran yang unik. Langkah selanjutnya memanfaatkan hasil survei untuk menghasilkan bauran pemasaran yang terbaik. Penelitian yang dilakukan sejauh ini pada dasarnya merupakan penelitian pemasaran. Jika kondisi ekonomi yang buruk dan tingkat pendidikan yang rendah dapat menghambat penggunaan energi terbarukan, maka, pembuat kebijakan harus memopulerkan penggunaan energi dan teknologi terbarukan untuk meningkatkan dukungan publik lokal.

DAFTAR PUSTAKA

A. Hast, B. Alimohammadisagvand, S. Syri. (2015). Consumer attitudes towards renewable energy in China—The case of Shanghai. Sustainable Cities and Society,17, 69-79.

Adjikri, Fikri. (2017). Strategi Pengembangan Energi Terbarukan Di Indonesia. JOM elektro. 1-1. 1-13

Adnan, N., Nordin, S.M., Rahman, I. et al. (2017). A market modeling review study on predicting Malaysian consumer behavior towards widespread adoption of PHEV/EV. Environ Sci Pollut Res 24, 17955–17975. https://doi.org/10.1007/s11356-017-9153-8

Angeliki N. Menegaki. (2012). A social marketing mix for renewable energy in Europe based on consumer stated preference surveys. Elsevier: Renewable Energy, 39-1 30-39.

Arikunto. (2010). Prosedur penelitian: suatu pendekatan praktek. Jakarta: Rineka Cipta.

Cahyono , M. Sigit. (2013). Pengaruh Jenis Bahan Pada Proses Pirolisis Sampah

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Organik Menjadi Bio-Oil Sebagai Sumber Energi Terbarukan. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan, 5-2, 67-76

Chen, Mei-Fang, Pei-JuTung. (2014). Developing an extended Theory of Planned Behavior model to predict consumers' intention to visit green hotels. International Journal of Hospitality Management, 36, 221-230

Creswell, J. W. (2014). Research design: pendekatan kualitatif. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Daphna, Oyserman. (2009). Elsevier:Journal of Consumer Psychology 19-3, 276-279. https://doi.org/10.1016/j.jcps.2009.06.001

Everett M. Rogers. (1983). Diffusion of Innovations. London: The Free Press.

Gao, Lan, Shanyong Wang, Jun Li, Haidong Li. (2017). Application of the extended theory of planned behavior to understand individual's energy saving behavior in workplaces. Resources, Conservation and Recycling, 127, 107-113

Gay, L., & G.E, Mills. (2006). Educational research (competencies for analysis and applications). USA: Pearson.

Hae-Kyong Bang Alexander E. Ellinger John Hadjimarcou Patrick A. Traichal. (2020). Consumer concern, knowledge, belief, and attitude toward renewable energy: An application of the reasoned action theory. https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6793(200006)17:6<449::AID-MAR2>3.0.CO;2-8

Juwito, Arif Febriansyah, Sasongko Pramonohadi , T. Haryono. (2012). Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya. Jurnal Ilmiah Semesta Teknika. 5-1. 22-34

Keirstead, James., et.al. (2012). Evaluating biomass energy strategies for a UK eco-town with an MILP optimization model. Biomass and Bioenergy, 39, 306-316

Kholiq, Imam. (2015). Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Subtitusi BBM. Jurnal IPTEK, 19-2. 75-91

Kostakis.I.E.Sardianou. (2012). Which factors affect the willingness of tourists to pay for renewable energy?. Renewable Energy, 38-1 1, 169-172.

Lee, Yi-Hsuan. Yi-Chuan Hsieh and Chia-Ning Hsu. (2011). Adding Innovation Diffusion Theory to the Technology Acceptance Model: Supporting Employees' Intentions to use E-Learning Systems. Journal of Educational Technology & Society, 14-4, 124-137

Liu, Wenling Can, Wanga Arthur P.J.Mol. (2013). Rural public acceptance of renewable energy deployment. The case of Shandong in China. Applied Energy, 102, 1187-1196.

Lofland, J., Snow, D., Anderson, L., & Lofland, L, H., (2006). Analyzing social setting: a guide to qualitative observation and analysis. US: Thomson Wadsworth.

Momsen, Kathrina, Thomas Stoerk. (2014). From intention to action: Can nudges help consumers to choose renewable energy?. Energy Policy. 74, 376-382.

Nienhuesera, Ian Andrew ,Yueming Qiub. (2016). Economic and environmental impacts of providing renewable energy for electric vehicle charging – A choice experiment study. Applied Energy, 180, 256-268

Purba, Noir Primadona. (2014). Variabilitas Angin dan Gelombang Laut Sebagai Energi Terbarukan di Pantai Selatan Jawa Barat. Jurnal Akuatika, 5-1. 8-15

Raphael Hanimann a,n , Johan Vinterbäck, Cecilia Mark-Herbert. (2015). Consumer behavior in renewable electricity: Can branding in accordance with identity signaling increase demand for renewable electricity and strengthen supplier brands?. Energy Policy, 78, 11-21

Singletom, Jr., & Straits, B., 2005. Approaches to social research (4th edition). New York, NY: Oxford University Press.

Solangi, Yasir Ahmed., et.al. (2019). Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach. Journal of Cleaner Production, 236, 117-655

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Soon, Jan-Jan, Siti-Aznor Ahmad. (2015). Willingly or grudgingly? A meta-analysis on the willingness-to-pay for renewable energy use. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 44, 877-887

Suhari, Y. (2010). E-COMMERCE : MODEL PERILAKU KONSUMEN. Jurnal Dinamika Informatika, 2(2). https://doi.org/10.35315/informatika.v2i2.898

Swaminathan Mani, Tarun Dhingra. (2012). Diffusion of innovation model of consumer behaviour e Ideas to accelerate adoption of renewable energy sources by consumer communities in India. University of Petroleum and Energy Studies (UPES), Dehradun, India. 39-1, 162-165.

Tan, Sie Ting., et.al. (2014). Energy and emissions benefits of renewable energy derived from municipal solid waste: Analysis of a low carbon scenario in Malaysia. Applied Energy, 136, 797-804

Weigel, F. K., Hazen, B. T., Cegielski, C. G., & Hall, D. J. (2014). Diffusion of Innovations and the Theory of Planned Behavior in Information Systems Research: A Metaanalysis. Communications of the Association for Information Systems, 34, pp-pp. https://doi.org/10.17705/1CAIS.03431

Yadava, Rambalak, Govind Swaroop Pathak. (2016). Young consumers intention towards buying green products in a developing nation: Extending the theory of planned behavior. Journal of Cleaner Production, 135, 732-739

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JURNAL KETAHANAN NASIONAL
Vol. 24, No.2, Agustus 2018, Hal 239-260
DOI:http://dx.doi.org/ 10.22146/jkn.30999
ISSN:0853-9340(Print), ISSN:2527-9688(Online)
Online sejak 28 Desember 2015 di :http://jurnal.ugm.ac.id/JKN

VOLUME 24 | No. 2, Agustus 2018 | Halaman 239-260

Meningkatkan Keamanan Energi Melalui Perincian Indikator Energi Terbarukan dan Efisiensi Guna Membangun Ketahanan Nasional Dari Daerah

Erkata Yandri
Sekolah PascasarjanaEnergi Terbarukan, Universitas Darma Persada
Pusat Studi Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada
email: erkata@gmail.com, erkata@pasca.unsada.ac.id

Ratna Ariati
Sekolah Pascasarjana Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada
Pusat Studi Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada
email: ratna.ariati@gmail.com

Riki Firmandha Ibrahim
Sekolah Pascasarjana Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada
email: r.firmandha@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this paper was to discussed how to developed the concept of Indonesia's energy security model with of Renewable Energy (RE) and Energy Efficiency (EE) programs.

To did this, there were four important concepts must be completed: reconceptualized the Indonesia's energy security model; explained the energy security (ES) relationship with the details of the indicator; explained the potential of ET and EE in each sector; explained the role of local government in exploiting the potential of ET and EE.

As an archipelago country divided into several regions, in order to get accurate prediction, our result showed that development Indonesian energy security models needed to be developed properly with more detailed indicators of RE and EE. To pursued the goal of national energy policy, the potential of RE and EE in each province should be utilized immediately, the role of local government was very important. The concept of detailed RE and EE indicators would create a contribution for local governments in realizing national energy security.

Keywords: Energy Security, Local Government, Renewable Energy, Energy Efficiency, Detailed Indicators

ABSTRAK

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk membahas bagaimana mengembangkan konsep model keamanan energi Indonesia dengan program Energi Terbarukan (ET) dan Efisiensi Energi (EE).

Untuk melakukan ini, ada empat konsep penting yang harus diselesaikan: mengkonsepkan kembali model keamanan energi Indonesia; menjelaskan hubungan kemananan energi (ES) dengan perincian indikator; menjelaskan potensi ET dan EE di masing-masing sektor; menjelaskan peran pemerintah daerah dalam memanfaatkan potensi ET dan EE.

Sebagai negara kepulauan yang terbagi menjadi beberapa provinsi, analisis menunjukkan bahwa model keamanan energi Indonesia perlu dikembangkan dengan indikator ET dan EE yang lebih rinci. Untuk mengejar tujuan kebijakan energi nasional, potensi ET dan EE di setiap provinsi harus segera dimanfaatkan, maka peran

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pemerintah daerah sangat penting. Konsep model indikator ET dan EE yang terperinci ini akan merupakan kontribusi bagi pemerintah daerah dalam mewujudkan keamanan energi nasional.

Kata Kunci: Keamanan Energi, Pemerintah Daerah, Energi Terbarukan, Efisiensi Energi, Indikator Rinci

PENGANTAR

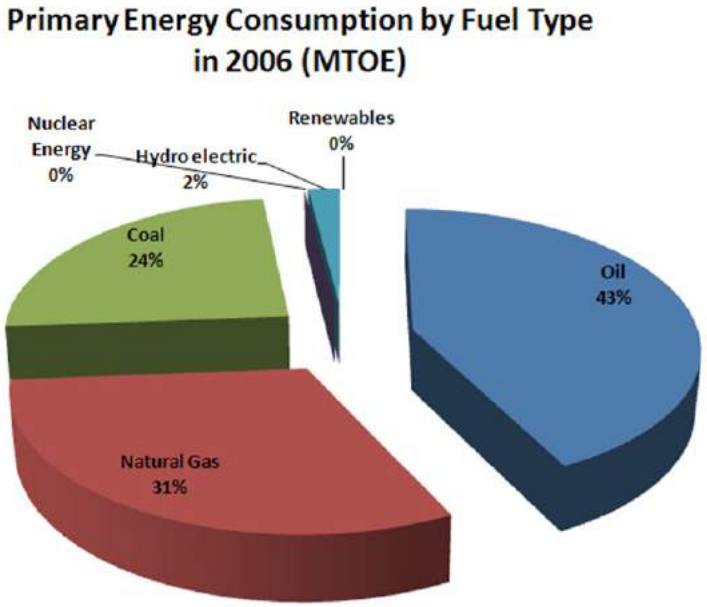
Energi adalah salah satu kebutuhan masyarakat yang tidak bisa lepas dari kehidupan sehari-hari, tidak hanya secara pribadi tapi juga dalam kehidupan berbangsa dan bernegara. Gangguan pasokan energi secara langsung akan mempengaruhi pertumbuhan ekonomi dan pembangunan suatu negara. Oleh karena itu, masing-masing negara memiliki strategi energi khusus untuk mengamankan pembangunan nasionalnya. Dalam kasus Indonesia, strategi energinya dituangkan dalam bentuk Undang-Undang pada tahun 2007, yaitu Undang-Undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi. Dalam pasal 2 Undang-Undang tersebut secara jelas tercantum strategi pengelolaan energi yang pada prinsipnya didasarkan pada asas-asas manfaat, nasionalitas, efisiensi yang setara, nilai tambah ekonomi, keberlanjutan, kesejahteraan masyarakat, pelestarian lingkungan, keamanan nasional, dan integritas. Prinsip-prinsip ini mengarah pada keberlanjutan pembangunan nasional dan keamanan energi atau disebut *Energy Security* atau disingkat dengan ES.

Yang dimaksud dengan pengelolaan energi sebagaimana tercantum pada pasal 1 Ketentuan Umum dari Undang-Undang tersebut adalah penyelenggaraan kegiatan penyediaan, pengusahaan, dan pemanfaatan energi serta penyediaan cadangan strategis dan konservasi sumber daya energi. Ketentuan tersebut membawa pengertian bahwa pengelolaan energi dilakukan mulai dari hulu hingga hilir seluruh kegiatan yang terkait dengan energi atau dengan kata lain dari mulai penyediaan hingga pemanfaatan akhir oleh pengguna/konsumen energi.Pengelolaan energi di sisi penyediaan meliputi (1). Sumber daya energi tak terbarukan yang akan habis jika dieksploitasi secara terus menerus, antara lain minyak bumi, gas bumi, batubara, gambut, dan serpih bitumen; (2). Sumber daya energi terbarukan (ET) yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut; dan (3). Sumber energi baru yang dapat dihasilkan oleh teknologi baik yang berasal dari sumber energi tak terbarukan maupun sumber energi terbarukan, antara lain nuklir, hydrogen, gas metana batu bara (*coal bed methane*), batu bara tercairkan (*liquefied coal*), dan batubara tergaskan (*gasified coal*). Adapun pengelolaan energi di sisi pemanfaatan baik yang menggunakan energi secara langsung maupun tidak langsung dari sumber energi, diamanatkan untuk dilakukan berdasarkan asas-asas pengelolaan yaitu: (1). Mengoptimalkan seluruh potensi sumber daya energi, (2). Mempertimbangkan aspek teknologi, sosial, ekonomi, konservasi, dan lingkungan; (3). Memprioritaskan pemenuhan kebutuhan masyarakat dan peningkatan kegiatan ekonomi di daerah penghasil sumber energi (Undang-Undang No 30, 2007).

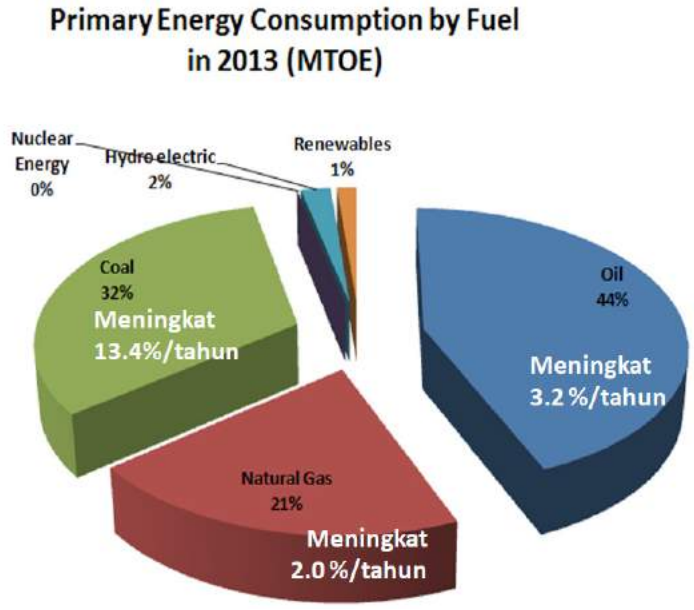
Dengan strategi seperti tersebut di muka, diharapkan tujuan pengelolaan energi untuk mendukung pembangunan nasional baik sebagai bahan baku industri maupun sebagai bahan bakar dapat tercapai dan berkelanjutan dalam arti dapat menjamin penyediaan dan pemanfaatan energi untuk generasi sekarang dan yang akan datang. Pada kenyataannya,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 1
Perbandingan Konsumsi Energi Primer Per Jenis Sumber Energi Tahun 2006 Dan 2013



Sumber: Pusdatin ESDM, 2014



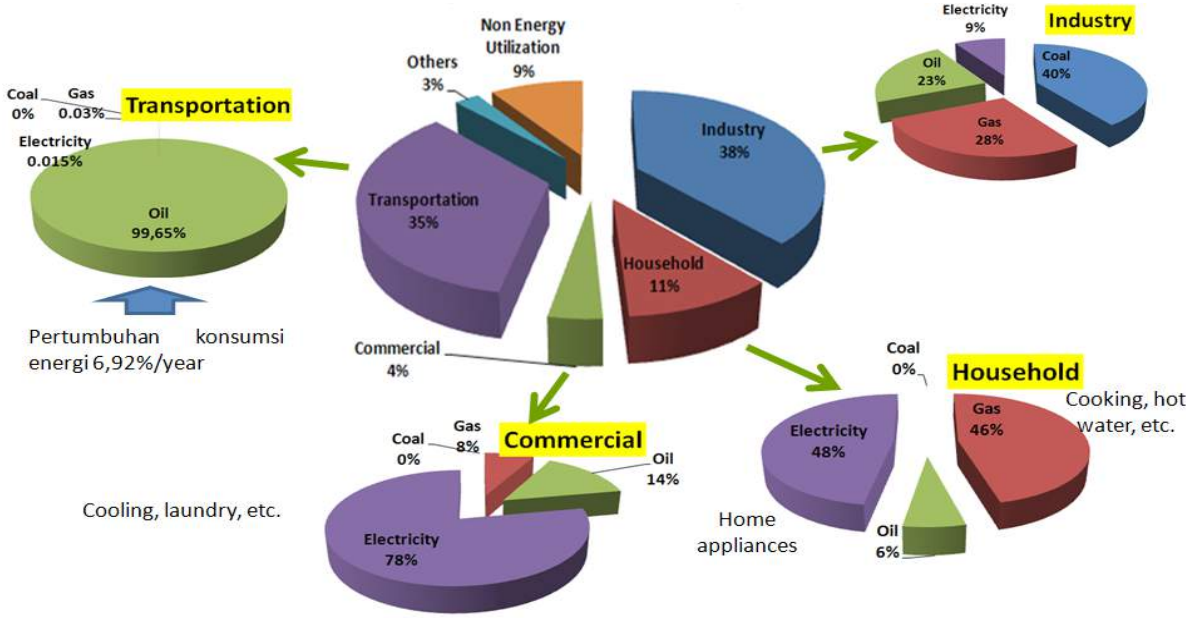
Sumber: Pusdatin ESDM, 2014

sebagaimana pada gambar 1, konsumsi energi Indonesia baik energi primer maupun energi akhir terus meningkat dari tahun ke tahun sejak tahun 2006 sampai dengan 2013 secara berturutan dengan rata-rata 3,2% (oil), 2,0% (gas) dan 13,4% (coal), (Pusdatin ESDM, 2014).

Dalam perkembangannya telah terjadi perubahan paradigma di bidang energi, yang semula dipandang hanya sebagai komoditi yaitu dijual untuk meningkatkan pendapatan yang digunakan untuk pembangunan nasional, kini langsung

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 2
Konsumsi Energi Akhir Menurut Sektor Tahun 2013
(Tidak Termasuk Biomassa Tradisional)



Sumber: British Petroleum (BP), 2017.

dipergunakan sebagai modal pembangunan untuk mencapai kemandirian energi (Harris, 2018). Perubahan paradigma energi tersebut dituangkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Tujuan dari kebijakan ini adalah untuk mengoptimalisasikan pemanfaatan energi guna (1). Pembangunan ekonomi nasional; (2). Penciptaan nilai tambah di dalam negeri; (3). Penyerapan tenaga kerja; (4). Peningkatan porsi gas dan batubara domestic dibanding ekspor; (5). Peningkatan sumber energi insitu (energi baru terbarukan dan PLTU Mulut Tambang); (6). Peningkatan konektivitas energi.

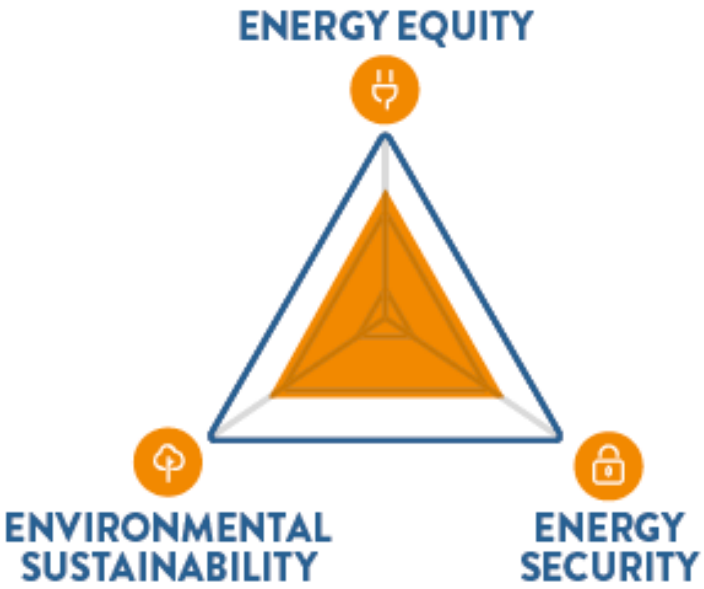
Dengan kebijakan energi ini dimaksudkan dapat mencapai target kontribusi energi terbarukan (ET) ke dalam bauran energi nasional masing-masing sekitar 23% dan 31% pada tahun 2025 dan 2050. Kebijakan ini juga bertujuan untuk menghemat konsumsi energi melalui efisiensi energi (EE) sebanyak 17% dan 39% (dengan skenario *Business as Usual*) pada tahun 2025 dan 2050 (PP No 79 Tahun 2014).

Kebijakan tersebut dianggap sangat ambisius. Diprediksi, konsumsi energi akan terus meningkat tajam seiring dengan pertumbuhan penduduk sekitar 1,49% per tahun dan pertumbuhan ekonomi sekitar 5-7% per tahun (Badan Pusat Statistik, 2014; BPPT, 2016), maka diperkirakan pada tahun 2050, kontribusi energi terbarukan hanya bisa mencapai 13,7% (untuk skenario tinggi), atau 14,9% (untuk skenario rendah). Karena itu, dibutuhkan upaya besar dari semua pihak di dalam negeri, baik dari sisi penyediaan maupun permintaan untuk mencapai tujuan tersebut.

Kita dapat membandingkan dengan status konsumsi energi per sektor dan per jenis energi final, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 (British Petroleum (BP), 2017). Ini menunjukkan bahwa keamanan energi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 3
Tiga Demensi Trilemma Energi



Sumber: World Energy Council, 2017.

Indonesia cukup rentan dan lemah (Mujiyanto and Tiess, 2013),terutama dalam menghadapi trilemmaenergi (Gunningham, 2013).

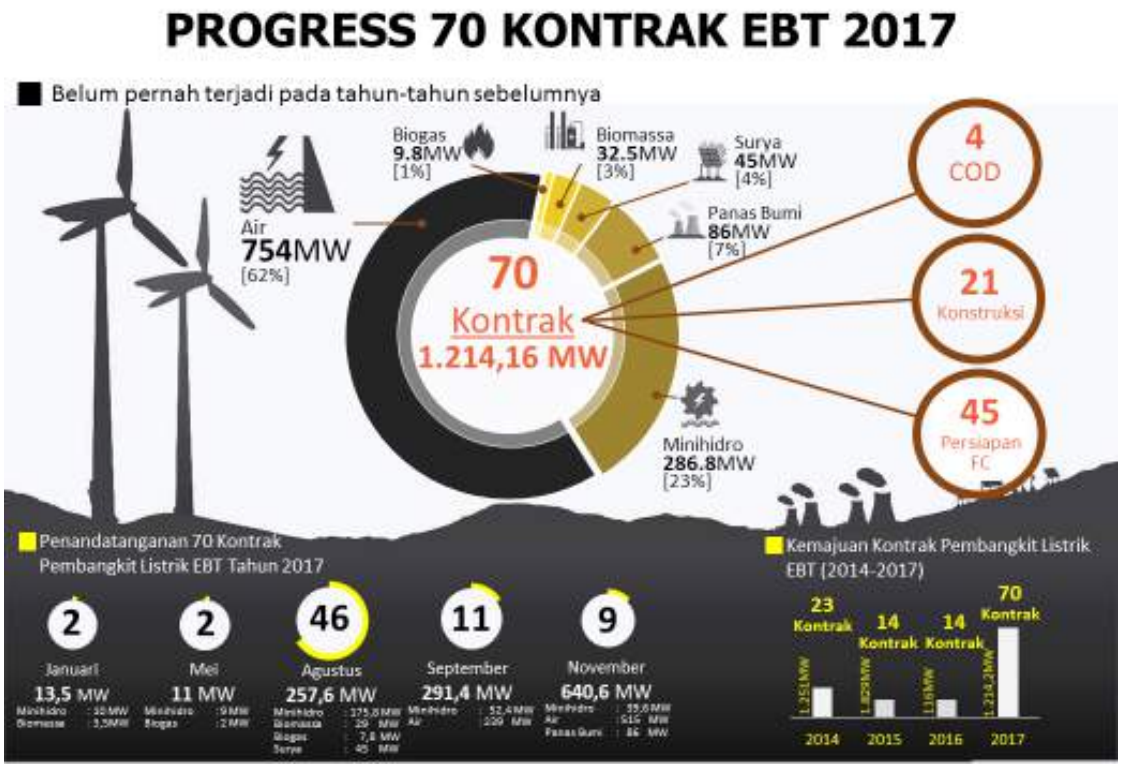
Keberlajutan energi (*energy sustainability*) dari suatu negara, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3, didasarkan pada tiga demensi inti, yaitu (1). *Energy security* (ES) yang merupakan pengelolaan efektif dari pasokan energi primer domestik maupun sumber daya eksternal, infrastruktur energi yang andal, dan kemampuan penyediaan energi untuk memenuhi kebutuhan saat ini maupun di masa yang akan datang; (2). *Energy equity* yang dapat menyediakan akses energi dengan harga terjangkau bagi semua penduduk di negara tersebut; (3). *Environmental sustainability* yang mencakup pencapaian penyediaan dan pemanfaatan energi yang efisien, pengembangan pasokan energi dari energi terbarukan dan sumber energi lain yang rendah karbon. Menyeimbangkan ketiga demensi tersebut menimbulkan trilemma energi dan menjadi dasar kesejahteraan serta daya saing suatu negara. Rentannya dan lemahnya keamanan energi Indonesia dapat dilihat dari letaknya berdasarkan indeks trilemma energi yang menduduki peringkat 75 dari 125 negara (World Energy Council, 2017).

Terlepas dari upaya yang telah dilakukan oleh negara sampai dengan saat ini untuk mengatasi trilemma energi tersebut, dapat dikatakan bahwa capaian di bidang pengembangan energi terbarukan masih sangat rendah. Sebagai gambaran 70 kontrak pengembangan energi baru terbarukan yang ditandatangani oleh para pengembang dengan Perusahaan Listrik Negara pada tahun 2017, pada bulan Juli tahun 2018 sebanyak 45 kontrak di antaranya dikuatirkan gagal karena terkendala oleh tiadanya pendanaan, sebagaimana terlihat pada gambar 4 (Harris, 2018).

Adapun pencapaian di bidang konservasi dan efisiensi energi walaupun belum menggembirakan namun sudah menunjukkan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 4
Pencapaian Di Bidang Energi Baru Dan Terbarukan



Sumber: Harris, 2018.

kecenderungan yang membaik, sebagaimana dapat dilihat pada gambar 5 (Dirjen EBTKE/ KESDM, 2017).

Peningkatan pemanfaatan energi baru dan energi terbarukan diamanatkan oleh Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi kepada Pemerintah dan Pemerintah Daerah sesuai dengan kewenangannya (UU Energi No. 30 Tahun 2007). Adapun amanat untuk melakukan konservasi energi dibebankan kepada semua pengguna energi pada seluruh tahapan pengelolaan energi. Amanat tersebut tertuang dengan jelas pada pasal 25 ayat 1 bahwa konservasi energi menjadi tanggung jawab semua pihak yaitu pemerintah, pemerintah daerah, pengusaha dan masyarakat.

Penjabaran dari tanggung jawab semua pihak untuk melaksanakan Konservasi Energi tertuang dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2009 (Peraturan Pemerintah RI, 2009). Dalam Peraturan tersebut Pemerintah bertanggung jawab terhadap pelaksanaan konservasi energi secara nasional; pemerintah daerah propinsi serta kabupaten/kota bertanggungjawab terhadap pelaksanaan konservasi energi sesuai dengan kewenangannya di daerah masing-masing; pengusaha bertanggung jawab untuk melaksanakan konservasi energi di setiap tahap pelaksanaan usaha dengan menggunakan teknologi yang efisien energi dan/atau menghasilkan produk dan/atau jasa yang hemat energi; adapun masyarakat bertanggung jawab mendukung dan melaksanakan program konservasi energi. Yang dimaksud dengan konservasi energi sebagaimana didefinisikan pada Peraturan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 5
Pencapaian Di Bidang Konservasi Dan Efisiensi Energi



Sumber: Dirjen EBTKE/KESDM, 2017.

Pemerintah Nomor 70 tahun 2009 tersebut adalah upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. Salah satu parameter untuk menilai efisiensi energi nasional adalah intensitas energi yaitu jumlah konsumsi energi per satuan produk domestik bruto (PDB). Semakin rendah intensitas energi, semakin baik efisiensi energinya.Indonesia memiliki intensitas energi yang lebih tinggi di sektor kimia dan petrokimia, sektor industri tekstil dan kulit dibandingkan dengan sektor industri lainnya (Pappas, dkk., 2018).

Pada dasarnya kewenangan Pemerintah di bidang energi antara lain adalah membuat peraturan perundang-undangan, menetapkan kebijakan nasional, menetapkan dan memberlakukan standard dan prosedur. Kewenangan pemerintah propinsi di bidang energi antara lain adalah membuat peraturan daerah propinsi, membina dan mengawasi pengusahaan di lintas kabupaten/kota, serta menetapkan kebijakan pengelolaan di lintas kabupaten/kota. Adapun kewenangan pemerintah kabupaten/kota sama dengan kewenangan pemerintah provinsi namun terbatas di wilayah kabupaten/kota yang bersangkutan (UU Energi No. 30 Tahun 2007).

Selanjutnya, Presiden telah menetapkan Peraturan Presiden nomor 22/2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Rencana ini terdiri dari rencana aksi dari multi sektor untuk mencapai tujuan Kebijakan Energi Nasional (Peraturan Presiden RI, 2017). RUEN perlu dikembangkan lebih lanjut oleh pemerintah daerah sebagai Rencana Umum Energi Daerah (RUED) yang menjadi andalan terhadap keamanan energi nasional.

Keamanan energi merupakan bidang penelitian yang cukup aktif dalam beberapa tahun terakhir, yang dibahas mulai dari konsep definisi, metodologi dan kerangka kerja untuk menentukan dimensi, pemilihan indikator yang ditentukan dengan teknik tertentu (survei, wawancara, dll), dan pengembangan indeks komposit, serta evaluasi dan penilaian sebagai perbandingan oleh suatu atau sekelompok negara, yang bisa dilihat dari berbagai makalah review (Johansson, 2013; Ang, dkk., 2015; Cherp and Jewell, 2011; Månsson, dkk., 2014; Vivoda, 2010).

Karena ambigu dan memungkinkan beberapa interpretasi, topik keamanan energi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

yang sangat multidisiplin ini disarankan untuk dikategorikan menjadi beberapa perspektif, yaitu: geopolitik, ekonomi, kebijakan, dan teknologi, dengan strategi diversifikasi sangat penting untuk memastikan keamanan energi selama proses pasokan secara keseluruhan (Kiriyama dan Kajikawa, 2014).

Sejauh ini, tidak ada kesepakatan yang jelas dan tegas tentang definisi keamanan energi, namun badan energi internasional (*IEA, International Energy Agency*) mendefinisikan bahwa keamanan energi sebagai ketersediaan sumber energi tanpa henti dengan harga terjangkau (International Energy Agency (IEA), 2018). Sebelumnya, konsep keamanan energi suatu negara adalah untuk mengamankan akses terhadap sumber energi fosil, seperti minyak (Bielecki, 2002).

Untuk menjawab tantangan keamanan energi yang semakin kompleks, meningkatnya kebutuhan energi dengan semakin menipisnya cadangan minyak dunia, dan meningkatnya tekanan pada perubahan iklim global, yang mencakup isu-isu seperti; volatilitas harga, rantai pasokan, stabilitas politik kawasan penghasil minyak, kelestarian lingkungan, energi terbarukan (ET), efisiensi energi (EE), dan sebagainya, berbagai model telah ditawarkan dengan menerapkan metode dan teknik tertentu yang melibatkan berbagai indikator, disederhanakan menjadi indeks komposit.

Diskusi tentang keamanan energi tidak terlepas dari topik model energi. Model adalah alat yang mudah digunakan untuk melakukan simulasi, karena tidak praktis atau terlalu mahal dilakukan di dunia nyata. Model keamanan energi, seperti model lainnya, merupakan representasi sederhana dari sistem nyata. Model bervariasi, mulai dari yang sederhana hingga yang kompleks, atau dari yang paling penting hingga yang kurang penting, tergantung dari jenis dan jumlah indikator yang digunakan.

Dengan kata lain, kompleksitas masalah keamanan energi saat ini tidak dapat diantisipasi lagi dengan indikator sederhana dan umum, sehingga diperlukan indikator yang kompleks, dengan tetap fokus pada prioritas dan objektifitas. Idealnya, merancang keamanan energi suatu bangsa harus disesuaikan dengan konteks spesifik di suatu negara, seperti; kondisi khusus, tingkat perkembangan ekonomi, persepsi risiko, serta kekuatan sistem energi dan isu geopolitik (Chester, 2010).

Peluang untuk perbaikan keamanan energi masih terbuka lebar karena masih ada celah dan kebebasan untuk indikator tertentu (Ang, dkk., 2015). Intinya, bagaimana Indonesia memperbaiki kemampuan internal pada pasokan energi dengan mengurangi ketergantungan dari negara lain. Sebenarnya, analisis ilmiah tentang keamanan energi di Indonesia sudah dipublikasikan pertama kali pada tahun 2006 (Indonesia Institute for Energy Economics (IIEE), 2006).

Untuk mendapatkan prediksi yang akurat, maka model keamanan energi Indonesia perlu dikembangkan dengan baik. Ini merupakan suatu tantangan nyata dan juga kesempatan. Secara umum, model yang ada saat ini hanyalah hasil perhitungan, cenderung sebagai analisis prediktif dengan tanpa memberikan gambaran umum dan solusi terperinci tentang apa yang harus dilakukan. Dari hasil pencarian publikasi ilmiah yang membahas tentang Indonesia, baik regional maupun nasional, tidak ada satupun yang secara khusus memberikan analisis lebih rinci mengenai ET dan EE.

Dengan sistem otonomi daerah, maka peran pemerintah daerah sangatlah penting.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membahas bagaimana memperbaiki konsep model keamanan energi Indonesia dengan teknik yang merinci indikator energi bersih, dengan fokus pada peran pemerintah daerah yang mendukung pengembangan ET dan EE. Untuk mencapai tujuan tersebut, ada empat tahap konsep penting yang harus diselesaikan, sebagai berikut.

Pertama, menjelaskan konsep perincian indikator ES. Intinya, bagaimana mengubah fokus dan orientasi dari energi fosil kepada pengembangan ET dan EE pada sektor tertentu (sektor residensial, komersial, industri dan transportasi), dan daerah tertentu (pedesaan / perkotaan, Jawa / non-Jawa seperti Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, Papua, dll.). Sebagai negara berkembang dan kepulauan, yang terbagi atas beberapa propinsi, dengan banyaknya daerah pedesaan di perbatasan yang belum memiliki akses energi yang baik, maka pengembangan keamanan energi Indonesia perlu dimodelkan secara berbeda (Urban, dkk., 2007).

Kedua, menjelaskan hubungan ES dengan detail indicator. Dalam hal ini mengacu kepada Referensi yang dibuat oleh Sovacool and Mukherjee (2011), indikator ET secara inklusif terdapat dalam dimensi utama, yaitu; ketersediaan (*Av* , *availability*), sedangkan EE dalam dimensi pengembangan dan efisiensi teknologi (*Ef* .*efficiency*), melengkapi keterjangkauan (*Af* , *affordability*), kesinambungan (*Su* , sustainability), dan tata kelola (*Go* , governance).

Ketiga, menjelaskan hubungan antara potensi ET / EE di daerah dengan ES: Dalam pengembangan potensi ET dan ES, agar memberikan dampak dan hasil yang jelas dalam keterbatasan alokasi waktu dan sumber daya yang dimiliki. Dalam hal ini, prinsip fokus dan prioritas bisa diaplikasikan, misalnya dalam jenis ET yang mana dan dimana, begitu juga dengan ES untuk sektor yang mana dan dimana. Prinsip dan fokus tersebut juga dilakukan untuk menjelaskan hubungan EE dan ES.

Keempat, menjelaskan peranan pemerintah daerah dalam ES: Perlu memberikan gambaran, bagaimana seharusnya pemerintah daerah bersikap dan bertindak sesuai dengan payung hukum yang sudah disediakan oleh pemerintah pusat, dalam menunjang ES secara nasional dari konsep ES secara lokal.

PEMBAHASAN

Konsep Perincian Indikator ET dan EE

Menurut konsep asli penelitian ini, umumnya untuk ET dan EE, keduanya dibuat secara lebih rinci dengan notasi berdasarkan; Sektor (perumahan = R, komersial = C, transportasi = T, industri = I), dan daerah (Jawa = J, dari luar Jawa = OJ, meliputi pulau Sumatera (OJS), Kalimantan (OJK), Sulawesi (OJC), Maluku (OJM), Papua (OJP), dll). Kemudian, khusus untuk ET, dapat dibagi menjadi: Surya (S) dan non-Surya (NS), yang dapat dipisahkan untuk Thermal (T) dan Listrik /Electricity (E).

Sebagai contoh, indikator yang menggambarkan ET di sektor industri memiliki notasi IET, atau lebih detail untuk panas matahari *(thermal)* di Pulau Sumatera (luar Jawa) memiliki notasi OJSTIET. Adapun untuk EE dapat dibagi menjadi: *Process* = *P* , *Utility* = *U* , *Office* = *O* . Dengan demikian dapat dicontohkan, upaya EE dalam proses pendinginan (*cooling,* C) di industri yang berada di Pulau Jawa memiliki notasi; JCPIEE. Tabel 1 menunjukkan konsep umum untuk merinci ET dan EE

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1
Konsep Umum Merinci Untuk Semua Sektor

Region / Pulau / Propinsi			**Sektor**			
			Industry	**Commercial**	**Residential**	**Transport**
Jawa	Jawa	Jabar & Banten				
		Jateng				
		Jatim				
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh	**Energi Terbarukan (Renewable Energy)**		**Efisiensi Energi (Energy Efficiency)**	
		Sumut	**Surya** / **Non Surya**		Process / **Utility** / **Office**	
		Sumbr & Riau	Photovoltaic, Solar Thermal, Hydro, Wind, Geothermal, Ocean, Biomass, Others, Cooling, Heating, Machine, Boiler, Compressor, Chiller, Electronics, Cooling, Lighting			
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lampung				
	Bali / NTT	Bali				
		NT				
	Kalimantan	Kalbar				
		Kalut, Kalteng, Kaltim				
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo	**Electricity / Thermal**		**Electricity / Oil / Gas / Coal**	
		Sulsel, Sultra				
	Maluku	Maluku & Maluku Utara				
	Papua	Papua & Papua Barat				
Total 34 propinsi dan 514 kota			Total 24 divisi industri manufaktur			

Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS), 2014; United Nation (UN), 2008.

untuk semua sektor; industri, komersial, perumahan, dan transportasi.

Selain mendukung keamanan energi nasional, pengembangan ET oleh pemerintah daerah dapat meningkatkan rasio elektrifikasi, mengatasi krisis listrik yang banyak terjadi di daerah, pembangunan kawasan dengan pendekatan pusat ekonomi, sehingga dapat meningkatkan pendapatan daerah (Mary and Armawi, 2017). Didorong oleh berbagai kebutuhan seperti untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri, kesadaran akan isu lingkungan dan menciptakan lapangan kerja, banyak pihak telah memulai pengembangan ET untuk memenuhi kebutuhan tersebut (Martono, 2016). Namun, cakupan pembangunan yang lebih luas yang dihambat oleh beberapa

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 2
Konsep Umum Merinci Dari Sektor Ke Energi Terbarukan (*renewable energy*)

Region / Pulau / Propinsi			Sektor								
			Industrial		Commercial		Residential		Transportation		
			Energi Terbarukan								
			Surya		Non Surya						
			Photovoltaic	Solar Thermal	Hydro	Wind	Geothermal	Ocean	Biomass	Other	
Jawa	Jawa	Jabar & Banten	Electricity & Thermal								
		Jateng									
		Jatim									
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh									
		Sumut									
		Sumbr & Riau									
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lampung									
	Bali / NTT	Bali									
		NT									
	Kalimantan	Kalbar									
		Kalut, Kalteng, Kaltim									
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo									
		Sulsel, Sultra									
	Maluku	Maluku & Maluku Utara									
	Papua	Papua & Papua Barat									
Total 34 propinsi dan 514 kota			Total 24 divisi industri manufaktur								

Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS), 2014; United Nation (UN), 2008.

kendala, sepertinya kurang mendapat dukungan pemerintah (Buaran, dkk., 2016).

Konsep perincian indikator yang lebih jelas lagi dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3.

Hubungan Perincian ET Dan ES Terhadap ES

Keamanan energi (ES = *energy security*), untuk semua provinsi dan sektor, dapat dinyatakan secara sederhana dengan:

$$ES = f\left(Av + Ef + Af + Su + Go\right) \quad (1)$$

dimana, Av, Ef, Af, Su, and Go adalah indikator dari *availability* (ketersediaan), *efficiency* (efisiensi), *affordability* (keterjangkauan), *sustainalility* (kesinambungan), dan *governance* (tata kelola). Indikator Av adalah fungsi dari energi fossil (*fossil energy*, FE) dan energi terbarukan (*renewable energy*), yang dinyatakan dengan:

$$Av = f\left(FE + ET\right) \quad (2)$$

Peran FE saat ini yang 92,3% (Mulyana, 2017) seharusnya dikurangi dengan memperbanyak

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 3
Konsep Umum Merinci Dari Sektor Keefisiensi Energi (*energy efficiency*)

			Sektor								
			Industrial			Commercial		Residential		Transportation	
			Energi Efficiency								
			Process			Utility			Office		
Region / Pulau / Propinsi			Cooling	Heating	Machine	Cooling	Boiler	Chiller	Apliances	Cooling	Lighting
Jawa	Jawa	Jabar & Banten	Electricity, Oil, Gas, Coal								
		Jateng									
		Jatim									
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh									
		Sumut									
		Sumbr & Riau									
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lampung									
	Bali / NTT	Bali									
		NT									
	Kalimantan	Kalbar									
		Kalut, Kalteng, Kaltim									
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo									
		Sulsel, Sultra									
	Maluku	Maluku & Maluku Utara									
	Papua	Papua & Papua Barat									
Total 34 propinsi dan 514 kota					Total 24 divisi industri manufaktur						

Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS), 2014; United Nation (UN), 2008.

hasil dari ETdan EE. Sebagai pengguna energi, yang bertanggung jawab untuk ketersediaan dari energi terbarukan, maka ET dapat dinyatakan dengan:

$$ET = f(S + NS)) \quad (3)$$

dimana, S and NS adalah Surya and Non-Surya. Pada tahap ini, S dan NS hanya untuk menyederhanakannya, tanpa mengabaikan peran dari sumber energi terbarukan lainnya, yang tentunya masih dapat dikembangkan secara lebih rinci pada tahap penelitian selanjutnya.

Sedangkan Ef dapat dinyatakan dengan:

$$Ef = f(EE) \quad (4)$$

dimana, EE adalah efisiensi energi, yang dapat dinyatakan untuk di setiap sektor juga dengan:

$$EE = f(\mathrm{P} + U + O) \quad (5)$$

Dalam hal ini, P , U , O adalah; *process, utility, and office*, sebagaimana yang sudah dijelaskan sebelumnya. Mengembangkan efisiensi energi di daerah ini akan memberi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 4
Total Potensi Energi Terbarukan Menurut Wilayah / Provinsi

Region / Propinsi			Total Potensi	
			MW	%
Jawa	Jawa	Jabar & Banten	42.995,8	24,7%
		Jateng		
		Jatim		
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh	5.062,0	1.538,0
		Sumut		
		Sumbar& Riau		
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lamp.		
	Bali / Nusa Teng.	Bali	15.663,8	9,0%
		Nusa Tenggara		
	Kalimantan	Kalbar	23.670,2	13,6%
		Kalut, Kalteng, Kaltim		
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo	22.754,6	13,1%
		Sulut, Sultra		
	Maluku	Maluku &Malut	5.118,6	2,9%
	Papua	Papua & Papua Barat	24.294,6	14,0%
Total			173.731,4	100%
			100%	

Sumber: Hutapea, 2017.

penghematan dalam konsumsi energi, dalam hal ini tentu akan mengurangi *FE* .

Hubungan Pengembangan Potensi ET Dan EE Di Daerah Terhadap ES

Seperti ditunjukkan pada tabel 4, masing-masing daerah memiliki potensi energi terbarukan yang tidak sama, terutama untuk panas bumi, pembangkit listrik tenaga air besar maupun kecil, dan angin. Dari ketiga tipe ET tersebut, potensi ET dari yang terbesar ke yang terkecil terdapat di; Jawa (24,7%), Sumatera (22,6%), Papua (14,0%), Kalimantan (13,6%), Sulawesi (13,1%), Bali (9%), dan Maluku (2,9%). Potensi tenaga air melebihi 50% dimana sekitar 23% di Papua, diikuti oleh potensi angin (33,8%), dan panas bumi (15,7%).

Dari pemetaan potensi energi terbarukan, dengan memperhitungkan bahwa (1). Lebih dari 60% penduduk Indonesia berada di Pulau Jawa (Badan Pusat Statistik (BPS), 2014), (2). Hampir 80% kapasitas listrik terpasang terdapat di Jawa-Bali (Perusahaan Listrik Negara (PLN), 2013), dan (3). Sumber energi fosil seperti batubara yang berasal dari luar Jawa, maka pengembangan energi berbasis energi terbarukan harus lebih dipercepat dan didorong di Jawa.

Perhitungan ini tanpa bermaksud mengenyampingkan pentingnya daerah di luar Jawa. Artinya, setiap pemerintah daerah harus berkompetisi dalam mengembangkan potensi energi terbarukan di daerahnya masing-masing.

Berdasarkan penyajian Direktur Konservasi Energi, pada tanggal 15 September 2017, di *IndoEBTKE ConEx 2017* (Dirjen EBTKE/KESDM, 2017) sebagai terlihat pada tabel 5, ada 244 perusahaan yang diidentifikasi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

wajib menerapkan manajemen energi dan melaporkan konsumsi energinya sebagaimana diatur oleh Pemerintah (Peraturan Pemerintah RI, 2009). Perusahaan-perusahaan tersebut yang mengkonsumsi sekitar 6.000 TOE (*ton of oil equivalent*, setara ton minyak), kebanyakan berasal dari beberapa jenis industri, dengan hanya 1 perusahaan saja yang bergerak di bidang konstruksi.

Sebagaimana yang terlihat pada tabel 6, pemerintah juga menggambarkan distribusi 11 provinsi yang merupakan pengguna energi terbesar, dengan konsumsi sekitar 91% dari konsumsi energi nasional (Dirjen EBTKE/ KESDM, 2017). Mereka menjadi target kampanye pemerintah untuk mengurangi penggunaan energi sebesar 10%. Perlu dicatat, bahwa efisiensi energi yang tinggi terkait dengan faktor produktivitas total yang tinggi pula di sektor manufaktur, seperti; tekstil, pakaian, makanan, kayu dan furnitur, agroindustri, dan bahan kimia (Cantore,dkk., 2016).

Penjelasan lebih rinci tentang potensi mikro hydro, panas bumi, dan energi angina di berbagai wilayah atau provinsi di Indonesia dapat dilihat pada tabel 7, tabel 8, dan tabel 9.

Melalui program Konservasi Energi, Kementerian ESDM menerapkan beberapa program tambahan dengan merangkai Standar dan membubuhi Label (S/L) Solusi Energi dan label Standar Kinerja Energi Minimum (MEPS) untuk peralatanlampu CFL, AC, Kulkas, Kipas Angin, Penanak Nasi, Motor Listrik dan Ballast Elektronik, serta menyusun kode bangunan (ESDM, 2016).

Agar memiliki skala besar dan dampak yang langgeng, kebijakan EE harus melibatkan semua sektor, dengan lebih fokus pada sektor swasta (Geller, dkk,. 2006). Contohnya, beralih dari industri padat energi

Tabel 5
Identified Companies For Energy Management

No.	Manufacture Industry Division	Companies
1	Textile industry	40
2	Iron & steel industry	34
3	Manufacturing industry	30
4	Pulp & paper industry	20
5	Power plant industry	20
6	Agro industry	13
7	Chemical industry	11
8	Petrochemical industry	11
9	Food industry	11
10	Beverage industry	4
11	Fertilizer industry	8
12	Cement industry	8
13	Motor vehicle industry	8
14	Coal & minerals mining industry	8
15	Oil & gas industry	10
16	Other industries (cigarettes, etc.)	7
17	Construction building industry	1
	Total perusahaan	**244**

Sumber: Finahari, 2017.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 6
Propinsi Yang Ditargetkan Untuk 10% Energy Consumption Cutting

No.	Propinsi	Konsumsi dalam GWh/Year	
		2014	2015
1	Banten	51.277	51.257
2	Jawa Barat		
3	DKI Jakarta & Tangerang	41.269	41.328
4	Jawa Timur	30.523	30.824
5	Jawa Tengah	19.631	22.892
6	Sumatera Utara	8.271	8.703
7	Sumatera Selatan	6.199	6.606
8	Sulawesi Selatan	5.247	5.441
9	Bali	4.335	4.594
10	Riau	3.971	4.241
11	Lampung	3.392	3.570
	Total	**174.115**	**179.456**

Sumber: Finahari, 2017.

Tabel 7
Potensi Mikro Hydro Menurut Wilayah / Provinsi

Region / Propinsi			(MW)	
			Besar	Mini/Mikro
Jawa	Jawa	Jabar & Banten	2.861,0	0,7
		Jateng	0,8	1.049,0
		Jatim	0,5	1.142,0
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh	5.062,0	1.538,0
		Sumut	3.808,0	1.204,0
		Sumbar& Riau	3.607,0	1.637,0
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lamp.	3.102,0	1.355,0
	Bali / Nusa Teng.	Bali Nusa Tenggara	0,6	0,1
	Kalimantan	Kalbar	4.737,0	0,1
		Kalut, Kalteng, Kaltim	16.844,0	8,0
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo	3.967,0	0,6
		Sulut, Sultra	6.340,0	1.070,0
	Maluku	Maluku &Malut	0,4	0,2
	Papua	Papua & Papua Barat	22.371,0	0,6
	Total		98.634,1	0.005,4
			45,5%	5,2%

Sumber: Hutapea, 2017.

(pertambangan, logam dasar, bahan kimia, petrokimia, dll) ke manufaktur, layanan intensif, dan sebagainya. Langkah selanjutnya adalah proses pembandingan EE, terutama ke provinsi lain atau negara maju. seperti Jepang, Jerman, dll (Honma dan Hu, 2014).

Konsumsi energi terbarukan memiliki dampak positif yang signifikan terhadap

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 8
Potensi Panas Bumi Menurut Wilayah / Provinsi

	Region / Propinsi		MWe
Jawa	Jawa	Jabar & Banten	9.017,0
		Jateng	
		Jatim	
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh	11.772,0
		Sumut	
		Sumbar& Riau	
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lamp.	
	Bali / Nusa Teng.	Bali	354,0
		Nusa Tenggara	1.497,0
	Kalimantan	Kalbar	182,0
		Kalut, Kalteng, Kaltim	
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo	2.997,0
		Sulut, Sultra	
	Maluku	Maluku &Malut	1.426,0
	Papua	Papua & Papua Barat	75,0
	Total		27.320,0
			15,7%

Sumber: Hutapea, 2017.

Tabel 9
Potensi Energi Angin Menurut Wilayah / Provinsi

	Region / Propinsi		MW
Jawa	Jawa	Jabar & Banten	8.793
		Jateng	6292
		Jatim	7907
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh	0,894
		Sumut	0,356
		Sumbar& Riau	1372
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lamp.	4.775
	Bali / Nusa Teng.	Bali	13.812
		Nusa Tenggara	
	Kalimantan	Kalbar	0,554
		Kalut, Kalteng, Kaltim	1.899
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo	2.259
		Sulut, Sultra	6.121
	Maluku	Maluku &Malut	3.692
	Papua	Papua & Papua Barat	1.848
	Total		58.771,9
			33,8%

Sumber: (Hutapea, 2017)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pertumbuhan ekonomi dalam jangka panjang, yang mencerminkan penerapan terkait dengan penciptaan lapangan kerja jangka panjang (Bhattacharya, dkk., 2016), dan juga arus masuk positif investasi asing langsung (FDI, *foreign direct investment*) (Reddy, dkk., 2016). Penciptaan lapangan kerja dan masuknya investasi juga terjadi di upaya peningatan EE.

Sebagai referensi, dari program efisiensi energi di negara bagian California, diprediksi lebih dari 400 ribu pekerjaan langsung dan tidak langsung dapat diciptakan pada tahun 2020 (Roland-Holst, 2008). Dalam hal pengembangan efisiensi energi, sebaiknya juga dipercepat dan didorong di Jawa karena energi nasional banyak dikonsumsi di Pulau Jawa (Yandri, dkk., 2017). Akhirnya, dengan memprioritaskan pengembangan energi terbarukan dan efisiensi energi diharapkan kemandirian dan keamanan energi lokal maupun nasional akan tercapai.

Peranan Pemerintah Daerah untuk ET dan EE

Upaya pemanfaatan energi terbarukan dan efisiensi energi telah diamanatkan dalam Undang-Undang (UU Energi No. 30 Tahun 2007). Selanjutnya, pemerintah daerah sebaiknya menyesuaikan kebijakannya pemerintah yang disesuaikan dengan profil regionalnya. Pemerintah daerah memiliki tanggung jawab untuk mengembangkan program energi yang dapat ditindaklanjuti ke dalam pelaksanaannya (Rijanto, 2011). Namun, sebagai akibat dari sistem pemerintahan otonom, banyak pemerintah daerah belum mengambil langkah maju untuk mendukung kebijakan nasional dan bekerja secara independen. Dapat dikatakan bahwa langkah untuk menunjang konsep ketahanan energi nasional dengan mengembangkan energi alternatif ini masih belum ada.

Konsep model keamanan energi melalui perincian indikator energi terbarukan dan energi efisiensi menawarkan atas masalah yang dihadapi oleh Pemerintah Daerah dalam menerapkan pengembangan energi terbarukan, sebagaimana diamanatkan oleh Undang-Undang No. 30 tahun 2007 tentang Energi dan semua peraturan derivatifnya. Indikator detail secara otomatis memberikan indikator kinerja energi utama (KEPI, *key energy performance indicator*) dengan memanfaatkan indikator notasi yang lebih rinci untuk ET dan EE, serta indikator penyusun lainnya.

Pengertian KPI secara umum antara lain; ukuran perilaku sistem dalam hal atribut yang bermakna dan jelas; ukuran yang merangkum informasi yang relevan dengan fenomena tertentu, atau ke perwakilan yang wajar untuk mengukur; parameter, atau nilai yang berasal dari parameter, yang menunjuk / menyediakan informasi tentang / menjelaskan fenomena / lingkungan / area dengan signifikansi yang melampaui batas yang secara langsung terkait dengan parameter (properti yang diukur atau diamati) nilai; dan; variabel yang menggambarkan sistem, di mana variabel adalah representasi operasional dari suatu atribut (kualitas, karakteristik, properti) dari sistem dan ini mewakili citra kita tentang atribut yang didefinisikan dalam hal pengukuran spesifik atau prosedur observasi (Perotto, dkk., 2008).

Di sini, peranan perencanaan strategis untuk energi sangatlah penting. Untuk memulai dengan mempertimbangkan bagaimana informasi tersebut sistem akan mendukung tujuan utama dalam rencana manajemen energi. Jika tujuan ini adalah ekspresi terbaik dari apa yang diharapkan organisasi untuk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 6
Contoh Konsep Sistem *Dashboard* Untuk Kemudahan Pemantauan Dan Tindak Lanjut



Sumber: Yandri, dkk., 2017.

dicapai dalam mengelola energinya, maka langkah pertama adalah mengubah sasaran tersebut menjadi indikator kinerja utama (KPI) yang dapat diukur dan dilacak.

Dalam hal ini, kita akan mengetahui secara lebih rinci kontribusi ET atau EE di masing-masing sektor, atau di suatu wilayah atau pulau terhadap indikator dari PDB. Jadi bisa lebih jelas melihat peta jalan ET dan EE, serta isu dan tindakan yang akan diambil.

Model keamanan energi yang terperinci ini dapat disederhanakan ke dalam indeks komposit, yang bisa ditampilkan di *dashboard* agar mudah dipahami, dilacak dan ditindak-lanjuti. Dengan berkembangnya teknologi komunikasi saat ini, tentu akan semakin mudah diakses dari komputer dan telepon genggam oleh pemangku kepentingan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.

Secara umum, konsep ini dapat menganalisis keamanan energi dengan kondisi energi yang kompleks secara lokal /nasional, dengan memusatkan perhatian pada kontribusi ET dan EE untuk semua sektor. Untuk itu, pemerintah daerah perlu melakukan beberapa hal berikut.

Pertama, memanfaatkan indikator notasi rinci ET dan EE sebagai indikator kinerja energi utama (KEPI), untuk mengidentifikasi masalah yang lebih jelas terkait dengan keamanan energi, di mana dan tindakan apa yang akan diambil segera. Indikator notasi rinci harus dilakukan dengan benar.

Kedua, melacak kinerja keamanan energi tentang bagaimana memantau, mengendalikan, dan mengelola masalah energi. Ini bisa memberi gambaran kemajuan keamanan energi lokal /nasional dari waktu ke waktu, selama implementasi dapat melakukan tindakan korektif, inovasi, dan akselerasi.

Ketiga, mengembangkan kebijakan ET dan EE yang komprehensif untuk perencanaan jangka panjang keamanan energi lokal/ nasional, karena aktifitas kebijakan energi telah didefinisikan secara jelas dalam model menjadi indikator untuk dinilai dengan mudah dan cepat. Pemerintah daerah diharapkan lebih selektif dan berhati-hati dalam mengeluarkan kebijakan sektoral (perumahan, industri, komersial, dan transportasi).

Keempat, menguji dan membuktikan beberapa gagasan atau saran sebelum kebijakan diambil dengan menggunakan simulasi model keamanan energi. Meningkatkan keamanan energi nasional ke depan, Indonesia harus mempertimbangkan untuk memperketat subsidi energi daripada hanya untuk meningkatkan produksi energy (Prambudia and Nakano, 2012).

Berdasarkan apa yang telah dibahas, untuk menjamin keamanan energi, Indonesia harus lebih serius dan fokus pada pengembangan energi terbarukan dan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

efisiensi energi. Konsep merinci ET dan EE, untuk memperbaiki model keamanan energi saat ini, sejalan dengan upaya untuk memperkuat keamanan energi. Peranan pemerintah daerah sangat penting untuk mengejar perkembangan ET dan EE dalam mencapai tujuan tersebut, sebagai kontribusi pemerintah daerah dalam menerapkan UU Energi. Artinya, pemerintah daerah harus mempertimbangkan keamanan energi lokal / regional. Dalam menyusun rencana strategis dan rencana kerja, setiap pemerintah daerah, provinsi maupun kabupaten/kota, harus mengacu kepada RUEN. Dengan kata lain, penyusunan rencana umum energi lokal / regional (RUED) mengacu pada semua yang telah digariskan dalam Peraturan Presiden.

Dengan indikator energi terbarukan dan efisiensi energi yang lebih terperinci, maka dapat membantu pemerintah daerah dalam mengevaluasi kinerja masing-masing sektor dalam mencapai target energi nasional yang telah ditetapkan.Konsep ini bisa dikembangkan lebih lanjut, baik secara teknis pengembangan / perincian indikator ET dan EE yang lebih spesifik untuk suatu daerah, maupun teknis pemodelan yang disesuaikan dengan kemudahan aplikasi kemajuan teknologi informasi saat ini.

Selanjutnya, tugas pemerintah pusat untuk membuat suatu aturan main dalam memberikan apresiasi terhadap pencapaian atau kontribusi ES dari masing-masing pemerintah daerah tersebut, agar timbul suatu dinamika kompetisi yang sehat dari masing-masing pemerintah daerah.

SIMPULAN

Berdasarkan pemaparan di atas, maka dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut.

Pertama, pengembangan ET dan EE merupakan suatu keniscayaan karena telah diamanatkan oleh Undang-Undang.

Kedua, konsep perincian indikator ES dengan indikator utama; *availability* (ketersediaan), *efficiency* (efisiensi), *affordability* (keterjangkauan), *sustainalility* (kesinambungan), dan *governance,* perlu melibatkan potensi di semua sektor, yaitu residensial, komersial, industrial, dan transportasi, yang juga mencakup perincian di semua jenis ET (surya dan non surya) dan EE di semua sektor.

Ketiga, kontribusi ET dan EE terhadap ES dapat dilihat dari hubungan empiris terhadap 5 kategori indikator utama tsb.

Keempat, untuk mendapatkan hasil yang jelas dan terukur, maka pengembangan potensi ET dan EE harus dengan prinsip fokus dan prioritas, agar potensi ET dan EE di daerah bisa terwujud secara optimal dan terukur.

Kelima, dengan perincian indikator ES, maka akan mempermudah pemerintah daerah dalam berkontribusi terhadap ES secara nasional melalui pengembangan ET dan EE di daerahnya masing-masing.

DAFTAR PUSTAKA

Ang, B.W., Choong, W.L. and Ng, T.S., 2015. Energy security: Definitions, dimensions and indexes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [online] 42, pp.1077–1093. Available at: <*http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032114008892*>.

Badan Pusat Statistik (BPS), 2014. Statistical Yearbook of Indonesia. [online] Jakarta. Available at: <*http://www.bps.go.id*>.

Bhattacharya, M., Paramati, S.R., Ozturk, I. and Bhattacharya, S., 2016. The effect of renewable energy consumption on

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

economic growth : Evidence from top 38 countries. APPLIED ENERGY, [online] 162(November 2015), pp.733–741. Available at: <http://*dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.104*>.

Bielecki, J., 2002. Energy security: Is the wolf at the door? *Quarterly Review of Economics and Finance*, 42(2), pp.235–250.

British Petroleum (BP), 2017. BP Statistical Review of World Energy 2017. [online] Available at: <*http://www.bp.com*>.

Buaran, B., Armawi, A. and Martono, E., 2016. Peran Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dalam Mewujudkan Ketahanan Nasional. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 22(3, 27 Desember 2016), pp.241–154.

Cantore, N., Calì, M. and Willem, D., 2016. Does energy ef fi ciency improve technological change and economic growth in developing countries ? Energy Policy, [online] 92, pp.279–285. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.040*>.

Cherp, A. and Jewell, J., 2011. The three perspectives on energy security: Intellectual history, disciplinary roots and the potential for integration. Current Opinion in Environmental Sustainability, [online] 3(4), pp.202–212. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2011.07.001*>.

Chester, L., 2010. Conceptualising energy security and making explicit its polysemic nature.

Energy Policy, [online] 38(2), pp.887–895. Available at: <http://*dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.039*>.

Dirjen EBTKE/KESDM, 2017. *Kebijakan dan program konservasi energi*.

ESDM, K., 2016. Program Strategis EBTKE dan Ketenagalistrikan. [online] Journal Energi, Available at: <*www.esdm.go.id*>.

Finahari, I.N., 2017. *Program Konservasi Energi*. Jakarta.

Geller, H., Harrington, P. and Rosenfeld, A.H., 2006. *Polices for increasing energy efficiency : Thirty years of experience in OECD countries*. 34, pp.556–573.

Gunningham, N., 2013. Managing the energy trilemma: The case of Indonesia. Energy

Policy, [online] 54, pp.184–193. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.018*>.

Harris, 2018. *Pengelolaan Energi Baru Dan Energi Terbarukan Di Indonesia*.

Honma, S. and Hu, J.L., 2014. Industry-level total-factor energy efficiency in developed countries: A Japan-centered analysis. Applied Energy, [online] 119, pp.67–78. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.049*>.

Hutapea, M., 2017. Policy, Target, and Breakthrough in Wind to Support National Energy

Policy and Paris Agreement. [online] Available at: <*http://www.indoebtkeconex.com/downloadmaterials/#1505419087689-c65b669d-201d*>.

Indonesia Institute for Energy Economics (IIEE), 2006. Surviving Energy Challenges.

Indonesia Energy Economic Review, [online] 1. Available at: <*http://iiee.or.id/journal-ieer/*>.

International Energy Agency (IEA), 2018. Energy security. [online] Available at: <http://www.iea.org/topics/energysecurity/

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

subtopics/whatisenergysecurity/> [Accessed 22 Apr. 2018].

Johansson, B., 2013. A broadened typology on energy and security. *Energy,* [online] 53, pp.199–205. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.012*>.

Kiriyama, E. and Kajikawa, Y., 2014. A multilayered analysis of energy security research and the energy supply process. *A*pplied Energy, [online] 123, pp.415–423. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.01.026*>.

Månsson, A., Johansson, B. and Nilsson, L.J., 2014. Assessing energy security: An overview of commonly used methodologies. *Energy*, 73, pp.1–14.

Martono, E. and Prasetya, A., 2016. Peran Pemuda dalam Pengembangan Eduwisata Energi Terbarukan dan Implikasinya terhadap Pengembangan Ekonomi *Jurnal Ketahanan Nasional*, 22(3, 27 Desember 2016), pp.285–305.

Mary, R.T., Armawi, A. and Hadna, A.H., 2017. Panas Bumi Sebagai Harta Karun Untuk Menuju Ketahanan Energi Ketergantungan Indonesia terhadap energi terhadap fluktuasi ketersediaan dan harga. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 23(2, Agustus 2017), pp.93–113.

Mujiyanto, S. and Tiess, G., 2013. Secure energy supply in 2025: Indonesia's need for an energy policy strategy. Energy Policy, [online] 61(5), pp.31–41. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.119*>.

Mulyana, R., 2017. Pengembangan EBTKE. [online] Jakarta. Available at: <h*ttp://www.indoebtkeconex.com/downloadmaterials/#1494643000700-49414ff0-a95f*>.

Pappas, D., Chalvatzis, K.J., Guan, D. and Ioannidis, A., 2018. Energy and carbon intensity: A study on the cross-country industrial shift from China to India and SE Asia. Applied Energy, [online] 225(April), pp.183–194. Available at: <*https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.132*>.

Perotto, E., Canziani, R., Marchesi, R. and Butelli, P., 2008. Environmental performance, indicators and measurement uncertainty in EMS context: a case study. *Journal of Cleaner Production*, 16(4), pp.517–530.

Perusahaan Listrik Negara (PLN), 2013. Statistik PLN. [online] Available at: <http://www.pln.co.id>.

Pusdatin ESDM, 2014. Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2014. [online] Available at: <*http://www.esdm.go.id*>.

Reddy, S., Ummalla, M. and Apergis, N., 2016. The effect of foreign direct investment and stock market growth on clean energy use across a panel of emerging market economies. Energy Economics, [online] 56, pp.29–41. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2016.02.008*>.

Rijanto, M.W. and Armawi, A., 2011. Peran pemda dan masyarakat dalam pengembangan energi alternatif.pdf. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 35–48(XV1 (3)).

Roland-holst, D., 2008. Energy Efficiency , Innovation , and Job Creation in California. [online] Berkeley. Available at: <*https://escholarship.org/content/qt7qz3b977/qt7qz3b977.pdf*>.

Sovacool, B.K. and Mukherjee, I., 2011. Conceptualizing and measuring energy

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

security: A synthesized approach. Energy, [online] 36(8), pp.5343–5355. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.043*>.

United Nation (UN), 2008. *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC), Rev.4*.

Urban, F., Benders, R.M.J. and Moll, H.C., 2007. Modelling energy systems for developing countries. *Energy Policy*, 35(6), pp.3473–3482.

Vivoda, V., 2010. Evaluating energy security in the Asia-Pacific region: A novel methodological approach. Energy Policy, [online] 38(9), pp.5258–5263. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.028*>.

World Energy Council, 2017. World Energy Trilemma Index. [online] p.145. Available at: <*https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/11/Energy-Trilemma-Index-2017-Report.pdf*>.

Yandri, E., Ariati, R. and Ibrahim, R., 2017. Improving Energy Security Model through Detailing Renewable and Energy Efficiency Indicators : A Concept for Manufacture Industry. In: *SIGER 2017*. [online] Universitas Lampung, p.9. Available at: <*http://siger.unila.ac.id/publications/*>.

Peraturan Perundangan

Undang-Undang RI Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi

Peraturan Presiden RI Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional

Peraturan Pemerintah RI Nomor 70 Tahun 2009 Tentang Konservasi Energi..

Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Volume 11, No. 1, 2018

ISSN: 1907-9931 (print), 2476-9991 (online)

Mikroalga: Sumber Energi Terbarukan Masa Depan

MICROALGAE: FUTURE RENEWABLE ENERGY SOURCES

Sarman Oktovianus Gultom

Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Papua
Jl. Gunung Salju Amban, Manokwari, 98314, Indonesia

Corresponding author e-mail: sarmangultom82@gmail.com

Submitted: 24 Maret 2018 / Revised: 02 November 2018 / Accepted: 02 November 2018

http://doi.org/10.21107/jk.v11i1.3802

ABSTRACT

The discovery of renewable fuel sources is critical to address the problem of limited fossil fuel energy in meeting the increasing energy demand. In addition, the use of renewable fuels is expected to reduce environmental pollution that has been sourced from CO_2 emissions of fossil fuel combustion. One of the future renewable alternative fuel sources is the microalgae. Development of microalgae as a renewable energy source continues to be done because it has advantages over other energy sources, such as high biomass production rates, not competing with foodstuffs, and does not require extensive land for growth. This Thechnilcal review is directed to provide information on the development and utilization of microalgae as a renewable alternative energy source, including harvesting technologies and microalgae convertion into fuel.

Keywords: *microalgae, biodiesel, cultivation, energy*

ABSTRAK

Penemuan sumber bahan bakar terbarukan sangat penting untuk menjawab permasalahan keterbatasan energi bahan bakar berbasis fosil dalam memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat. Selain itu, penggunaan bahan bakar terbarukan diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang selama ini bersumber dari emisi gas CO_2 hasil pembakaran bahan bakar fosil. Salah satu sumber bahan bakar alternatif terbarukan masa depan adalah mikroalga. Pengembangan mikroalga sebagai sumber energi terbarukan terus dilakukan karena memiliki keuntungan dibandingkan sumber energi lainnya, seperti laju produksi biomassa yang tinggi, tidak berkompetisi dengan bahan pangan, serta tidak membutuhkan lahan yang luas untuk pertumbuhannya. Technical review ini diarahkan untuk memberikan informasi tentang pengembangan dan pemanfaatan mikroalga sebagai sumber energi akternatif terbarukan, termasuk teknologi panen dan korvesi mikroalga menjadi bahan bakar.

Kata kunci: *mikroalga, biodiesel, kultivasi, energi*

PENDAHULUAN

Pengembangan sumber bahan bakar alternatif yang terbarukan terus dilakukan guna menjawab tantangan besar yang sementara dan akan dihadapi umat manusia di muka bumi, yaitu ketersediaan energi bahan bakar. Kebutuhan energi bahan bakar terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya kebutuhan dan ekonomi masyarakat. Hingga saat ini, pemenuhan energi bahan bakar dunia, dan secara khusus di Indonesia masih bergantung sepenuhnya pada bahan bakar yang berasal dari minyak bumi yang tidak terbarukan (*petrolium-based oil*), yang mana di masa yang akan datang ketersediaannya semakin berkurang dan akhirnya akan habis. Oleh sebab itu, pengembangan sumber energi bahan bakar terbarukan sangat penting dilakukan guna mempertahankan ketersediaan bahan bakar secara kontinyu.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Beberapa tahun terakhir telah banyak dilakukan penelitian untuk mendapatkan sumber energi bahan bakar terbarukan pengganti bahan bakar yang berasal dari minyak bumi, Salah satunya adalah pengembangan mikroalga. Banyak hasil penelitian yang menunjukkan bahwa mikroalga memiliki potensi yang besar sebagai sumber bahan bakar terbarukan karena memiliki kandungan minyak yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar biodiesel. Selain kandungan minyak yang dimiliki, mikroalga juga dikenal sebagai tumbuhan akuatik yang memiliki keunggulan dibandingkan sumber bahan bakar lainnya, antara lain: tidak membutuhkan lahan yang luar, mampu menghasilkan biomassa dengan sangat cepat, serta mampu memanfaatkan CO_2 dalam pertumbuhannya sehingga mengurangi pencemaran udara.

Di Indonesia, pengembangan mikroalga sebagai sumber bahan bakar terbarukan juga terus dilakukan diantaranya dengan dilakukannya identifikasi jenis-jenis mikroalga yang tumbuh pada daerah-daerah tropis di Indonesia. Berdasarkan beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dilaporan bahwa terdapat beberapa tempat di Indonesia yang memiliki jenis mikroalga yang kandungan minyaknya cukup tinggi sebagai sumber bahan bakar terbarukan.

Potensi dan tantangan pengembangan mikroalga sebagai sumber bahan bakar terbarukan akan dibahas pada telaah ilmiah ini. Ruang lingkup telaah ilmiah ini antara lain kultivasi dan kondisi tumbuh mikroalga, teknik pemanenan mikroalga, teknologi konversi mikroalga menjadi bahan bakar terbarukan, serta propek dan masalah dalam pengembangan mikroalga sebagai bahan bakar terbarukan.

Mikroalga: kultivasi dan kondisi tumbuh

Produksi biomassa pada mikroalga menjadi alasan utama dilakukannya kultivasi mikroalga (Hung *et al.,* 2010). Pada tahun 1960 Oswald dan Golueke untuk pertama kalinya memanfaatkan kultur mikroalga untuk menjadi bahan bakar minyak terbarukan. Penelitian yang dilakukan mencakup sistem pada kultur mikroalga dengan sekala besar, tehnik pemanenan mikroalga, pengendapan lumpur mikroalga degan cara anaerobik serta pemanfaatan mikroalga untuk menghasilkan biogas (Report, 2002; Benemann, 2003; Benemann, Van Olst *et al.,* 2006). Selanjutnya Kultivasi mikroalga dilaporkan secara detail oleh Benemann (1978), baik dari sisi desain maupun analisis keteknikannya.

Secara umum pertumbuhan mikroalga terjadi pada tiga kondisi yang berbeda, yaitu kondisi fototropik (*phototrophic conditions*). kondisi heterotropik (*heterotrophic conditions*) dan kondisi mixotropik (*mixotrophic conditions*). Pada kondisi tumbuh secara fototropik mikroalga sangat bergantung cahaya matahari sebagai sumber energi dan CO_2 sebagai sumber karbon. Kondisi ini sering disebut juga autotropik fotosintesis (*autotrophic photosynthesis)*. Pada kondisi heterotropik pertumbuhan mikroalga membutuhkan substrat karbon organik sebagai sumber energi. Beberapa sumber substrat karbon organik yang umum digunakan antara lain: glukosa, asetat dan gliserol. Berdasarkan beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dilaporkan bahwa produksi biomassa serta kandungan lipid pada mikroalga yang tumbuh dengan kondisi heterotropik lebih tinggi dari yang tumbuh pada kondisi fototropik (Miao and Wu 2006; Mosojídek *et al.,* 2008). Pada kondisi ini juga densitas sel mikroalga yang dicapai lebih tinggi dari kondisi fototropik sehingga biaya yang dibutuhkan untuk pemanenan lebih rendah. Beberapa jenis mikroalga juga mampu tumbuh pada kondisi mixotropik yang merupakan perpaduan atara fototropik dan heterotropik. Jenis mikroalga tersebut dapat mengasimilasi cahaya matahari dan karbon organik sebagai sumber energinya baik secara bersamaan maupun secara bergantian.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kultivasi mikroalga

Keberhasilan dalam melakukan kultivasi mikroalga sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor penting. Hal tersebut perlu diperhatikan karena mikroalga yang berbeda membutuhkan syarat tumbuh yang berbeda.

Jenis mikroalga

Secara natural mikroalga memiliki jenis yang spesifik (*strain*) yang membedakannya dengan mikroalga yang lain. Jenis mikroalga tertentu mampu bertahan hidup pada kondisi tertentu. Kondisi yang tepat sangat penting bagi pertumbuhan mikroalga terlebih ketika diperhadapkan dengan organisme penggangu lainnya. Tehnik kultivasi mikroalga yang tepat

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

terus dilakukan khususnya untuk menghadapi masalah kontaminasi terhadap sel mikroalga yang dikembangkan.
CO_2

Salah satu unsur penting yang dibutuhkan oleh mikroalga untuk pertumbuhannya adalah CO_2. Pada proses metabolismenya, CO_2 yang dibutuhkan oleh mikroalga diubah menjadi biomassa. Sumber CO_2 tersebut pada umumnya berasal dari gas yang dihasilkan oleh industrI yang merupakan hasil pembakaran untuk menghasilkan tenaga. Pada beberapa tahun terakhir penelitian tentang pemanfaatan CO_2 bagi mikroalga terus dilakukan karena hal ini bukan hanya berpengaruh pada produksi biomassa oleh mikroalga tetapi juga pengurangan efek rumah kaca pada atmosfir akibat gas CO_2.

Fisiologi mikroalga

Pertumbuhan mikroalga juga dipengaruhi oleh sifat fisiologinya. Fisiologi mikroalga ini akan mempengaruhi pengambilan nutrisi serta lingungan kultivasinya. Secara alamiah mikrolaga yang hidup pada kolam (*ponds*) terbuka akan bertumbuh dengan cepat hingga menutupi permukaan kolam. Apabila fisiologi dari mikroalga tersebut sangat baik, maka kondisi tersebut dapat memacu produksi biomassa dengan kandungan minyak dan pati yang tinggi. Akan tetapi, respon fisiologi tertentu tidak mendukung mikroalga untuk bertahan hidup pada kolam tersebut. Hal mungkin terjadi karena tingginya konsentrasi O_2 yang terakumulasi pada kolam yang menghalangi pertumbuhan mikroalga (Benemann, Van Olst, *et al.,* 2006). Saturasi cahaya juga menjadi masalah bagi fisiologi mikroalga. Pada mikroalga yang tumbuh pada permukaan kolam akan menerima cahaya matahari yang sangat banyak melebihi yang dibutuhkan untuk proses fotosintesis. Oleh sebab itu penelitian terkini dilakukan melalui perubahan fisiologi dan genetic untuk mengurangi pigmen penyerap cahaya pada mikrolaga (Nakajima and Ueda, 2000).

Cahaya matahari

Mikroalga termasuk golongan mikroorganisme yang membutuhkan cahaya matahari dalam melakukan fotosintesis untuk pertumbuhannya. Pada kondisi tumbuh secara fototropik, mikroalga memperoleh energi dari cahaya matahari dan CO2 dengan memanfaatkan klorofil dan pigmen lainnya yang berperan dalam proses fotosintesis. Akan tetapi, bagi jenis mikroalga yang mampu tumbuh secara heterotrofik, kehadiran cahaya matahari tidak dibutuhkan karena mikroalga mampu bertumbuh dengan mamanfaatkan karbon organik sebagai sumber energi pada kondisi tanpa cahaya.

Sistem kultivasi mikroalga
Sistem terbuka

Kultivasi mikroalga sistem terbuka merupakan sistem kultivasi dimana mikroalga tumbuh di alam terbuka, umumnya pada perairan alamiah seperti kolam, sungai dan danau. Dalam pengembangannya kultivasi sistem terbuka juga telah dilakukan pada kolam-kolam buatan yang didisain untuk pertumbuhan mikroalga (Borowitzka, 1999). Pada sistem terbuka ini kebutuhan CO_2 oleh mikroalga sangat tercukupi karena CO_2 diperoleh langsung dari udara terbuka. Namun, jika biomassa mikroalga sudah sangat banyak maka penetrasi udara ke dalam kolam tempat mikroalga bertumbuh akan sangat sukar sehingga dibutuhkan alat penghembus udara (*submerged aerator*) untuk membantu penyerapan CO_2 (Terry and Raymond, 1985). Kultivasi sistem terbuka merupakan metode kultivasi mikroalga yang relatif murah jika dibandingkan dengan kultivasi sistem tertutup yang menggunakan fotobioreaktor. Namun demikian, sistem terbuka perlu mempetimbangkan lingkungan tumbuh mikroalga karena pada kondisi terbuka mikroalga sangat mudah terkontaminasi oleh bakteri, protozoa ataupun jenis mikroalga lainnya yang tidak dikehendaki (Chisti, 2008).

Sistem tertutup

Pada umumnya, kultivasi mikroalga sistem tertutup didasarkan pada penggunaan fotobioreaktor tertutup (*closed photobioreactor*). Kultivasi sistem tertutup dirancang untuk memberikan solusi atas kelemahan yang ada pada sistem terbuka, terlebih khusus dalam meminimalkan terjadinya kontaminasi (Brennan and Owende, 2010; Y. Chisti, 2008). Beberapa jenis fotobioreaktor tertutup yang telah digunakan untuk memproduksi mikroalga, antara lain: *tubular photobioreactor, flat plat photobioreactor, dan column photobioreactor*. Dibandingkan dengan sistem terbuka, kultivasi sistem tertutup memberikan beberapa keuntungan seperti mampu menghasilkan biomassa yang lebih tinggi serta mudah untuk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mengontrol pertumbuhan jenis mikroalga yang diinginkan. Namun, salah satu kelemahan yang perlu diperhatikan adalah tingginya biaya pemeliharaan alat serta

Tabel 1. Kentungan dan kelemahan kultivasi sistem terbuka dan sistem tertutup

Sistem kultivasi	Keuntungan	Kelemahan
Kolam terbuka	• Biaya lebih mudah • Mudah untuk dibersihkan • Dapat menggunakan lahan non-pertanian • Masukan energi yang rendah • Mudah dalam pemeliharaan	• Produktivitas biomassa yang rendah • Membutuhkan lahan yang luas • Mudah terkontaminasi • Kurangnya • Pemanfaatan Cahaya dan CO2 yang terbatas
Tubular photobioreactor	• Memiliki luas area permukan pencahayaan yang besar • Cocok untuk kultur di luar ruangan • Biaya relatif murah • Memiliki produktivitas biomassa yang baik	• Membutuhkan lahan yang luas • Terjadi perubahan pH, oksigen terlarut dan CO2 sepanjang pipa.
Flat plat photobioreactor	• Produktivitas biomassa yang tinggi • Mudah untuk disterilkan • Memiliki luas area permukan pencahayaan yang besar • Cocok untuk kultur di luar ruangan	• Sangat sukar untuk di dilakukan dalam ukuran besar • Sangat sukar dalam mengatur temperatur
Column photobioreactor	• Transfer massa yang tinggi • Konsumsi energi yang rendah • Mudah disterilkan	• Area pencahayaan kecil • Biaya mahal dibandingkan kolam terbuka

Sumber: Brennan, L, and P Owende (2010)

Teknik pemanenan mikroalga

Filtrasi

Beberapa sistem filtrasi yang umum digunakan untuk pemanenan mikroalga, antara lain: *filter presses, vibrating screens, micro-strains, belt filters* dan *vacuum drums* (Milledge and Heaven 2012). Klasifikasi sistem filtrasi didasarkan pada ukuran pori membran yang digunakan, yaitu: *reverse ormosis* (ukuran pori < 0,001 µm), *ultra-filtration* (ukuran pori 0,002-2 µm, *micro-filtration* (ukuran pori 0,1- 10 µm) dan *macro-filtration* (ukuran pori > 10 µm). Pada umumnya pemberian tekanan dibutuhkan pada metode filtrasi untuk melewatkan cairan melalui pori membran (Jaouen *et al.,* 1999).

Flokulasi

Pada umumnya mikroalga memiliki muatan negatif pada permukaan selnya. Muatan ini disebabkan karena adanya penyerapan ion dari media tumbuh dan juga diakibatkan adanya ionisasi pada dinding sel mikroalga. Kondisi ini sangat dipengaruhi oleh jenis mikroalga, kekuatan muatan ion pada media tumbuh serta kondisi lingkungan lainnya (Ives 1959; Golueke and Oswald 1965; Shelef, Sukenik and Green 1984). Muatan negatif pada sel mikroalga ini sangat penting untuk pertumbuhan mikroalga, secara khusus untuk menghindari terjadinya agregasi alamiah antara sel yang tersuspensi (Grima *et al.,* 2003). Dengan adanya muatan negatif pada permukaan sel mikroalga, maka flokulasi menjadi salah satu tehnik pemanenan yang umum digunakan. Pada pemanenan secara flokulasi, flokulan yang digunakan adalah bahan yang mengandung muatan positif, seperti besi klorida (FeCl3), almunium sulfat($Al_2(SO_4)_3$) dan besi sulfat ($Fe_2(SO_4)_3$) (Koopman and Lincoln 1983; Grima *et al.,* 2003).

Flotasi

Metode ini merupakan proses pemisahan berdasarkan gaya grafitasi di mana sel mikroalga menempel pada udara atau gelembung gas sehingga sel tersebut terapung pada permukaan. Pada kondisi tersebut sel mikroalga dapat dipanen dengan mudah. Pada beberapa jenis mikroalga tertentu sel nya dapat terapung secara alamiah apabila kandungan lipid pada sel meningkat (Edzwald 1993). Pada metode flotasi, kebutuhan biaya operasional

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

akan semakin besar jika melibatkan flokulan (Mohn 1998).

Sentrifugasi

Sentrifugasi merupakan suatu metode pemanenan mikroalga yang didasarkan pada pemberian tenaga putar untuk mengendapkan sel mikroalga sehingga terpisah dari cairan media tumbuhnya (Mohn, 1998). Pemisahan tersebut didukung oleh adanya perbedaan densitas antara sel mikroalga dan media cair tempat sel bertumbuh. Menurut Sim, Goh and Becker (1988), dibandingkan metode pemanenan mikroalga yang lain, metode sentrifugasi mampu mengasilkan mikroalga dalam bentuk pasta dengan kandungan padatan hingga diatas 15%. Beberapa studi juga menunjukkan bahwa semakin cepat putaran sentrifugasi, maka biomassa mikroalga yang diperoleh dapat mencapai hingga 95% (Heasman *et al.,* 2000).

Sedimentasi

Pada umumnya metode sedimentasi untuk pemanenan biomassa alga diaplikasikan pada pengolahan air limbah. Metode ini didasakan pada hukum Stoke untuk menentukan karakteristik padatan tersuspensi dengan adanya perbedaan densitas, radius serta kecepatan sedimentasi sel mikroalga. Akan tetapi, penggunakan hukum Stoke ini tidak dapat diterapkan pada partikel yang dapat diflokulasi karenan srukturnya yang rumit serta hanya cocok diaplikasikan pada mikroalga yang ukurannya besar (>70 µm) seperti *Spirulina* (Schenk *et al.,* 2008; Shelef *et al.,* 1984; Munoz and Guieysse 2006).

Peletisasi mikroalga

Metode pemanenan mikrolaga dengan cara peletisasi merupakan metode baru yang beberapa tahun terakhir terus dikembangkan. Metode ini melibatkan mikroorganisme lainnya, seperti fungi yang mampu membentuk pelet. Gultom, Zamalloa and Hu (2014) melaporkan bahwa interaksi antara mikroalga (*Chlorella vulgaris*) dan jamur berfilamen (*Aspergillus niger*) terjadi ketika kultivasi mikroalga dan fungi dilakukan pada media yang sama. Sel mikroalga menempel pada hipha sehigga mudah untuk dipanen (Gambar 1). Interaksi ini diduga terjadi karena mikroalga dan fungi memiliki muatan yang berbeda sehingga terjadi tarik menarik antar kedua sel.



Gambar 1. Interaksi antara sel mikroalga *Chlorella vulgaris* dan hipha *Aspergillus niger* terlihat dengan menggunakan mikroskop cahaya (a) Tampak jauh (b) Tampak dekat. Anak panah menunjukkan sel mikroalga (Gultom, Zamalloa and Hu 2014).

Teknologi Konversi Mikroalga menjadi Energi Bahan Bakar

Pengembangan teknologi konversi mikroalga menjadi energi terus dilakukan. Potensi mikroalga sebagai bahan baku pembuatan minya bio-disel, bio-etanol dan produk lainnya menjadi pemacu dalam menemukan dan menerapkan teknologi konversi mikroalga yang efektif, efisien serta secara ekonomi dapat menguntungkan. Secara umum teknologi konversi mikroalga dapat dibedakan ke dalam dua kategori, yaitu: konversi secara termo-kimia dan konversi secara bio-kimia. Pemilihan konvesi mikroalga menjadi energi dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor penting, antara lain: jenis dan kuantitas biomassa mikroalga, jenis energi yang diinginkan, ekononomis dan produk akhir yang diinginkan (McKendry 2002).

Pirolisis

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pada proses pirolisis, biomassa dikonvesikan menjadi tiga jenis energi, yaitu minyak, syngas dan arang. Pirolisis umumnya dilakukan dengan menggunakan suhu yang tinggi (350-700^{0}C) tanpa adanya udara (Goyal, Seal and Saxena 2008). Berdasarkkan lama waktu proses, proses pirolisis biomassa dapat dilakukan dalam tiga metode, yaitu: (1) metode pirolisis kilat (*flash pyrolysis*), menggunakan suhu 500 ^{0}C dengan waktu 1 detik, (2) metode cepat (fast pyrolysisi), menggunakan suhu 500 ^{0}C dengan waktu 10-20 detik, dan (3) metode pirolisis lambat (*slow pryrolysis*), menggunakan suhu 400 ^{0}C dengan waktu yang lebih lama. Di masa yang akan datang, pirolisi dinilai memiliki potensi untuk mengkonversi biomassa menjadi minyak karena memberikan hasil yang memuaskan dimana rasio konversi biomassa menjadi minyak dapat mencapai hingga 95,5%. Namun, beberapa kelemahan dari metode pirolisis ini antara lain minyak yang dihasilkan lebih asam, kental dan mengandung padatan serta bahan kimia terlarut. Oleh sebab itu, prose hidrogenasi dan pemecaran secara katalitik sangat diperlukan untuk menurunkan kandungan oksigen dan mengurangi kandungan alkali (Clark and Deswarte, 2015; Demirbas, 2006).

Gasifikasi

Gasifikasi merupakan reaksi oksidasi secara parsial pada biomassa dengan melibatkan suhu yang sangat tinggi (800-1000 ^{0}C) untuk menghasilkan campuran gas yang mudah terbakar. Pada proses gasifikasi, biomassa bereaksi dengan oksigen dan uap air untuk menghasilkan gas sintesis yang merupakan campuran CO, H_2, CO_2, N, dan CH_4, atau yang umum disebut “syngas”. Beberapa studi tentang proses gasifikasi pada biomassa mikroalga telah dilakukan. Hirano *et al.,* (1998) melaporkan bahwa produksi tertinggi metanol dari proses gasifikasi *spirulina* adalah sebesar 0,64 g methanol/g biomassa pada suhu 1000 ^{0}C. Gasifikasi pada mikroalga *Chlorella vulgaris* pada sebuah sistem dengan sikkulasi nitrogen untuk menghasilkan minyak yang kaya akan metana juga telah dilakukan oleh Minowa and Sawayama (1999). Data dari hasil studi tentang gasifikasi masih jarang sehingga penelitian pada bidang ini perlu terus dilakukan, terlebih khusus kebutuhan energi yang dibutuhkan pada proses pengeringan bahan sebelum dilakukan proses gasifikasi.

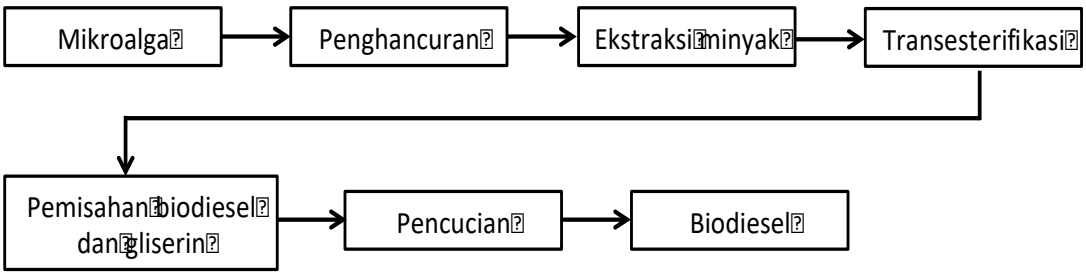
Fermentasi

Proses fermentasi pada umumnya digunakan untuk mengkonversi biomassa yang mengandung gula, pati maupun selulosa menjadi etanol. Sebagian besar biomassa yang mengandung karbohidrat denga rumus umum $(CH_2O)_n$ dapat diubah menjadi etanol. Sebelum proses fermentasi dilakukan, reaksi kimia bersama hidrolisis enzimatis sering digunakan untuk menghasilkan gula sederhana yang selanjutnya difermentasikan menjadi etanol dengan bantuan ragi seperti *Saccharomyces cerevesiae* (Demirbas, 2010). Mikroalga merupakan salah satu tumbuhan uniselular yang dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan etanol karena memiliki kandungan pati yang cukup tinggi (sekitar 37% berat kering). Produksi etranol berbahan baku mikroalga dapat dilakukan melalui tahapan berikut: (1) pemisahan pati dari dalam sel mikroalga dengan cara mekanis maupun enzimatis, (2) penambahan *Saccharomyces cerevesiae* pada biomassa untuk memulai proses fermentasi, (3) produksi etanol dari proses fermentasi, dan (4) pemurnian etanol melalui proses destilasi. Hirano, Ueda, Hirayama, & Ogushi (2008) melaporkan bahwa efisiensi konversi etanol dari mikroalga dapat mencapai 65%.

Biodisel dari mikroalga

Biodisel merupakan bahan bakar minyak terbarukan mono-alkil ester yang berasal dari bahan-bahan alamiah, seperti minyak tumbuhan maupun lemak hewan, melalui proses transesterifikasi (Abbaszaadeh *et al.,* 2012; Demirbas, 2010). Biodisel memiliki karakteristik yang cukup sama dengan bahan bakar diesel yang saat ini banyak digunakan untuk kendaraan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 2. Konversi mikroalga menjadi biodiesel melalui proses transesterifikasi

Biodisel memiliki potensi yang sangat besar untuk menjadi sumber energi alternatif terbarukan, antara lain: (1) bahan baku selalu tersedia karena berasal dari bahan baku terbarukan; (2) mudah terdegradasi; (3) tidak merusak lingkungan karena tidak menghasilkan gas-gas berbahaya bagi lingkungan; (4) lebih baik dibandingkan bahan bakar disel yang berasal dari petrolium karena memiliki emisi hasil pembakaran yang lebih rendah serta tidak berkontribusi terhadap pemanasan global karena memiliki siklus karbon yang tertutup.

Dalam memproduksi biodisel, bahan baku menjadi salah satu faktor terpenting yang perlu dipertimbangkan karena berkontribusi terhadap 75% total biaya produksi. Oleh sebab itu, pemilihan bahan baku yang tepat untuk pembuatan biodisel sangat penting dilakukan. Secara umum terdapat 3 genarasi sumber bahan baku biodisel yang telah dikembangkan, yaitu:

a. Bahan baku generasi pertama

Merupakan jenis-jenis tanaman yang pertama kali digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodisel. Adapun bahan baku pada generasi pertama ini adalah minyak kedelai (*soybeans*), minyak sawit (*palm oil*), minyak rapa (*rapeseed*), dan minyak bunga matahari (*sunflower*). Penggunaan bahan baku ini pada akhirnya memberikan pengaruh terhadap terhadap pasar dan ketahanan pangan secara global karena 95% bahan baku biodisel tersebut merupakan bahan pangan.

b. Bahan baku generasi kedua

Pada generasi kedua, bahan baku biodisel yang dikembangkan merupakan bahan baku yang tidak digunakan sebagai pangan, seperti: tanama Jatropa, minyak jojoba, biji tembakau, termasuk minyak jelantah atau bekas pakai. Beberapa keuntungan penggunaan bahan baku genberasi kedua ini, antara lain: tidak berkompetisi dengan bahan pangan, lebih efisien dan ramah lingkungan jika dibandingkan dengan bahan baku generasi pertama, membutuhkan luas lahan yang lebih kecil, dapat menghasilkan produk sampingan yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut baik pada industri bahan kimia maupun energi. Meski demikian, ketersediaan bahan baku generasi kedua ini belum mampu memenuhi kebutuhan energi atau bahan bakar minyak. Selain itu, minyak yang dihasilkan dari tanaman ataupun lemak hewani mengandung asam lemak jenuh yang lebih tinggi sehingga dapat berpengaruh memiliki performa yang rendah pada lingkungan bersuhu rendah (Janaun & Ellis, 2010; Ahmad *et al.,* 2011).

c. Bahan baku generasi ketiga

Melihat adanya kendala yang dihadapi dalam penggunaan bahan baku generasi pertama dan kedua, maka dikembangkan bahan baku ketiga yaitu mikroalga. Pengembangan mikroalga sebagai bahan baku terbarukan dalam pembuatan biodiesel didasarkan pada kemampuan mikroalga untuk melakukan fotosistesis dengan efisiensi yang sangat tinggi dalam menghasilkan biomassa dan laju pertumbuhan yang sangat cepat dibandingkan tumbuhan lainnya.

Biodisel yang berasal dari mikroalga memiliki karakteristik yang sama dengan biodisel yang berbasis petroleum, seperti densitas, viskositas, titik nyala dan nilai pemanasan. Berdasarkan hasil percobaan, biodisel berbahan baku mikroalga telah memenuhi kriteria yang telah ditetapkan oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM) untuk kualitas biodisel dan *International Biodisel Standard for Vehicles*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

(ENI 4214). Namun hasil penelitian lainnya melaporkan bahwa biodisel yang dihasilkan dari mikroalga memiliki derajat asam lemak tak jenuh yang cukup tinggi. Hal ini akan membatasi penggunaan biodisel karena biodisel tersebut mudah mengalami oksidasi saat penyimpanan. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengatasi masalah tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pengembangan sumber energi alternatif terbarukan sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi dunia seiring menipisnya persediaan energi bahan bakar berbasis fosil. Menjawab tantangan di atas, secara teknis mikroalga sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi sumber produksi biodisel yang diharapkan mampu memenuhi kebutuhan energi bahan bakar dunia. Selain sebagai bahan baku biodiesel, mikroalga juga berpotensi untuk dikonversi menjadi bentuk energi lainnya seperti bioethanol, biometanol maupun syngas melalui teknologi konversi seperti pirolisis, gasifikasi maupun fermentasi. Namun demikian, penelitian-penelitian lanjutan perlu terus dilakukan ke arah pengembangan jenis mikroalga yang mengandung konsentrasi minyak yang tinggi namun juga mampu menurunkan derajat asam lemak tak jenuhnya sehingga biodisel tidak mudah teroksidasi saat penyimpanan.

DAFTAR PUSTAKA

Abbaszaadeh, A., Ghobadian, B., Omidkhah, M., & Najaf, G. (2012). Current biodiesel production technologies: A comparative review. *Energy Conversion and Management Journal* , 1-11.

Ahmad, A. L., Yasin, N. M., Derek, C. J. C., & Lim, J. K. (2011). Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 584-593.

Benemann, J. (2003). *Bio fixation of CO2 and greenhouse gas abatement with microalgae technology readmap. Final report submitted to the U.S. Department of Energy.* Energy Technology Laboratory.

Benemann, J., Van Olst, J., Massingill, M., Werssiuman, J., & Biune, D. (2006). The controlled eutrophication process: using microalgae for CO2 utilization and agricultural fertilizer recycling, Oilgae – Oil & Biodiesel from Algae.

Borowitzka, M. (1999). Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *Journal of biotechnology , 70* (1), 313-321.

Brennan, L., & Owende, P. (2010). Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews , 14*(2), 557–577.

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances , 41*, 99-107.

Chisti, Y. (2008). iodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in biotechnology , 26* (3), 126-131.

Clark, J., & Deswarte, F. (2015). *Introduction to chemicals from biomass.* West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.

Demirbas, A. (2006). Oily products from mosses and algae via pyrolysis. *Energy Sources Part A—Recovery Utilization and Environmental Effects , 28*(10), 933–940.

Demirbas, A. (2010). Use of algae as biofuel sources. *Energy Conversion and Management , 51*(12), 2738-2749.

Demirbas, M. F. (2010). Microalgae as a feedstock for biodiesel. *Energy Education Science and Technology Part A-Energy Science and Research*, 25(1-2), 31-43.

Edzwald, J. K. (1993). Algae, Bubbles, Coagulants, and Dissolved Air Flotation. *Water Science Technology , 27*(10), 67-81.

Golueke, C. G., & Oswald, W. J. (1965). Harvesting And Processing Sewage-Grown Planktonic Algae. *Water Pollution Control Federation , 37*(4), 471-498.

Goyal, H., Seal, D., & Saxena, R. (2008). Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: a review. *Renewable and sustainable energy reviews , 12*(2), 504-517.

Grima, E. M., Belarbi, E. H., Fernández, F. A., Medina, A. R., & Chisti, Y. (2003). Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. *Biotechnology advances*, 20(7-8), 491-515.

Gultom, S. O., Zamalloa, C., & Hu, B. (2014). Microalgae Harvest through Fungal Pelletization—Co-Culture of Chlorella

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

vulgaris and Aspergillus niger. *Energies , 7*(7), 4417-4429.

Heasman, M., Deamar, J., O'Connor, W., Sushames, T., & Foulkes, L. (2000). Development of Extended Shelf-Life Microalgae Concentrate Diets Harvested by Centrifugation for Bivalve Molluscs-A Summary. *Aquaculture Research , 31*(8-9), 637-659.

Hirano, A., Ueda, R., Hirayama, S., & Ogushi, Y. (2008). CO2 fixation and ethanol production with microalgal photosynthesis and intracellular anaerobic fermentation. *22*, 137-142.

Hirano, A., Hon-Nami, K., Kunito, S., Hada, M., & Ogushi, Y. (1998). emperature effect on continuous gasification of microalgal biomass: theoretical yield of methanol production and its energy balance. *Catalysis Today , 45* (1), 399-404.

Hung, Y.-T., Amuda, O. S., Alade, A. O., Amoo, I. A., Tay, S. T.-L., & Li, K. H. (2010). Algae Harvest Energy Conversion. In L. K. Wang, J.-H. Tay, S. T.-L. Tay, & Y.-T. Hung, *Environmental Bioengineering* (pp. 723-741). New York: Humana Press.

Ives, K. J. (1959). The Significance of Surface Electric Charge on Algae in Water Purification. *Journal of Biochemical and Microbiological Technology and Engineering , 1*, 37-47.

Janaun, J., & Ellis, N. (2010). Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews , 14*, 1312–1320.

Jaouen, P., Vandanjon, L., & Quemeneur, F. (1999). The shear stress of microalgal cell suspensions (Tetraselmis suecica) in tangential flow filtration systems: the role of pumps. *Bioresource Technology , 68*, 149-154.

Koopman, B., & Lincoln, E. P. (1983). Autoflotation Harvesting of Algae from High-rate Pond Effluents. *Agricultural Wastes , 5*, 231-246.

McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource technology , 83* (1), 47-54.

Miao, X., & Wu, Q. (2006). Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil. *Bioresour. Technol. , 97*, 841–846.

Milledge, J. J., & Heaven, S. (2012). A review of the harvesting of micro-algae for biofuel production. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* , 1-15.

Minowa, T., & Sawayama, S. (1999). novel microalgal system for energy production with nitrogen cycling. *Fuel , 78* (10), 1213-1215.

Mohn, F. (1998). Harvesting of micro-algal biomass. In L. J. Borowitzka, & M. A. Borowitzka , *Micro-algal biotechnology.* Cambridge: Cambridge University Press.

Mosojídek, J., Torzillo, G., Sven, J. E., & Brian, F. (2008). Mass Cultivation of Freshwater Microalgae. In J. Mosojídek, G. Torzillo, J. E. Sven, & F. Brian, *Encyclopedia of Ecology* (pp. 2226–2235). Oxford, UK: Academic Press.

Munoz, R., & Guieysse, B. (2006). Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. *Water Research , 40*, 2799-2815.

Nakajima, Y., & Ueda, R. (2000). The effect of reducing light-harvesting pigment on marine microalgal productivity. *Journal of applied phycology* , 285-290.

Patil, V., Tran, K.-Q., & Giselrød, H. (2008). Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *International journal of molecular sciences , 9* (7), 1188-1195.

Report, G. C. (2002). *An assessment of solar energy conversion technologies and research opportunities. Technical Assessment Report.* GCERP.

Schenk, P. M., Thomas-Hall, S. R., Stephens, E., Marx, U. C., Mussgnug, J. H., Posten, C., *et al.* (2008). Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. *Bionergy Resources , 1*, 20-43.

Shelef, G., Sukenik, A., & Green, M. (1984). *Microalgae Harvesting and Processing: A Literature Review.* Solar Energy Research Institute, U.S. Department of Energy. Springfield: National Technical Information Service U.S. Department of Commerce.

Sim, T. S., Goh, A., & Becker , E. W. (1988). Comparison of Centrifugation, Dissolved Air Flotation and Drum Filtration Techniques for Harvesting Sewage-grown Algae. *Biomass , 16*, 51-62.

Terry, K., & Raymond, L. (1985). System design for the autotrophic production of microalgae. *Enzyme and Microbial Technology , 7* (10), 474-487.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

J. Tek. Ling.	Vol.10	No.1	Hal. 42 - 53	Jakarta, Januari 2009	ISSN 1441-318X

MIKROALGAE SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN YANG RAMAH LINGKUNGAN

Sarmidi Amin

Peneliti di Pusat Teknologi Agroindustri – Kedeputian TAB
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Abstract

Microalgae as biomass are a potential source of renewable energy and they can be converted into energy such as biofuel oil and gas. This paper presents a brief review on the main conversion process of microalgae becoming energy. Since microalgae have high water content, then not all biomass energy conversion processes can be applied. By using thermochemical process it can be produced oil and gas, and by using biochemical process it can be produced ethanol and biodiesel. The properties of microalgae product is almost similar to offish and vegetables oil and therefore it can be considered as a substitute of fossil oil.

Keywords: *Biofuel; Oil production; Microalgae; Thermoche-mical; Biochemical*

1. LATAR BELAKANG

Ada dua isu penting saat ini yaitu krisis bahan bakar minyak (BBM) dan pemanasan global. Penggunaan bahan bakar fosil dipercaya akan meningkatkan pemanasan global. Penggunaan energi biomassa diketahui dapat menurunkan emisi gas CO_2 Ada beberapa sumber energi biomassa yang sedang dikembangkan di beberapa negara. Penggunaan ganggang (*microalgae*) sebagai salah satu bahan baku mempunyai prospek cerah karena mikroalgae mudah dibudidayakan dan dapat berproduksi lebih banyak dibanding bahan baku lainnya.

Pemanasan global dipengaruhi oleh peningkatan konsentrasi gas akibat pengaruh rumah kaca di atmosfir dan sekarang menjadi perhatian masyarakat dunia[1)]. Untuk mengurangi konsentrasi CO_2 di atmosfir dapat dilakukan metoda berikut[2)]:

1). Pengurangan penggunaan bahan bakar fosil
2). Pengurangan CO_2 dari atmosfir, misalnya dengan Penghijauan kembali hutan yang telah gundul
3). Mengurangi CO_2 dari cerobong asap sebelum dilepas ke atmosfir

Telah diketahui secara luas bahwa energi biomassa mempunyai konstribusi sebagai penyedia sumber energi di berbagai kegiatan di pedesaan[3,4)]. Bio-massa dihasilkan dari beberapa tanaman atau dari limbah perkebunan[5)], bahkan sampah rumah tangga dan industri dapat digunakan sebagai bahan[6)].

Menurut Shay, bahan bakar[7)], mikroalgae adalah bahan yang mempunyai efisiensi fotosintetik terbesar dibanding biomassa lainnya. Oleh karena itu jika kita dapat mengekstrak minyaknya secara efisien, maka ganggang dapat dijadikan sumber pengganti BBM,[3,8)]. Penyerapan CO_2 dan produksi energi dari ganggang diharapkan dapat mengurangi krisis

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

energi[9,10]. Telah diketahui pula bahwa CO_2 adalah sumber untuk pertumbuhan ganggang[11]. dengan menggunakan mikroalgae, selain CO_2 dalam udara dapat dikurangi, dengan konversi biologi atau thermokimia akan diperoleh minyak[11,12]. Mikroalgae mengandung lipid dan asam lemak (*fatty acids*) sebagai komponen membran, *storage products*, *metabolites* dan sumber energi[11].

Makalah ini membahas beberapa metoda mengkonversi ganggang menjadi bahan bakar cair dan gas, biodiesel dan bioethnol.

2. KONVERSI ENERGI BIOMASSA

Keuntungan pengembangan mikro-algae sebagai sumber biomassa ada-lah[13]:

1). Ganggang dianggap suatu sistem biologi yang sangat efisien dalam memanfaatkan energi matahari untuk memproduksi senyawa organik.
2). Ganggang adalah tanaman non-vascular, kurang memreproduksi organ-organ komplek.
3). Banyak spesies ganggang yang menghasilkan komponen yang berharga secara komersial seperti protein, karbohidrat, *lipid* dan *pigmen.*
4). Ganggang adalah mikro-organisma yang mengalami pemecahan sel secara sederhana.
5). Ganggang dapat tumbuh di laut atau air tawar.
6). Ganggang dapat beradaptasi dari berbagai tingkat operasional.

Ganggang adalah tumbuhan yang mengandung minyak tertinggi. Ia dapat menghasilkan 100.000 liter minyak per ha per tahun, sementara sawit, kelapa, jarak dan bunga matahari masing-masing hanya menghasilkan 5.950, 2.689, 1.413, dan 952 liter per ha per tahun[14].

Aquatic Species Program (ASP) menganggap ada 3 produk utama bahan bakar dari biomassa[15] yaitu gas methan, ethanol dan biodiesel. Sebenarnya masih ada yang keempat yaitu pembakaran langsung terhadap ganggang dan menghasilkan uap atau listrik, tetapi ASP tidak menaruh perhatian pada masalah ini.

Beberapa macam ganggang mempunyai kandungan minyak melebihi 80% dari berat kering biomassanya[16,17] dan menurut *oilgae*[14], ada beberapa yang mempunyai minyak 15-40% (berat kering), sementara *palm kernel* mempunyai 50%, kopra sekitar 60%, bunga matahari 55%. Kadar minyak sendiri diperkirakan sekitar 64.4% dari *total lipid* [18].

Konversi energi biomassa menjadi minyak adalah dengan metoda biokimia, thermokimia dan pembakaran lang-sung[4,19]. Konversi biokimia lebih lanjut dapat dibagi menjadi fermentasi, *anaerobic digestion, bioelectrochemical fuel cells*, dan menggunakan meta-bolisma dari organisma. Konversi thermokimia dapat dibagi menjadi gasifikasi, pirolisa dan *liquefaction.* Gambar 1 menunjukkan proses konversi energi dari mikroalgae. Biomassa dapat juga dikonversi menjadi 3 produk utama, dua hubungannya dengan energi dan satu sebagai *feedstock* kimia[5].

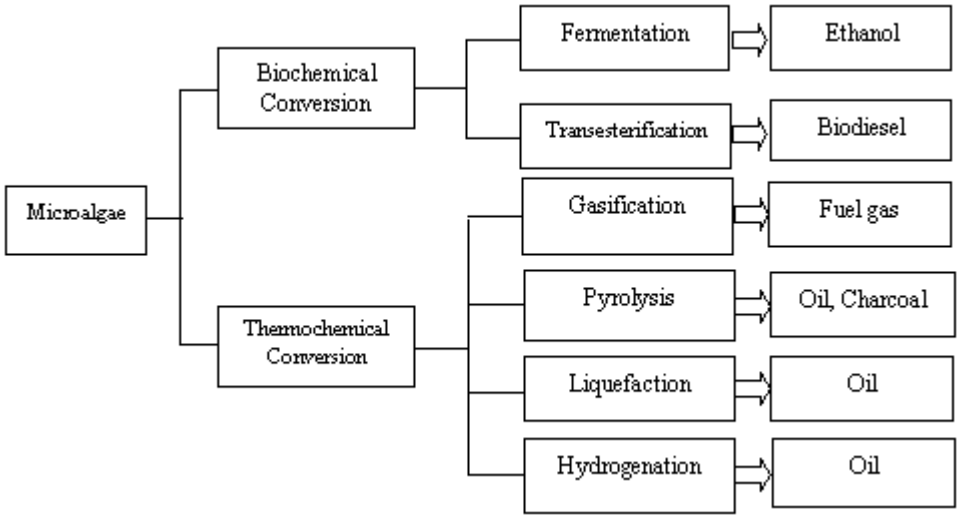
Diketahui bahwa mikroalgae mengandung air dalam jumlah yang banyak (80-90%)[16]; oleh karena itu tidak semua metoda proses konversi energi dari biomassa dapat dipakai terhadap bahan ini. Sebagai contoh, pembakaran langsung hanya bagus dilakukan jika kandungan air dibawah 50%. Kandungan air yang tinggi hanya cocok untuk konversi secara biologi[5].

3. PRODUKSI MIKROALGAE

3.1 Budidaya

Ganggang dapat dibudidayakan dalam berbagai sistem[20]. Untuk skala kecil atau skala laboratorium, budidaya menggunakan fermentor atau foto-bioreaktor[11,21] atau tanki air berbentuk kotak[11]. Fermentor menggunakan lampu fluoresen sebagai pengganti sumber sinar matahari, dengan derajat iradiasi sekitar 10,000 lx atau 20,000 lx[11] atau menggunakan distributor sinar lainnya[21].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 1. Konversi Energi Mikroalgae

Keuntungan penggunaan foto-bioreaktor adalah dapat menyerap panas matahari dan mengurangi kontaminasi[21]. Untuk yang berskala besar, mikroalgae dapat ditumbuhkan pada sistem kolam terbuka atau tertutup[21, 22]. Yang termasuk kolam terbuka alami adalah danau, situ, parit dan kolam terbuka buatan misalnya kolam atau kontainer. Yang sering digunakan adalah *shallow big ponds*, tanki, kolam melingkar (*circular ponds*) dan kolam pacu (*raceway ponds*)[21, 22].

Tubular photobioreactor adalah tipe yang cocok dipasang diluar rumah. *Tubular photobioreactors* biasanya terbuat dari gelas atau plastik transfaran dan airnya disirkulasi dengan pompa atau sistem hembusan udara (*air lift sys-tem*)[21]. *Tubular photobioreactors* mem-punyai keuntungan yaitu dapat didirikan pada tempat terbuka, dapat dioperasikan dengan konsentrasi biomassa yang tinggi dan terjaga dari kontaminan dari udara lingkungan[23] dan dapat memproduksi biomassa ganggang dalam skala industri[16]. Tabung *solar collector* biasa-nya berdiameter sekitar 0.1 m atau kurang. Diameter tabung dibatasi karena sinar tidak dapat menembus terlalu dalam pada ganggang yang tebal dan produktivitas photobioreaktor yang tinggi[17]. Tabung gelas atau plastik yang dipasang berdiri dapat diganti dengan selang plastik yang dililitkan pada rangka dan membentuk *helical coil tubular photobioreactor*[17].

3.2 Panen dan prosesing

Ganggang dapat dipanen meng-gunakan *microscreens,* sentrifugasi, atau dengan cara penggumpalan (*floccu-lation*). *Alum* dan *ferric chloride* adalah bahan kimia untuk penggumpalan ganggang saat panen[24]. Bahan penggumpal lain adalah *chitosin*[24,25]. Panen dengan bahan penggumpal dianggap metoda yang mahal pada skala industri. Cara yang lebih murah adalah dengan menghentikan asupan CO_2 sehingga mikroalgae akan menggumpal sendiri. Hal ini disebut dengan *auto-flocculation*[24]. Ganggang yang akan diproses dengan cara *liquefaction* dapat dipanen dengan separator sentrifugal[7].

Minyak dari ganggang dapat diekstrak dengan beberapa cara[24,26]:

1). Ganggang dikeringkan dan di-press.

2). Minyak dapat diekstrak dengan bahan kimia seperti benzene, ether atau heksan. Metoda ini dapat

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dikombinasikan dengan press dingin. Kombinasi proses tersebut dapat mengeluarkan lebih dari 95% total minyak yang ada dalam ganggang.

3). Ekstrak dengan enzim.

4). *Osmotic shock* adalah mengurangi tekanan osmotik dengan tiba-tiba; dimana hal ini dapat menyebabkan rusaknya sel.

5). Pada metoda superkritikal, CO_2 dicairkan dengan tekanan dan pemanasan sampai titik dimana material bersifat cair dan gas. Fluida yang dicairkan kemudian bertindak sebagai pelarut dalam mengekstrak minyak.

6). Minyak dari ganggang dapat juga di ekstrak dengan metoda lain[27]. Ganggang di hancurkan dengan alat menjadi bubuk dan dikeringkan selama 20 menit pada 80°C dalam inkubator untuk menghilangkan air. Heksan dan pelarut ether lainnya dicampur dengan bubuk ganggang dan diekstrak menjadi minyak, kemudian dicampur selama 24 jam untuk pengendapan.

4. KONVERSI ENERGI

4.1 Konversi Thermokimiawi

4.1.1 Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses yang berlangsung pada temperatur tinggi (800-900°C) dan oksigen yang terbatas, namun ada juga yang beroperasi pada suhu rendah[28]. Peneliti Elliot mengem-bangkan metoda gasifikasi katalitik temperatur rendah dengan kandungan air yang sangat tinggi[29]. Biomassa dengan kandungan air yang sangat tinggi dapat digasifikasi secara langsung menjadi gas methan tanpa pengeringan lebih dulu. Jika ditambah dengan nitrogen maka akan menjadi amonia selama terjadi reaksi[28].

4.1.2 Liquefaction

Mikroalgae hasil panen dengan sentrifugasi akan mempunyai kandungan air yang tinggi sehingga cocok untuk bahan baku proses *liquefaction*[11,16]. Gambar 2 adalah skematis proses *liquefaction*[7,11,30,-33]. *Liquefaction* ter jadi pada temperatur 300°C dan tekanan 10 MPa tanpa pengurangan gas hidrogen dan atau karbon monoksida[7].

Liquefaction dilakukan di dalam *autoclave stainless steel* yang dilengkapi dengan pengaduk. Ganggang dima-sukkan ke reaktor kemudian diikuti dengan gas nitrogen dan dipanaskan pada temperatur tertentu. Suhu dijaga konstan selama 5 sampai 60 menit dan diikuti dengan proses pendinginan. Hasil reaksi diekstrak dengan *dichloromethane* untuk memisahkan fraksi minyak. Hasil ekstraksi dipisahkan dan diuapkan pada suhu 35°C dibawah pengaruh tekanan rendah dan menghasilkan material lunak berwarna coklat gelap lunak (*dark-brown viscous*). Hasil ekstrak tersebut kemudian difiltrasi [7,11].

4.1.3 Pirolisa

Pirolisa adalah proses merubah biomassa menjadi bahan bakar dengan cara pembakaran pada kondisi sangat minim udara dengan suhu sekitar 500°C[5,34] dan diberi katalisator[35], mempunyai laju pemanasan yang tinggi (10^3 -10^4 K/s) dan waktu tinggal gas yang sangat pendek untuk merusak rantai molekul sehingga menjadi pendek dan kemudian didinginkan dengan cepat[36].

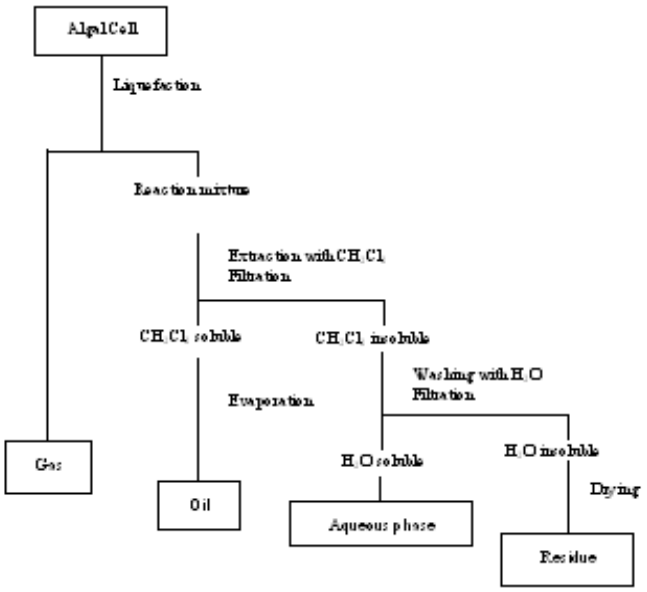
Proses pirolisa ada yang berjalan lambat dan ada pula yang berjalan cepat. Keuntungan proses yang berjalan cepat adalah diperoleh bahan bakar cair secara langsung[37] dan efisiensi konversi sampai 80%. Prinsip dari pirolisa cepat *fluidized bed* dapat dilihat pada gambar 3 [37].

4.1.4. Hidrogenasi

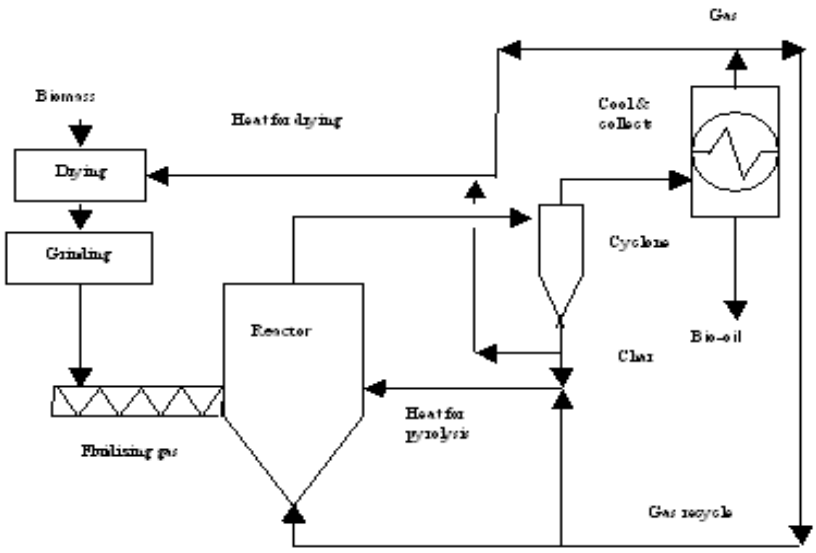
Hidrogenasi adalah reaksi kimia yang terjadi dengan penambahan hidrogen (H_2)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dan menggunakan kata-lisator[38]. Proses hidrogenasi ganggang dapat dilakukan dengan suhu dan tekanan tinggi. Pada proses ini ada tiga fase bahan yaitu fase gas (hidrokarbon dan hidrogen), fase cair (campuran pelarut dan produk cair), fase padat (ganggang dan katalis)[11].



Gambar 2. Skematis Separasi Ganggang Secara *Liquefaction*



Gambar 3. Prinsip Proses Pirolisis Cepat

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4.2 Konversi Biokimia

4.2.1 Fermentasi

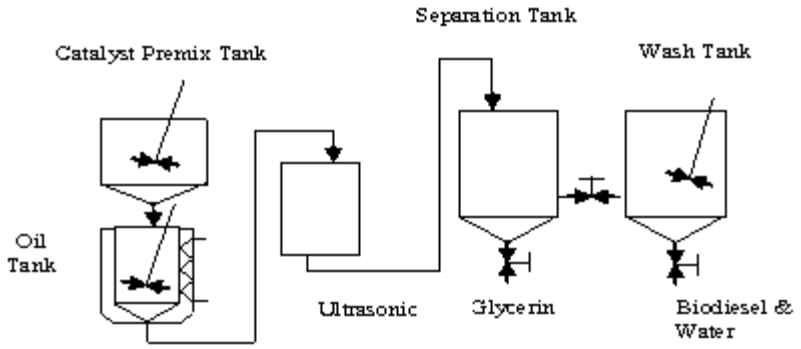
Fermentasi ganggang dapat menghasilkan ethanol. Adapun tahapan prosesnya adalah budidaya mikroalgae, pemanenan, *slurry preparation,* fermentasi, dan proses separasi ethanol[9].

Peneliti lain[39] memproduksi ethanol dengan fermentasi dalam kondisi gelap terhadap ganggang laut hijau *Chlorococcum littorale.* Pada kondisi gelap dan anaerobic, 27% *cellular starch* dikonsumsi selama 24 jam pada 25°C. *Cellular starch* didekomposisi lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi dan akan diperoleh ethanol, asetat, hidrogen dan karbon dioksid. Produktivitas maksimum ethanol adalah 450 ì mol/g-berat kering pada suhu 30°C.

4.2.2 Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah reaksi lemak atau minyak dengan alkohol dan membentuk ester dan gliserol atau gliserin[35]. Untuk reaksi biasanya diberi katalisator asam atau basa[35], homogen atau heterogen[40]. Hasil transesterifikasi adalah biodiesel. Agar supaya diperoleh produksi yang tinggi, alkohol yang digunakan harus dalam jumlah yang berlebih (*excess*)[41].

Proses produksi biodiesel adalah relatif mudah. Beberapa situs meng-ajarkan cara pembuatannya, misalnya *journey to forever*[42], *biodiesel techno-logies India*[43], dan *dangerous labora-tories*[44]. Gambar 4 adalah skematis proses produksi biodiesel. Langkah pertama adalah pengurangan kadar air dari minyak dengan cara peningkatan temperatur minyak sampai 120°C selama beberapa menit. Setelah itu, minyak didinginkan. Bersamaan dengan itu, melalukan pencampuran sodium hidrok-sida dan methanol, dengan cara pengadukan sampai menjadi larutan sodium methoksida. Minyak dipanaskan kembali sampai sekitar 60°C dan kemudian larutan sodium methoksida dicampurkan ke minyak dan diaduk selama 30 menit. Setelah selesai pengadukan, biarkan larutan menjadi dingin dan memisah. Proses separasi berlangsung sekitar 15-60 menit. Methil ester (ME) atau biodiesel akan berada di lapisan atas, gliserin akan berada di bagian bawah. Tahap terakhir adalah melakukan pencucian, pengeringan dan pengujian kualitas.



Gambar 4. Skematis proses produksi biodiesel

5. HASIL PROSES KONVERSI

5.1. Gasifikasi

Gasifikasi akan menghasilkan gas bakar seperti H_2, CH_4, CO_2, dan ammo-nia. Gas tersebut mempunyai nilai kalor yang rendah (sekitar 4-6 MJ/N m^3) dan dapat terbakar secara langsung atau dibakar sebagai bahan bakar turbin gas atau sebagai bahan baku gas sintetik pada industri kimia[5].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

5.2 Liquefaction

Menurut FAO hasil *liquefaction* mikroalgae adalah minyak berat atau ter dengan produksi (*yield*) 35.6%[11], atau dalam kisaran 31-44%[7] atau kisaran 30-40%[19]. Minyak berat tersebut terdiri dari karbon (73%), hidrogen (9%), nitrogen (5%), dan oksigen (13%). Nilai kalor (*heating value*) minyak berat adalah 34.7 kJ/g, atau hampir sama dengan minyak berat tipe C. Minyak berat ganggang mempunyai kekentalan 860 cps, atau hampir sama dengan minyak jarak (*castor oil*). Minyak berat ini mempunyai kandungan nitrogen yang lebih tinggi dari minyak bumi, sehingga membutuhkan perlakuan khusus agar tidak terjadi pembentukan N_{ox} pada sistem gas buangnya.

Minowa[7] melaporkan bahwa pro-duksi minyak dengan metoda *direct hydrothermal liquefaction* kira-kira 37% (*organic basis*) pada suhu 300°C dan 10 MPa dari mikroalgae jenis *Dunaliella tertiolecta* yang berkadar air 78.4 wt%. Minyak diperoleh pada suhu reaksi 340°C dan berlangsung selama 60 menit dan mempunyai kekentalan 150-330 mPass dan nilai kalor 36 kJ/g. Pada riset yang serupa, minyak yang diperoleh dari *Botryococcus braunii,* produksi mak-simum 64% (dari berat kering) dengan suhu proses 300°C dan katalisator sodium karbonat[16,45].

5.3 Pirolisa

Proses pirolisa akan menghasilkan bahan bakar yang dapat digunakan pada mesin dan turbin gas atau sebagai bahan baku industri[5] atau digunakan pada mesin diesel[35]. Minyak yang diperoleh mempunyai nilai kalor 17 MJ/kg atau lebih rendah dari bahan bakar konven-sional yaitu sekitar 42-44 MJ/kg[37]. Menurut Miao[34], nilai kalor minyak dari ganggang rata-rata adalah 29 MJ/kg, atau kira-kira 1,4 kali nilai kalor kayu.

5.4 Hidrogenasi

Ganggang dapat dirubah menjadi hidrokarbon cair pada suhu 400-430°C, dengan tekanan 7-14 MPa, dan katalisator *cobalt molybdate*. Produksi tertinggi diperoleh 46.7 wt %. Sebagai tambahan, sekitar 10 wt% produk cair dan 34 wt% gas kaya hidrocarbon. Pada umumnya, suhu tinggi dan lebih lama waktu reaksinya akan meningkatkan derajat konversinya dan mengurangi produksi ter. Produksi dan konversinya akan meningkat proporsional dengan tekanan hidrogen sampai maksimum 8.2 MPa[11]. Peneliti lain menggunakan temperatur dan tekanan sangat tinggi akan menghasilkan produksi sampai mendekati 50%[19].

Tabel 1. Produksi Methan dan Karbon Dioksida ini pada Proses *Liquefaction* [31]

Holding time (min)	Na_2CO_3 dosage (wt.%)	Reaction temp (°C)	Gas volume (l)	Concentration (ppm)	
				CH_4	CP_2
30	0	300	1.1	56	625
	0	340	1.1	376	1250
	5	300	1.4	31	625
	5	340	1.5	227	1300
60	0	300	1.7	65	250
	0	340	1.5	352	1300
	5	300	1.5	74	750
	5	340	1.8	283	650

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 2. Perbandingan Sifat Minyak Bumi dan Bio-oil dari Proses Pirolisa Cepat Kayu dan Mikroalgae[34)]

Properties	Typical value		
	Bio-oils		Fossil oil
	Wood	Microalgae	
C	56.4%	61.52%	83.0-87.0%
H	6.2%	8.50%	10.0-14.0%
O	37.3%	20.19%	0.05-1.5%
N	0.1%	9.79%	0.01-0.7%
S	n.d. [a]	n.d.	0.05-5.0%
Density	1.2 kg l^{-1}	1.16 kg l^{-1}	0.75-1.0 kg l^{-1}
Viscosity (Pas)	0.04-0.20 (at 40°C)	0.10 (at 40°C)	2-1000 (depends on temperature, density and its contents etc.)
Heating value	21 MJ kg^{-1}	29 MJ kg^{-1}	42 MJ kg^{-1}
Stability	Not as stable as fossil fuels	Not as stable as fossil fuels, but more stable then the bio-oil from wood	

[a] n.d. : not determined

5.5. Fermentasi

Dari proses fermentasi mikroalgae akan diperoleh ethanol. Ethanol dapat digunakan sebagai bahan bakar (100%) atau sebagai gasohol atau campuran gasolin dan ethanol. Sebagai contoh mesin *Flex-Fuel* di Brazilia dapat berkerja dengan baik dengan 100% ethanol, 100% gasoline atau campuran keduanya, sedang di Amerika *US Flex-Fuel Vehicle* dapat berkerja pada 0% sampai 85% ethanol (15% gasolin)[46)].

Energi dari ethanol adalah 31.1 MJ/kg dan bilangan oktannya 129, sementara itu energi dari gasolin adalah 44.4 MJ/kg dan bilangan oktan minimum 91 dan gasohol (90% gasolin dan 10% ethanol) adalah 33.7 MJ/liter dan bilangan oktan 93/94[46)]. Ethanol dapat juga digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik *direct-ethanol fuel cell*[46,47)]. Ethanol ada juga yang digunakan sebagai bahan bakar roket[46)].

5.6 Transesterifikasi

Konversi *triglycerides* atau minyak menjadi biodiesel sekitar 98%[48)] atau lebih tinggi[49)] dan digunakan sebagai bahan bakar alternatif mesin diesel. Spesifikasi standar biodiesel B100 (100%) adalah ASTM D6751[44,50,51)]. Sifat fisik dari biodiesel dibanding dengan solar adalah seperti terlihat dalam Tabel 3.

Produk sampingan dari proses transesterifikasi adalah pembentukan sabun dan gliserin. Untuk mengurangi pembentukan sabun, peneliti menggunakan metoda superkritikal tanpa katalisator[53)]. Banyaknya gliserin yang terbentuk, menurut aturan (*rule of thumb*)[54,42)] adalah sebesar 79 ml per liter minyak yang digunakan, tetapi kenyataan perolehannya berkisar 80-120 ml per liter minyak.

6. KESIMPULAN

Ganggang adalah sumber energi terbarukan yang sangat potensial dalam penyerapan CO_2. Ganggang dapat dibudidayakan dalam photobioreaktor atau ditempat terbuka (*open ponds*).

Produksi mikroalgae per tahun (*yield*) minyak tertinggi dibanding dengan hasil

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

perkebunan lainnya seperti kelapa, sawit, jarak dan bunga matahari. Kadar minyak ganggang 15-40% berat kering, tetapi ada juga yang sampai 80%. Kandungan minyaknya dapat diperkirakan sekitar 64.4% dari komponen *lipid* total. Untuk mengekstrak minyak, dapat dilakukan dengan berbagai metoda.

Tabel 3. Perbandingan Sifat-sifat Biodiesel, Diesel Fuel dan Standar ASTM [52)]

Properties	Biodiesel from microalgae oil	Diesel fuel [a]	ASTM biodiesel standard
Density (kg L^{-1})	0.864	0.838	0.86-0.90
Viscosity (mm^2s^{-1}, cSt at 40°C)	5.2	1.9-4.1	3.5-5.0
Flash point (°C)	115	75	Min 100
Solidifying point (°C)	-12	- 50-10	-
Cold filter plugging point (°C)	-11	-3.0 (max -6.7)	Summer max 0 Winter max < - 15
Acid value (mg KOH g^{-1})	0.374	Max 0.5	Max 0.5
Heating value (MJ kg^{-1})	41	40-45	-
H/C ratio	1.81	1.81	-

[a] The data about diesel fuel was taken from published literature as indicated in the text.

Proses gasifikasi menghasilkan gas seperti H_2, CH_4, CO_2, dan ammonia, sedang dari proses pirolisa akan diha-silkan biofuel. *Biofuel* dapat digunakan pada turbin gas atau sebagai bahan baku industri *refineries*. Produk fermentasi akan menghasilkan ethanol. Ethanol dapat digunakan sebagai bahan bakar (100% alkohol) atau gasohol. Dengan proses transesterifikasi, ganggang dapat dikonversi menjadi biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

1. Watanabe Y, DO. Hall. 1996; Photosynthetic CO_2 conversion technologies using a photobioreactor incorporating microalgae-energy and material balances. J. En Conv Mgmt 37, 6-8: 1321-26.
2. Benemann JR. 1997, CO_2 mitigation with microalgae systems. J En Conv Mgmt; 38: S475-79.
3. Sawayama S, T. Minowa,. SY. Yokoyama, 1999; Possibility of renewable energy production and CO_2 mitigation by thermochemical liquefaction of microalgae. J Biom Bioen 17: 33-39.
4. Tsukahara K, S. Sawayama. 2005; Liquid fuel production using microalgae. J Jpn Petro Inst 48, 5: 251-59.
5. McKendry P., 2003; Energy pro-duction from biomass (part 2): Conversion technologies. Biores tech 83: 47-54.
6. Minowa T, M. Murakami, Y. Dote, T. Ogi, S. Yokoyama, 1995; Oil production from garbage by thermochemical liquefaction. J Biom Bioen 8, 2: 117-20.
7. Minowa T, S. Yokoyama, M. Kishimoto, T. Okakurat, 1995; Oil production from algal cells of *Dunaliella tertiolecta* by direct thermochemical liquefaction. J Fuel 74, 12: 1735-38.
8. Tsukahara K, T. Kimura, T. Minowa, S. Sawayama, T. Yagishita, S. Inoue, T. Hanaoka, Y. Usui, T. Ogi, 2001; Microalgal cultivation in a solution recovered from the low temperature catalytic gasification of the microalga. J Biosci & Bioengin 91, 3: 311-13.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

9. Hirayama S, R. Ueda, Y. Ogushi, A. Hirano, Y. Samejima, KH. Nami, S. Kunito, 1998; Ethanol production from carbon dioxide by fermentative microalgae.In: Inui T, Anpo M, Izui K, Yanagida S, Yamaguchi T, editors. Advances in Chemical Conversions for Mitigating Carbon Dioxide, Studies in Surface Science and Catalysis 114, Elsevier Science BV: 657-60.

10. Hirano A, R. Ueda, S. Hirayama, 1997; CO_2 fixation and ethanol production with microalgal photo-synthesis and intracellular anaerobic fermentation. Energy 22, 2/3:137-42.

11. FAO, Oil production, FAO Corp Doc Repository. Retrived on 05/02/2007 from www.fao.org/docrep/ w7241e/ w7241e0h.htm.

12. Yang YF, CP. Feng, Y. Inamori, T. Maekawa, 2004; Analysis of energy conversion characteristics in liquefaction of algae. Res Cons Recycl43: 21-33.

13. Vonshak A, 1990; Recent advances in microalgal biotechnology. Biotech. Adv. 8: 709-27.

14. Oilgae. Algal oil yields. Retrived on 07/ 18/2008 from http://www.oilgae. com/ algae/oil/yield/yield.html.

15. Sheechan J, T. Dunahay, J. Benemann, P. Roessler, 1998, A look back at the U.S. Depart of Energy's Aquatic Species Program – Biodiesel from Algae NREL/TP-580-24190.

16. Patil V, KQ.Tran, HR. Giselrod, 2008; Toward sustainable production of biofuels from microalgae. Int J Mol Scie 9: 1188-95.

17. Christi Y, 2007; Biodiesel from microalgae. Biotech Adv 25: 294-06.

18. Hill AM, DA. Feinberg, 1984, Fuel from microalgae lipid products, to be presented at the Energy from Biomass: Building on a Generic Technology Base. Second Tech Rev Meeting 23-25 April, Portland-Oregon.

19. Satin M. Microalgae. Retrieved on 06/ 16/2008 from http://www.fao.org/ ag/ ags/ Agsi/ MICROALG.htm.

20. Scragg AH, AM. Ilman, A. Carden, SW. Shales, 2002; Growth of microalgae with increased calorific values in a tubular bioreactor. Biom Bioene 23: 67-73.

21. Ugwu CU, H. Aoyagi, H. Uchiyama, 2008, Photobioreactors for mass cultivation of algae. Biores Tech; 99: 4021-28.

22. Borowitzka MA, 1999; Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes, and fermenters. J Biotech 70: 313-12.

23. Torzillo G, B. Pushparaj, F. Bocci, W. Balloni, R. Materassi, G. Florenzano. 1986; Production of *Sprirulina* biomass in closed photobioreactors. Biomass 1: 61-74.

24. Wikipedia. Algaculture. Retrieved on 02/ 27/2007 from http://en.wikipedia. org/ wiki/Algaculture.

25. Morales J, J. Noûe, G. Picard, 1985; Harvesting marine microalgae species by chitosan flocculation. Aquacull Engin 4: 257-70.

26. Oilgae. Algae oil extraction. Retrie-ved on 02/27/2007 from http:// www.oilgae.com/algae/oil/extract/ extract.html.

27. Hossain ABMS, A. Salleh, 2008; Biodiesel fuel production from algae as renewable energy. Am J Bioche Biotech 4 (3): 250-54.

28. Minowa T, S. Sawayama, 1999; A novel microalgal system for energy production with nitrogen cCycling. Fuel 78: 1213-15.

29. Elliot DC, LJ. Sealock, 1999; Che-mical processing in high-pressure aqueous environments: low tempe-rature

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

catalytic gasification. Trans. IChemE 74: 563-66.

30. Minowa T, T. Kondo, ST. Sudirjo, 1998; Thermochemical liquefaction of Indonesian biomass residues. Biom Bioen 14, 5/6: 517-24.
31. Yang Y.F, CP. Feng, Y. Inamori, T. Maekawa, 2004; Analysis of energy conversion characteristics in liquefaction of algae. Res Cons Recycl 43: 21-33.
32. Murakami M, S. Yokoyama, T.Ogi, K. Koguchi, 1990; Direct liquefaction of activated sludge from aerobic treatment of effluents from the cornstarch industry. Biom 23: 215-28.
33. Itoh S, A. Suzuki, T. Nakamura, S. Yokoyama, 1994; Production of heavy oil from seawage sludge by direct thermochemical liquefaction. Desal 98: 127-33.
34. Miao X, Q Wu, C Yang, 2004; Fast pyrolysis of microalgae to produce renewable fuels. J. Anal. Appl. Pyrolysis 71: 855-63.
35. Agarwal AK. 2007, Biofuel (alcohol and biodiesel) applications as fuel for internal combustion engine. Prog Ener Comb Scie; 33: 233-71.
36. Qi Z, C. Jie, W. Tiejun, X Ying, 2007; Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. En Conv Mngt 48: 87-92.
37. Bridgwater AV, GVC Peacocke, 2000; Fast pyrolysis processes for biomass. Renew Sust Energy Rev 4: 1 – 73.
38. Wikipedia. Hydrogenation, Retrieved on 07/02/200 from http://en. wikipedia. org/wiki/Hydrogenation.
39. Ueno Y, N. Kurano, S. Miyachi, 1998; Ethanol production by dark fermentation in the marine green alga, *Chlorococcum littorale.* J Ferm Bioengi 86 No.1: 38-43.
40. Pintoa AC, LLN. Guarieiroa, GMJC. Rezendea, NM Ribeiroa, EA Torresb, WA. Lopesc, PAP Pereirac, JB Andrade, 2005; Biodiesel: an overview. J Braz Chem Soc 15, 5B: 1313-30.
41. Schuchardt U, R. Sercheli, RM. Vargas, 1998; Transesterification of vegetable oils a review. J Braz Chem Soc 9, 1: 199-210.
42. Journey to forever. Make your own biodiesel. Retrieved on 02/02/2006 from http: //journeytoforever.org/.
43. Anonymous. Biodiesel technology. Retrieved 07/12/2005 from http:// biodieseltechnologiesindia.com/ production.html.
44. Anonymous. Biodiesel. Retrieved 05/ 08/2006 from http://www. dange-rouslaboratories.org/biodiesel.html.
45. Sawayama S, S. Inoue, Y. Dote, S. Yokoyama, 1995; CO_2 fixation and oil production through microalga. En Convers Mgmt 36, 6-9: 729-731.
46. Wikipedia, Ethanol, Retrieved on 06/ 13/2008 from http://en.wikipedia. org/ wiki /Ethanol,
47. Bently J, R. Derby, Ethanol & fuel cells: converging paths of oppor-tunity. Renewable Fuels Asso-ciation. Retrieved on 07/24/2008 from http:// www.ethanol rfa.org/ objects/ documents/129/ rfa_fuel_cell_white_paper.pdf,
48. Noureddini H, D. Harkey, V.A. Medikonduru, 1998; Continuous process for the conversion of vegetable oils into methyl esters of fatty acids. JAOCS 75, 12: 1775-83.
49. Anderson D, D. Masterson, B. McDonald, L. Sullivan, 2003; Industrial biodiesel plant design and engineering: practical experience. Presented at the Chemistry and Technology Conference. Interna-tional Palm Oil Conference (PIPOC), 24-28 August, Putrajaya Mariot Hotel, Malaysia. Retrieved on 06/

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

07/2007 from http://www.crowniron.com/userImages/Biodiesel.pdf.

50. He BB, AP. Singh, JC. Thomson; A Novel continuous-flow reactor using reactive distillation technique for biodiesel production. Retrieved on 11/01/2007 from http://www.webpages.uidaho.edu/~bhe/RD/RD.htm

51. Gerpen JV, Biodiesel production and fuel quality. Retrieved on 08/23/2007 from http://www.uidaho. edu/ bioenergy/biodieselED/publication/01.pdf

52. Xu H, X Miao, Q Wu, 2006; High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermen-ters. J Biotech 126: 499-507.

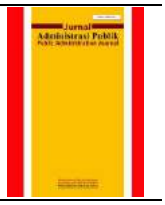
53. Kusdiana D, S. Saka, Biodiesel fuel for fuel substitute prepared by a catalyst-free supercritical methanol. Retrieved on 01/11/2007 from http://bioproducts-bioenergy.gov.

54. Svlele. Transesterification biodiesel process. Retrieved on 12/12/2006 from www.svlele.com/biodiesel-process.htm.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Administrasi Publik (Public Administration Journal), 8 (2) Desember 2018
ISSN 2088-527X (Print) ISSN 2548-7787 (Online) DOI: 10.31289/jap.v8i2.1900

Jurnal Administrasi Publik
(Public Administration Journal)
Available online http://ojs.uma.ac.id/index.php/jap



Model Kebijakan Pengembangan Energi Baru dan Terbarukan di Provinsi Banten

Policy Model in Renewable Energy development in Banten Province

Deni Fauzi Ramdani[1)*] & Arifina Febriasari[2)]**

1)Prodi Administrasi Publik, Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Serang Raya, Indonesia

2) Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya, Indonesia

Diterima: September 2018; Disetujui: Desember 2018; Dipublish: Desember 2018
*denifauziramdani@gmail.com
**arifinafebriasari1725@gmail.com

Abstrak

Tulisan ini dilatarbelakangi oleh adanya potensi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) di Provinsi Banten. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis bagaimana Model kebijakan dalam mengembangkan potensi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) di Provinsi Banten. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan deskriptif kualitatif dengan teknik pengumpulan data primer yaitu melalui wawancara dan observasi serta data sekunder dari berbagai sumber dan literatur baik dari dokumen pemerintah maupun pemberitaan media massa cetak dan elektronik. Analisis model pengembangan kebijakan potensi EBT provinsi Banten yang meliputi kajian prioritas dilihat dari faktor sumber daya, politik, regulasi, kultur masyarakat dan birokrasi/kelembagaan sebagai modal pemanfaatan Energi di Provinsi Banten. Model sistem yang diadaptasi dari Jenkins Bill dipakai dalam menjawab kebijakan pengembangan EBT di provinsi Banten untuk menguraikan setiap variabel input, proses, output, dampak dan umpan balik.

Kata Kunci: Model Kebijakan, Kebijakan Energi, Potensi Energi Baru Terbarukan,

Abstract

This research is motivated by the existence of the potential of New and Renewable Energy (EBT) in Banten Province. The purpose of this study is to analyze how to policy development model and potential policies for Renewable Energy (EBT) in Banten Province. The research method used is a qualitative descriptive approach with primary data collection techniques through interviews and observations as well as secondary data in the form of searching various sources and literature both from government documents and reporting on print and electronic mass media. The analize of model New and Renewable Energy policy Developmen in Banten Province including the initial conditions of The resources, politics and regulation, culture the community and bureaucracy as the base capital. Model of system adapted from Jenkins Bill was used to answer EBT development policies in Banten province to describe each input, process, output, impact and feedback variable.

Keywords: *Policy Model, Energy Policy, Potential of Renewable Energy*

How to Cite: Ramdani, D.F. & Febriasari, A, (2018). Model Kebijakan Pengembangan Energi Baru dan Terbarukan di Provinsi Banten. *Jurnal Administrasi Publik (Public Administration Journal)*. 8 (2): 192- 202.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PENDAHULUAN

Perkembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam wacana global terus meningkat sebagai wujud pengarusutamaan energi masa depan dan bagian pembangunan berkelanjutan. Berbagai negara di dunia terutama negara maju sudah memanfaatkan energi ini, sedangkan pada negara dunia ketiga termasuk Indonesia masih banyak kendala dalam pengembangan EBT. Salah satu pemicunya adalah kebijakan energi yang belum memihak pada energi alternatif ini. Negara berkembang masih melihat energi fosil masih dijadikan sumber energi murah dan bahan bakar ini harus tetap mendapatkan porsi utama dengan pemberian subsidi dari anggaran negara yang pada akhirnya menghambat pengembangan EBT.

Zaekhan dalam Heryadi (2016) mendefinisikan energi baru dan terbarukan sebagai energi yang cepat direproduksi melalui proses alami, seperti energi panas bumi, biomassa, air, matahari dan angin. Sedangkan Shafiei and Salim (2014) mengemukakan bahwa energi terbarukan terdiri dari kayu, limbah, geothermal, angin, sel fotovoltaik, air dan sumber panas matahari. Energi, menurut Undang Undang No. 30 Tahun 2007, bahwa energi diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja yang dapat berupa panas, cahaya, mekanika, kimia, dan elektromagnetika. Energi baru merupakan energi yang berasal dari sumber energi baru yang dihasilkan oleh teknologi baru baik yang berasal dari sumber energi terbarukan maupun sumber energi tak terbarukan, antara lain batubara tergaskan (*gasified coal*), gas metana batubara (*coal bed methane*) nuklir, hidrogen, dan batubara tercairkan (*liquefied coal*).

EBT menawarkan berbagai manfaat diantaranya menurut Yoesgiantoro (2017) pertama, Emisi gas rumah kaca yang rendah, baik saat dikonsumsi maupun pada saat proses produksinya. Fakta ini menjadikan energi terbarukan sebagai komponen utama dalam strategi menghadapi perubahan iklim untuk menggantikan sumber energi padat karbon. Kedua, Kesehatan publik yang lebih baik. Dampak positif rendahnya emisi karbon dari energi terbarukan diantaranya terhindarnya pencemaran terhadap udara dan air yang berpotensi menimbulkan berbagai penyakit. Ketiga, Persediaan bahan baku yang tidak akan habis. Suplai dari angin, sinar matahari, residu tanaman, panas dari dasar bumi serta air yang deras selalu tersedia. Keberagaman suplai ini akan menurunkan tingkat ketergantungan terhadap salah satu sumber energi. *Renewable energi is the replacement source of energi to fulfill the energi demand. Currently, the increase in energi needs is dominated by non-renewable fossil energi that has adverse impact on the environment.* (Kementerian Energi Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2017).

Bahwa fenomena pemanfaatan energi terbarukan bakal terus berkembang, apalagi regulasi khususnya di beberapa Negara maju disertai insentif, di Eropa dan Amerika misalnya, setidaknya ada 60 negara yang memberikan insentif bagi sector swasta yang memanfaatkan energi terbarukan dalam proses produksi dan operasionalnya (Armstrong Internal Magazine, 2014), EBT dapat menjadi sumber energi pengganti dari sumber energi yang pada umunya digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi. Saat ini peningkatan kebutuhan energi didominasi oleh energi fosil yang tak terbarukan dan tentunya tak ramah lingkungan. Meskipun demikian, konversi energi dari fosil ke non fosil mempunyai banyak tantangan seperti besarnya biaya investasi dan belum adanya pemetaan sumber energi. Di Indonesia dengan potensi tenaga air sebesar 450 gigawatt-5% dari total energi terbarukan, biaya Pembangunan Listrik Tenaga Air (PLTA) dianggap tidak kompetitif dan kurang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ekonomis dibandingkan energi fosil (Internal Magazine, 2014).

Dalam upaya pengembangan EBT, Kementerian ESDM Republik Indonesia telah merilis 5 (lima) langkah pengembangan EBT. Pertama, dengan menambah kapasitas pembangkit untuk produksi energi dalam beberapa tahun ke depan, pembangunan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dan pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) akan digencarkan. Langkah kedua, dengan menambah penyediaan akses terhadap energi modern bagi daerah terisolasi, khususnya pembangunan energi perdesaan dengan mikrohidro, tenaga surya, biomassa, dan biogas. Ketiga dengan mengurangi biaya subsidi BBM, dimana substitusi PLTd dengan pembangkit EBT dapat mengurangi subsidi, sedangkan, langkah keempat, dan kelima adalah mengurangi emisi gas rumah kaca dan penghematan energi besar-besaran. Salah satu jalan keluar atas ketergantungan energi fosil yang tinggi adalah dengan melakukan substitusi energi fosil murni dengan biofuel dengan melakukan kebijakan penggalakan pemanfaatan biofuel, diyakini pemerintah dapat melakukan penghematan sebesar delapan persen, dan masukan faktor kendaraan roda dua sebesar 17 persen.

Konteks kebijakan pusat, berbagai upaya dan langkah sudah dilakukan dalam rangka pengelolaan EBT dimana langkah tersebut diikuti dengan langkah teknis kementerian sebagai Rencana Aksi Nasional. Dalam penyusunan (RAN), Bappenas ditugaskan sebagai koordinator dan sekaligus melakukan koordinasi dengan pemerintah daerah dalam rangka pembuatan Rencana Aksi Daerah (RAD). Rencana aksi ini harus diselaraskan dengan rencana pembangunan nasional yang berdasarkan pada pertumbuhan ekonomi untuk kesejahteraan masyarakat. Dalam melaksanakan kewenangan sesuai dengan Undang-undang Nomor 23 tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah disebutkan bahwa kewenangan dalam mengelola energi dan sumber daya mineral sebagai bagian dari kewenangan provinsi diantaranya adalah mengelola energi baru dan terbarukan, penerbitan ijin pemanfaatan langsung panas bumi lintas kabupaten/kota, penerbitan surat keterangan terdaftar usaha penunjang panas bumi dalam provinsi dan penerbitan ijin pembinaan dan pengawasan usaha niaga bahan bakar nabati sampai dengan 10.000 ton.

Berbagai penelitian tentang Energi Baru Terbarukan (EBT) sudah banyak dilakukan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Aizeda, Shahid, Bhatti, Saleem dan Anandarajah (2017) bahwa, *Analyzing renewable energi policy of Pakistan and examining and finding the ways to secure energi supplies in future using Long range energi alternative planning* (LEAP). Sistem LEAP yang telah digunakan di Pakistan dalam penelitian tersebut untuk meramalkan permintaan energi, menganalisis listrik teknologi generasi, mengoptimalkan sistem pembangkitan berbeda skenario dan proyeksi pengilangan minyak, penambangan batubara, gas alam produksi dan produksi LPG. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Muhartono (2014) yang bertujuan untuk menganalisis kelembagaan pengelola energi dilihat dari aspek regulatif, normatif dan kognitif dimana besaran nilai ketiga aspek kelembagaan tersebut dapat dijadikan dasar/prioritas pengembangan energi laut.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Zulhadi dan Fazli (2010), yang mengidentifikasi potensi sumber daya alam (SDA) di Provinsi Riau yang berlimpah seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam memiliki potensi sumber energi terbarukan (SET) yang cukup banyak seperti energi surya, energi angin, energi air, energi gas bio (Biogass) dan Biomass serta energi yang berasal dari bahan nabati lainnya. Hasil penelitian menunjukan bahwa, Provinsi Riau

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

memiliki potensi pengembangan energi listrik berbahan bakar pelapah sawit, terutama di Kecamatan Mandah Kabupaten Indragiri Hilir dan Desa Sidomukti Kabupaten Pelalawan. Hasil penelitian tersebut juga mengkaji mengenai total biaya investasi untuk satu unit pembangkit listrik gasifikasi dari pelepah sawit senilai 1,815 Miliyar Rupiah dengan biaya pemakaian listrik per kWh adalah Rp. 906, kemudian penelitian yang dilakukan Lubis (2007), menganalisis tentang energi terbarukan dalam mendukung pembangunan berkelanjutan, sedangkan Juwito, Pramonohadi dan Haryono (2012) meneliti optimalisasi energi terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam program Desa Mandiri Energi di Margajaya.

Sumber daya energi berkontribusi terhadap penerimaan Negara dan sebagai modal pembangunan yaitu digunakan untuk sumber energi lokal. Menurut data statistik Provinsi Banten tahun 2017, besarnya nilai tambah sektor Pertambangan dan Penggalian ditambah Sektor Listrik, Gas dan Air Bersih (Energi) tahun 2017 adalah sebesar 16,57 triliun rupiah atau memberi kontribusi sebesar 2,94 persen terhadap PDRB Banten. Sektor Pertambangan dan Penggalian sebesar 4,15 triliun rupiah (0,73 persen) dan sektor Listrik, Gas dan Air Bersih (Energi) 12,42 triliun rupiah (2,20 persen). Sedangkan pada tahun 2016, besarnya nilai tambah sektor pertambangan dan energi sebesar 17,17 triliun rupiah dengan kontribusi 3,18 persen terhadap total PDRB Banten. Kontribusi sektor energi terhadap PDRB Banten pada tahun 2017 sebesar 2,20 persen, dimana subsektor listrik menyumbang 0, 33 persen, gas kota dan air bersih masing-masing menyumbang 1,79 persen dan 0,0 8 persen. Secara absolut, PDRB atas dasar berlaku untuk subsektor listrik, gas kota dan air bersih masing-masing sebesar 1,88 triliun rupiah, 10,09 triliun rupiah dan 449,42 miliar rupiah.

Lokasi potensi panas bumi tersebar di dua wilayah kabupaten yaitu Kabupaten Serang dan Kabupaten Pandeglang. Lokasi potensi Panas Bumi Batukuwung (Kabupaten Serang), Gunung Karang (Kab. Pandeglang-Serang), Citaman-G.Karang (Kabupaten Pandeglang), Rawa Dano (Kabupaten Serang). Gunung Pulosari (Kabupaten Pandeglang) telah ditetapkan dalam satu Wilayah Kerja Pertambangan (WKP) Panas Bumi yaitu WKP Kaldera Danau Banten melalui SK. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 0026/K/30/MEM/2009 tanggal 15 Januari 2009 tentang Penetapan Wilayah Kerja Pertambangan (WKP) Panas Bumi di Daerah Kaldera Danau Banten, Kabupaten Serang dan Kabupaten Pandeglang Provinsi Banten, dengan potensi berdasarkan tingkat penyelidikan rinci sebesar 115 MWe.

Potensi energi air Banten terdapat di tiga tempat yaitu Curug Betung Kabupaten Serang dengan potensi 529,74 Kw, Curug Kebo Kabupaten Lebak dengan potensi 25,6-30 kW dan Curug Rorah Buluh Kabupaten Pandeglang dengan potensi 5-6 Kw. Kemudian peta sebaran PLT Pikohidro terpasang ada di Kabupaten Pandeglang dan Kabupaten Lebak dengan masing-masing sebesar 8 unit.

Jumlah total infrastruktur Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Banten yaitu 1761 unit PLTS yang tersebar di tiga kabupaten /kota yaitu sebanyak 1017 unit di Kabupaten pandeglang, 153 unit di Kabupaten Serang dan 591 unit di Kabupaten Lebak. Sedangkan PLTS terpusat terdapat di Pulau Panjang dengan kapasitas 2x15 kWp dan Pulau Tunda dengan kapasitas 25 kWp.

Potensi energi angin memiliki kapasitas 1.753 MW meliputi Pantai Anyer dengan kecepatan angin rata-rata 2,95, Pantai Carita dengan kecepatan angina rata-rata 2,95 dan Pantai Karang Taraje dengan kecepatan angina rata-rata sebesar 2,98.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dari kurun waktu tahun 2011 sampai dengan 2017 infrastruktur bioenergi yang meliputi biogas komunal dan skala rumah tangga tersebar di 44 (empat puluh empat) titik yaitu sebanyak 21 (dua puluh satu) lokasi di Kabupaten Pandeglang, lima titik di Kota Tangerang, tiga Kota Serang, empat di Kabupaten Serang, dua di Kabupaten Tangerang, enam di Kabupaten Lebak dengan total 50 unit jenis digester.

Potensi sampah kota berada di 3 (tiga) titik lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yaitu Cilowong (Kabupaten Serang) dengan kapasitas TPA pertahun sebesar 36.500 ton, jumlah efisiensi system pembangkitan sebesar 15.281 MWh dan total potensi Tekno Eko sebesar 2,18Mwe. Rawa Kucing (Kota Tangerang) memiliki kapasitas TPA pertahun sebesar 156.038 ton, jumlah efisiensi system pembangkitan sebesar 65.329 MWh dan total potensi Tekno Eko sebesar 10,07Mwe dan Badegung (Kota Cilegon) memiliki kapasitas TPA pertahun sebesar 14.143 ton, jumlah efisiensi system pembangkitan sebesar 5.921 MWh dan total potensi Tekno Eko sebesar 0,84 Mwe.

Dinas Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) sebagai *stakeholder* Pemerintahan Provinsi Banten bidang energi dalam program dan kebijakannya sudah mengimplementasikan EBT di berbagai wilayah Provinsi Banten seperti dipasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terpusat sebesar 25 kWp di Pulau Tunda Kabupaten Serang, PLTS terpusat sebesar 15 kWp di Pulau Panjang Kabupaten Serang, instalasi reaktor biogas skala rumah di Kabupaten Pandeglang, dan 50 (lima puluh) unit biogas komunal dan skala rumah tangga di Kabupaten Serang, Lebak dan Pandeglang, akan tetapi dalam implementasinya kebijakan EBT berbasis non fosil tersebut masih belum optimal. Beberapa permasalahan seperti tingginya biaya ekonomi energi non fosil untuk instalasi tenaga surya dan tenaga angin, persoalan kultur masyarakat yang belum familiar dengan teknologi EBT dimana masyarakat masih terbiasa dan lebih mudah mengakses energi fosil, belum adanya *sense of belonging* atau rasa memiliki dan *sense of responsibility* atau rasa tanggung jawab masyarakat terhadap penerapan EBT serta tidak adanya ketersediaan lahan untuk pengembangan skala industry EBT.

Sasaran dan strategi pengembangan EBT Provinsi Banten di masa mendatang perlu disusun dengan model kebijakan yang tepat sehingga dapat mengatasi dan menyelesaikan tantangan sektor EBT dengan fokus pada pencapaian sistem EBT yang mandiri dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis model kebijakan dalam pengembangan potensi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) berdasarkan potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) diharapkan bisa menjadi panduan dalam menyusun formulasi kebijakan EBT di Provinsi Banten.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah pendekatan deskriptif kualitatif yang berupaya mendeskripsikan potensi EBT dan model pengembangan kebijakan strategis EBT, sedangkan teknik pengumpulan data dilakukan melalui inventarisasi data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer diperoleh dari data empiris lapangan melalui teknik: Wawancara mendalam (depth interview) dan Observasi non Partisipan terhadap steakholders yang berkaitan langsung dengan informan yang terlibat dalam pengembangan energi. Data sekunder diperoleh melalui penelusuran berbagai dokumen pemerintah, literatur, pemberitaan media massa cetak dan elektronik, jurnal dan buku-buku yang terkait dengan kebijakan EBT sebagai sebuah aplikasi pencarian data dilapangan. Selanjutnya data yang terkumpul, dianalisis dengan analisis kualitatif berdasarkan model interaktif Miles dan Huberman (1992).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

HASIL DAN PEMBAHASAN

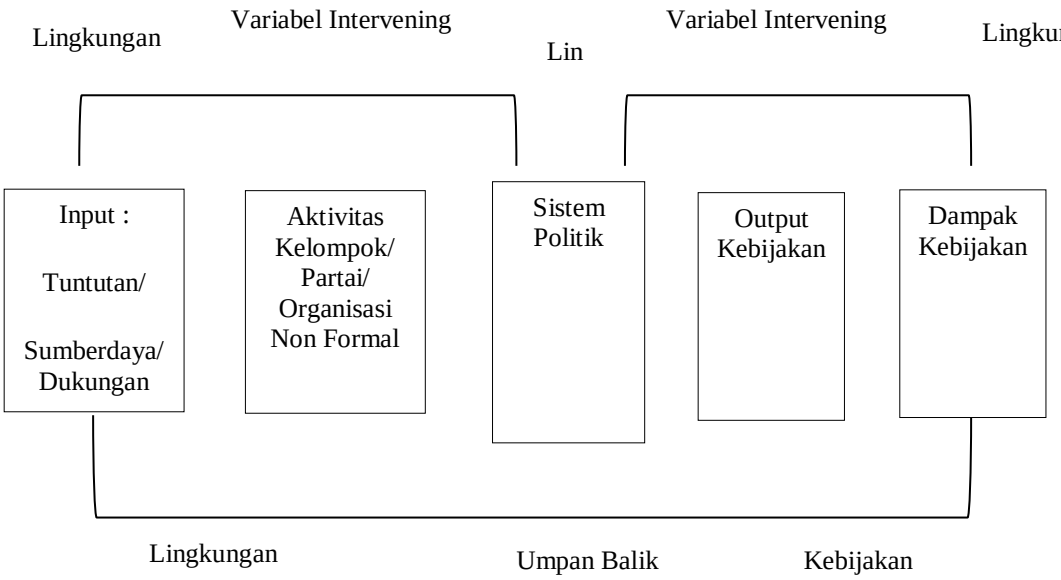
Rencana Umum Energi Daerah (RUED adalah kebijakan pemerintah provinsi mengenai rencana pengelolaan energi tingkat provinsi yang merupakan dan penjabaran dan pelaksanaan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang bersifat lintas sektor untuk mencapai sasaran RUEN. Perpres 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional secara spesifik memberikan dukungan bagi pengembangan sektor energi baru terbarukan dan pengutamaan konservasi energi dalam pengelolaan energi nasional. Kebijakan Energi Nasional mengamanatkan penerapan strategi pengelolaan energi melalui efisiensi pemanfaatan energi dan diversifikasi sumber energi. Pemanfaatan energi yang sebelumnya boros yang salah satunya diakibatkan dari persepsi masyarakat yang melihat energi sebagai sumber daya yang selalu tersedia dengan mudah dan murah karena di subsidi negara diupayakan menjadi lebih efisien dengan target intensitas energi mengalami penurunan sebesar 1% setiap tahun sampai tahun 2025.

Secara umum kebijakan EBT dapat didefinisikan menjadi kebijakan yang bersifat secara langsung dan tidak langsung mendorong pembangunan dengan membatasi konsumsi terhadap energi fosil, kebijakan-kebijakan tersebut diharapkan akan mampu meningkatkan pangsa energi terbarukan dan memberikan dampak yang positif terhadap perkembangan ekonomi dan lingkungan secara baik. (Liu et. Al, 2018). Terdapat beberapa alasan mengapa EBT harus dikelola secara optimal yaitu sebagai berikut : 1) sebagai kontribusi penyediaan energi bersih untuk menurunkan emisi GHG dalam rangka mencegah pengaruh perubahan iklim; 2) Mengamankan kecukupan penyediaan energi jangka panjang, menghadapi semakin menipisnya sumber energi fosil; 3) Upaya *diversivikasi* untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil; 4) Memperkuat ketahanan energi: lebih *resilient* terhadap dinamika perubahan pasokan dan harga internasional; 5) Kontribusi kepada perekonomian, dengan mendorong berkembangannya industri ET dalam negeri, usaha kecil menengah, dan menambah lapangan kerja. (HD Ibrahim, 2016).

Modifikasi Model Sistem Kebijakan EBT Provinsi Banten

Model kebijakan publik yang inovatif sebagai sebuah keniscayaan secara prinsip dan substantif akan memberikan penguatan dalam merespon dan menyelesaikan problematika di tengah masyarakat (Sururi, 2016). Maka diharapkan melalui model kebijakan yang inovatif maka tantangan dan hambatan penerapan energi baru dan terbarukan dapat diatasi. Hal tersebut didukung oleh implementasi sistem kebijakan yang menekankan pada pendekatan makro tentang perumusan kebijakan yang melihatnya sebagai sebuah ekosistem. (Nugraha, 2015). Model ini menerangkan bahwa perumusan kebijakan berasal dari input tuntutan dan dukungan politik; dilanjutkan di institusi politik, Negara atau pemerintah dan produk sebagai output politik adalah keputusan atau kebijakan publik. Sehingga pada konteks bagaimana model kebijakan EBT dikembangkan akan membentuk sebuah sistem yang dapat dirumuskan bahwa formulasi kebijakan publik adalah proses transformasi input menjadi output (Bauer dalam Wahab, 2012) yang dalam tahap selanjutnya berlangsung sebuah tahap dalam proses kebijakan dimana sebuah isu yang menjadi agenda pemerintah diteruskan dalam bentuk hukum publik (Lster & Stewart, 2000).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 1 Model Sistem yang diadopsi dari Jenkins Bill (1993)

Sebagai tahap awal model sistem dalam kebijakan EBT di Provinsi Banten terdiri dari input yaitu tuntutan kebutuhan pasokan EBT sebagai energi alternatif sekaligus dampak dari perkembangan perekonomian Provinsi Banten, dampak global kenaikan minyak dunia, kelangkaan pasokan minyak; sumber daya meliputi potensi EBT Provinsi Banten yang cukup besar dengan jumlah potensi total kapasitas terpasang EBT sebesar 6.310 ME dan total kapasitas tambahan sebesar 8.258 MW, kondisi eksisting Banten sebagai lumbung energi; serta dukungan yang meliputi grand design kebijakan enegeri nasional melalui RUEN, RUED sebagai pedoman disusunnya Peraturan Daerah tentang EBT di Provinsi Banten**.**

Variabel input tersebut didukung oleh kelompok-kelompok kepentingan seperti Lembaga Swadaya Masyarakat dan organisasi non formal dari berbagai stakeholder kebijakan yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung. Dalam hal ini interest atau kepentingan digunakan untuk menggambarkan adanya hubungan emosi dalam wujud kepentingan akan memengaruhi cara implementor melaksanakan tugasnya (Anggara, 2018). Kelompok-kelompok di Provinsi Banten yang berupaya mendorong kebijakan EBT adalah Dewan Riset Daerah Provinsi Banten, Kantor Dagang dan Industri Provinsi Banten, Serikat Energi Pertambangan Daerah Banten, Perguruan Tinggi, organisasi masyarakat/NGO Lingkungan Rekonvasi Bumi, kelompok aktivitis mahasiswa dan media massa.

Proses input dan aktivitas kelompok tersebut disempurnakan melalui variabel Intervening dalam mekanisme seperti terselenggaranya rapat dengar pendapat antara Pemerintah, aktivis kelompok EBT dan legislative; dialog publik seperti Forum Group Discussion (FGD) perguruan tinggi dan masyarakat, seminar kebijakan EBT, sarasehan EBT dan sosialisasi EBT terhadap masyarakat.

Tahapan sentral dari model sistem adalah aktivitas sistem politik dalam hal ini adalah actor kebijakan yang mengakomodir input dan tuntutan dari berbagai kelompok kepentingan tersebut. Penyusunan dan sosialisasi publik tentang Rencana Umum Energi Daerah (RUED) Provinsi Banten sebagai draft kebijakan energi daerah diformulasikan menjadi kebijakan publik dalam bentuk output Peraturan Daerah. Dalam fase output kebijakan, parameter pengukuran output keberhasilan kebijakan dilihat dari dampak kebijakan untuk mengetahui

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sejauhmana manfaat dari implementasi kebijakan EBT di Provinsi Banten. Pengukuran dampak kebijakan melalui dimensi waktu, derajat pencapaian kebijakan, dampak ekonomi kesejahteraan dan produktivitas masyarakat, aspek perubahan sikap dan perilaku masyarakat terhadap penggunaan EBT serta kualitas kehidupan masyarakat. Variable intervening output dan dampak kebijakan tersebut dilakukan pengukuran kebijakan melalui parameter konsistensi implementasi kebijakan baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Selanjutnya model sistem politik bekerja secara dinamis dalam sebuah lingkungan (*environment*) sebagai sumber tuntutan dan dukungan yang muncul terhadap sistem politik. Output kebijakan dari aktivitas sistem politik tersebut tidak akan terlepas dari kondisi lingkungan, hal ini menjadi penyebab munculnya umpan balik dari lingkungan untuk melakukan perubahan kebijakan sebagai masukan (*advice*).

Kebijakan Energi di provinsi Banten bisa dilihat dari capaian kinerja Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) Provinsi Banten tahun 2017 berdasarkan indikator kinerja utama rasio elektrifikasi yang menggambarkan tingkat prosentase masyarakat yang telah terakses infrastruktur listrik baik secara konvensional (PT. PLN) atau pun melalui pembangkit energi baru terbarukan (EBT). Sampai dengan tahun 2016, rasio elektifikasi Banten telah mencapai 95,20%, lebih tinggi dari rata-rata nasional sebesar 91,60%, dan berdasarkan hasil pengukuran sementara, meningkat lagi pada tahun 2017 menjadi 95,60%. Pencapaian ini jauh melampaui target kinerja yang direncanakan dalam RENSTRA-SKPD maupun RPJMD Provinsi Banten yang hanya menargetkan rasio elektrifikasi Banten sebesar 89,04% pada tahun 2016 dan 91,04% pada tahun 2017. (https://desdm.bantenprov.go.id**,** diakses pada tanggal 02 Agustus 2018). Kemudian berdasarkan jumlah penerapan energi alternatif (unit) sebagai salah satu indikator kinerja meningkatnya penghematan penggunaan energi fosil, terutama untuk wilayah di Provinsi Banten yang terpencil dan belum mendapatkan akses jaringan listrik konvensional dari PT. PLN sampai dengan tahun 2017 telah dibangun sebanyak 736 unit pembangkit/reaktor dari sumber EBT, dari target yang ada dalam RENSTRA-SKPD Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Banten Tahun 2012-2017 sebanyak 1.353 unit. Dibandingkan dengan target dalam RENSTRA-SKPD sampai dengan tahun 2017 sebanyak 1.353 unit, maka pencapaian indikator kinerja ini sampai dengan tahun 2017, minus 617 (enam ratus tujuh belas) unit pembangkit/reaktor, atau hanya 54,40% tingkat capaiannnya. Tidak tercapainya indikator kinerja utama ini adalah disebabkan oleh karena adanya kendala mekanisme penganggaran pada tahun 2016, sehingga 390 unit target penerpan energi alternatif pada tahun 2016 gagal terlaksana, selain karena adanya kebijakan pimpinan terkait prioritas anggaran pembangunan.

Pengembangan Kebijakan EBT

Inovasi berkontribusi dalam memberikan pengetahuan-pengetahuan baru dan bermanfaat bagi kebijakan publik sedangkan kebijakan publik memberikan suplemen teori, pedoman dan metodologi yang dapat memperkuat inovasi kebijakan publik (Sururi, 2016:13). Pemilihan dan penentuan jenis sumber energi dan teknologi yang dikembangkan berdasarkan potensi EBT di suatu wilayah perlu terus dilakukan sebagai landasan perumusan kebijakan, hal ini bertujuan agar pengembangan EBT dapat memberikan manfaat secara optimal. Terdapat beberapa pilihan formulasi dan pengembangan kebijakan EBT. Penulis dalam hal ini mengemukakan sebuah inovasi formulasi dan pengembangan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

kebijakan EBT berdasarkan kondisi awal, model sistem kebijakan yang diadaptasi dari Jenkin (1993) dan tindak lanjut/keberlanjutan. Kondisi awal pengembangan potensi EBT Provinsi Banten yang meliputi sumber daya, politik dan regulasi, kultural masyarakat dan birokrasi/kelembagaan sebagai modal basis bagi pengembangan kebijakan EBT di Provinsi Banten.

1. Sumber Daya

Sumber daya eksisting EBT di Provinsi Banten dapat diklasifikasikan menjadi 6 (enam) potensi EBT yaitu Panas Bumi, Minihidro dan Mikrohido, Tenaga Surya, Bayu, Bioenergi dan Sampah Kota. Provinsi Banten yang terletak di Ujung Barat Pulau Jawa merupakan lumbung Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang sangat besar. Tercatat Banten memiliki potensi EBT sebesar 6.310 MW (terpasang) dan 5.862 (bersih). Berdasarkan data Direjen EBTKE Tahun 2017, potensi aneka EBT di Provinsi Banten dari panas bumi mencapai kisaran 626 MW, Minihidro dan Mikrohido sebesar 72 MW, tenaga surya sebesar 2.461 MW, sumber EBT Bayu sebesar 1.753 MW, Bioenergi sebesar 465,1 MW dan sampah kota sebesar 13,09 MWe. Dengan potensi EBT yang melimpah tersebut, optimisme stakeholder kebijakan EBT di Provinsi Banten dalam mendukung kebijakan nasional yang menetapkan bahwa pada tahun 2025 sumber energi harus 23% berasal dari EBT sangatlah tepat.

2. Perubahan Kultural Masyarakat

Memberikan sosialisasi dan pemahaman terhadap masyarakat tentang pentingnya EBT sebagai energi masa depan, merubah paradigm, pola dan perilaku masyarakat yang masih terbiasa menggunakan energi fosil ke energi non fosil menjadi merupakan sebuah upaya dan tantangan bagi pemerintah daerah dalam mewujudkan keberhasilan kebijakan EBT. Penggunaan EBT Biogas di pondok pesantren Baitul Hamdi dan Az Zikro Kabupaten Pandeglang dapat dipandang sebagai program dan langkah strategis Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Banten dalam mensosialisasikan EBT di Provinsi Banten.

Tabel 1
Potensi Aneka EBT Provinsi Banten

No	Jenis EBT	Potensi
1	Panas Bumi	626 MW
	Sumber Daya	261
	Cadangan	365
2	Mikrohido dan Minihidro	72 MW
3	Tenaga Surya	2.461 MW
4	Bayu	1.752 MW
5	Bioenergi	465,1 MW
	Biomasa/Biofuel	346,5
	Biogas	118,6
6	Sampah Kota	13,09 MW
	TPA Cilowong	2,18
	TPA Rawa Kucing	10,07
	TPA Badegung	0,84

Sumber : Dirjen EBTKE, 2017

3. Birokrasi/Kelembagaan

Restrukturisasi birokrasi/ kelembagaan merupakan bagian dari reformasi kebijakan EBT dalam mendorong peningkatan efisiensi birokrasi/kelembagaan daerah. Restrukturisasi organisasi /kelembagaan dimaksudkan untuk menjawab tuntutan dan tantangan dinamika masyarakat yang terus berkembang, penguatan kebijakan otonomi daerah dan keterbukaan pasar energi secara nasional. Hal tersebut sejalan dengan desentralisasi sektor energi ke daerah yang menuntut adanya konsekuensi pelimpahan wewenang dari pusat ke daerah dalam pengelolaan energi daerah. Konsep *Public Private Partnership* yang melibatkan pemerintah, masyarakat dan swasta akan mengurangi beban Pemerintah dan mendorong partisipasi public secara luas dalam sector EBT.

SIMPULAN

Simpulan yang bisa dijabarkan dari tulisan ini adalah Potensi EBT di Provinsi Banten yang cukup besar merupakan modal penting bagi terwujudnya kemandirian EBT pada tingkat

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pemerintahan daerah, Rencana Umum Energi Daerah (RUED) merupakan pedoman dan arah pengembangan kebijakan energi daerah dalam mengembangkan potensi energi daerah yang dilaksanakan secara berkelanjutan. Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang energi mengamanatkan perencanaan energi daerah diserahkan kepada daerah sesuai kewenangannya dengan memperhatikan karakter dan kondisi masing-masing daerah yang disusun berdasarkan RUEN. Oleh sebab itu proses penyusunan RUED yang saat ini sedang dilakukan oleh Pemerintahan Provinsi Banten menjadi sangat penting dan mendesak pada tahap selanjutnya akan ditetapkan dalam bentuk Peraturan Daerah (Perda) tentang energi terutama dalam pemilihan jenis sumber energi dan regulasi penggunaan teknologi dengan memerhatikan Model sistem yang diadaptasi dari Jenkins Bill, sistem kebijakan berupa input, sumber daya dan dukungan yang meliputi *grand design* kebijakan energi nasional. Model kebijakan dalam pengembangan EBT menjadi jawaban model yang menjadi dasar dalam menetapkan sebuah kebijakan yang sistematis dengan dukungan dari seluruh stakeholder kebijakan di Provinsi Banten, hal tersebut untuk mendorong agar kebijakan EBT bersifat strategis dalam jangka pendek maupun jangka panjang dan tidak dipandang sebagai kebijakan yang parsial. Mendorong perubahan paradigma masyarakat terhadap EBT sebagai energi masa depan harus terus dilakukan dengan melibatkan partisipasi dan pengembangan ekonomi masyarakat.

Analisis model pengembangan kebijakan potensi EBT provinsi Banten yang meliputi kajian prioritas bisa dilihat dari faktor sumber daya, politik, regulasi, kultur masyarakat dan birokrasi/kelembagaan sebagai modal pemanfaatan Energi di Provinsi Banten. Model sistem yang diadaptasi dari Jenkins Bill dipakai dalam menjawab kebijakan pengembangan EBT di provinsi Banten untuk menguraikan setiap variabel input, proses, output, dampak dan umpan balik. Pada akhirnya Pemerintah Provinsi Banten harus didorong

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi yang telah membantu dalam pendanaan pengumpulan data. Selain itu ucapan terimakasih disampaikan pula pada Dinas Energi Sumber Daya dan Mineral Provinsi Banten selaku stakeholder kebijakan energi di Provinsi Banten yang telah memberikan data dan kerjasamanya dalam penelitian ini, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Dan, A. (2014). *Internal Magazine*. PT. Vale Indonesia.

Elum, Z. A., & Momodu, A. S. (2017). *Climate change mitigation and renewable energy for sustainable development in Nigeria: A discourse approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76 (August 2015), 72–80. http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.04

Griffiths, S.1. (2017). *Renewable energi policy trends and recommendations for GCC countries*. Energi Transit

Herman, D.I. (2016). *Prospek dan Tantangan Pengembangan Energi Terbarukan,* 2016. Seminar Ketahanan Energi, Bogor 13 Desember 2016

Heryadi. M.D. dan Hartono, D. (2016). Energi Efficiency, Utilization of Renewable Energies, and Carbon Dioxide Emission: Case Study of G20 Countries. *International Energi, Journal* 16 (2016) 143-152

Juwito, A.F. Haryono, T. (2013). Optimisasi Energi Terbarukan dalam Pembangkitan Energi Listrik Menuju Desa Mandiri Energi di Desa Margajaya, *JNTETI*, Vol. 2, No. 3, Agustus 2013

Lester dan Stewart. (2000). *Public Policy: An Evoluting Approach.* Australia: Wadswoth.

Liu, et.al. (2018), A PDRMIP Multimodel Study on the Impacts of Regional Aerosol Forcings on Global and Regional Precipitation, *American Metereological Society*, Volume 31 No. 11 June 2018

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Lubis, A. (2007). Energi terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan Teknologi *Jurnal Teknik Lingkungan*, Volume 8 Nomor 2 Hal 155-162, 2007

Muhartono, R. Mira, E.S.L. & Suryawati, S.H, (2004). Analisa Kelembagaan Pengelola Energi Sebagai Pendukung Kebijakan Pengembangan Energi Laut, *J. Kebijakan Sosek* KP Vol. 4 No. 1 Tahun 2014

Nugraha, R, (2015). *Kebijakan Publik di Negara-negara berkembang*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Shafiei S. and Salim, R.A. (2014). Non-renewable and renewable energi consumption and CO2 emissions in OECD countries: A comparative analysis. *Energi Policy* 66: 547 – 556.

Sururi, A. (2016). Inovasi Kebijakan Publik (Tinjauan Konseptual dan Empiris), *Jurnal Sawala Volume 4 Nomor 3 September-Desember.*

Wahab, A & Solichin. (2012). *Analisis kebijaksanaan dari Formulasi ke Implementasi Kebijaksanaan Negara.* Jakarta: Bumi Aksara.

Yoesgiantoro, D. (2017). *Kebijakan Energi Lingkungan*. Depok: LP3ES.

Zulhadi, T, & Fazli, S. (2010). Identifikasi Sumber Energi Terbarukan (SET). *Jurnal UIN Suska Riau*.

Dokumen

Undang-undang Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah.

Undang-undang Nomor 30 tahun 2007 tentang energi.

Kementerian Energi Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2017.

Perpres 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional

Rencana Strategi Dinas Energi Sumber Daya dan Mineral Provinsi Banten, 2017.

Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Provinsi Banten 2015-2019

SK. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 0026/K/30/MEM/2009 tanggal 15 Januari 2009 tentang Penetapan Wilayah Kerja Pertambangan (WKP) Panas Bumi di Daerah Kaldera Danau Banten, Kabupaten Serang dan Kabupaten Pandeglang Provinsi Banten

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Geuthèë: Penelitian Multidisiplin
Vol. 02, No. 01, (Mei, 2019), pp. 245-252.

MULTI INPUT ENERGI TERBARUKAN PADA SISTEM DC BUS MENGGUNAKAN BUCK BOOST CONVERTER

RENEWABLE ENERGY MULTI INPUTS IN DC BUS SYSTEM USING BUCK BOOST CONVERTER

Budi Triyono[1], Yuli Prasetyo[2]

[1,2]*Politeknik Negeri Madiun, Jl. Serayu No 84, Madiun, Jawa Timur, Indonesia.*

E-mail: buditriyono@pnm.ac.id

Diterima: 05/03/2019; Disetujui: 06/05/2019

ABSTRAK

Buck-boost converter merupakan suatu rangkain untuk merubah tegangan keluaran menjadi tegangan yang lebih besar atau lebih kecil dari tegangan masukan. Perancangan buck- boost converter ini digunakan untuk sumber energi terbarukan. Buck-boost converter ini menggunakan Arduino Uno sebagai pengatur nilai duty cycle / PWM (Pulse Width Modulation). Switching PWM menggunakan Mosfet IRFP460 yang memiliki range 3 – 200 V dengan optocoupler TLP250. Untuk mendeteksi tegangan dapat menggunakan pembagi tegangan yang berfungsi untuk memberikan umpan balik pada Arduino tegangan keluaran stabil. Dikarenakan polaritas tegangan keluaran buck-boost converter yang terbalik, maka pembagi tegangan tidak dapat membaca tegangan keluaran. Jadi, untuk membatasi tegangan keluaran digunakan dioda zener. Dengan tegangan masukan bervariasi sebesar 7 – 20 Volt, maka dihasilkan tegangan keluaran 14,86 Volt.

Kata Kunci: Buck-boost converter, PWM, Arduino Uno.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ABSTRACT

The buck-boost converter is a series for changing the output voltage to a voltage greater or less than the input voltage. The design of this buck-boost converter is used for renewable energy sources. This Buck-boost converter uses Arduino Uno as a regulator of the duty cycle / PWM (Pulse Width Modulation) value. PWM switching uses Mosfet IRFP460 which has a range of 3 - 200 V with a TLP250 optocoupler. To detect the voltage can use a voltage divider which serves to provide feedback on the Arduino stable output voltage. Because the polarity of the output of the buck-boost converter is reversed, the voltage divider cannot read the output voltage. So, to limit the output voltage is used a zener diode. With input voltages varying from 7-20 Volt, output voltage of 14.86 Volt is produced.

Keywords: Buck-boost converter, PWM, Arduino Uno.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Geuthèë: Penelitian Multidisiplin
Vol. 02, No. 01, (Mei, 2019), pp. 245-252.

PENDAHULUAN

Beragamnya energi dari alam yang ada, haruslah dimanfaatkan untuk keberlangsungan energi listrik. Tenaga dari angin dapat dikonversikan ke energi listrik melalui turbin angin yang dipasang dengan generator DC dan energi dari cahaya matahari dikonversikan menjadi energi listrik lewat solar cell yang menghasilkan sumber listrik DC.

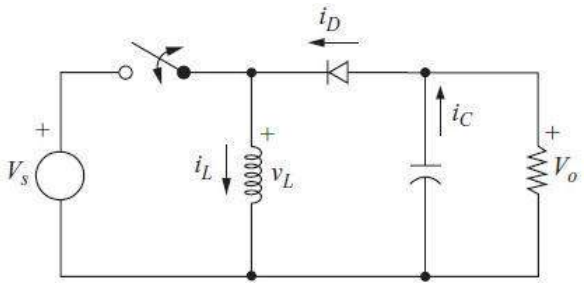
Karena memiliki nominal tegangan yang berubah- ubah setiap waktunya, maka tegangan DC tersebut harus disamakan terlebih dahulu nilai tegangan keluarannya. Untuk menyamakan tegangan dari kedua sumber energi tersebut, digunakan rangkaian buck-boost converter. Penggunaan buck-boost converter yaitu berdasarkan pada fungsinya yang dapat menurunkan tegangan (buck) dan dapat menaikkan tegangan (boost) dengan cara mengatur nilai duty cycle. Nilai duty cycle akan diatur secara otomatis oleh mikrokontroller Arduino Uno.

Digunakannya sistem listrik DC karena hampir keseluruhan beban-beban rumah tangga menggunakan listrik DC. Dengan sistem DC, maka konversi listrik AC-DC pada adaptor tidak diperlukan lagi. Listrik DC juga lebih efisien karena frekuensinya nol dan lebih aman karena menggunakan tegangan yang rendah. Terlebih sistem ini merupakan listrik yang mandiri karena tidak membutuhkan suplai listrik dari PLN sehingga diharapkan dapat membantu daerah yang belum teraliri listrik.

METODE PENELITIAN

1. Buck-Boost Converter

Buck-Boost Converter adalah tipe dari DC-DC converter yang dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah atau lebih tinggi dari tegangan masukan yang didapat. Saat saklar tertutup (ON) maka maka arus di induktor akan naik, saat saklar terbuka (OFF) maka arus di induktor turun dan mengalir menuju beban. Dengan cara ini, nilai rata- rata tegangan beban sebanding dengan rasio antara waktu pembukaan dan waktu penutupan saklar. Akibatnya, nilai rata- rata tegangan beban bisa lebih tinggi maupun lebih rendah dari tegangan sumbernya. Skema buck-boost converter ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian *buck-boost converter*

Masalah utama dari buck-boost converter adalah menghasilkan riak arus yang tinggi baik di sisi masukan maupun sisi keluarannya. Sehingga, diperlukan tapis kapasitor yang besar di kedua sisinya sehingga dapat mengurangi besarnya riak arus yang tinggi.

Persamaan dalam perancangan buck-boost converter adalah sebagai berikut:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

a. Menentukan nilai beban

$$I = \frac{V}{R}$$

Dengan :

I = Nilai arus (A)

V= Nilai tegangan (V)

R= Hambatan (Ω)

b. Menentukan nilai Duty Cycle

$$Vout = \frac{D}{1-D} \times Vin$$

Dengan :

Vout = Tegangan output (V)

D= Duty cycle

Vin = Tegangan input (V)

Jika : *Duty Cycle* < 50% = *Buck*
Duty Cycle > 50% = *Boost*

c. Menentukan nilai minimal induktor

$$Lmin = \frac{(1-D)^2 \times R}{2f}$$

Dengan :

Lmin = Nilai minimal induktor (H)

D= Duty cycle

R= Hambatan (Ω)

f = frekuensi switching (Hz)

d. Menentukan nilai minimal kapasitor

$$Cmin = \frac{D}{R \times f \times \%ripple}$$

Dengan :

Cmin = Nilai minimal kapasitor (F)

D= Duty cycle

R= Hambatan (Ω)

f = frekuensi switching (Hz)

% ripple = Nilai ripple tegangan

2. Sistem DC bus

Sistem DC bus dengan masukan lebih dari satu jenis pembangkit sumber tegangan dapat diimplementasikan di sebuah rumah yang mempunyai sumber listrik terbarukan yaitu dari

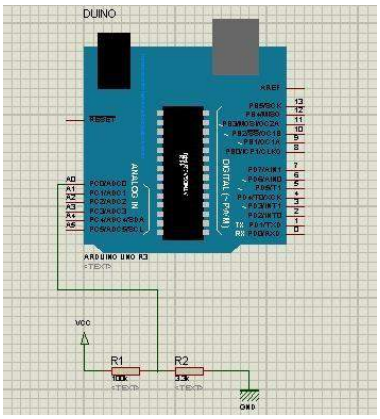


solar cell dan wind turbine.

Gambar 2. Perencanaan sistem *DC bus* dengan masukan lebih dari satu jenis pembangkit sumber tegangan

3. Rangkaian Voltage Divider

Rangkaian ini berfungsi untuk memberikan umpan balik pada Arduino dengan membaca tegangan keluaran dari buck-boost converter. Berikut adalah skema rangkaian sensor pembagi tegangan.



Gambar 5. Rangkaian sensor pembagi tegangan

Rangkaian sensor pembagi tegangan ini menggunakan 2 buah resistor masing-masing memiliki nilai 100kΩ, dan 33kΩ yang dihubungkan pada pin A0 dan pin ground pada Arduino Uno.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada tahap hasil dan pembahasan akan dilakukan pengujian pada alat untuk memperoleh data dan akan dilakukan pembahasan terhadap

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Geuthèë: Penelitian Multidisiplin
Vol. 02, No. 01, (Mei, 2019), pp. 245-252.

pengujian sehingga dapat disimpulkan apakah alat telah sesuai dengan perencanaan yang direncanakan sebelumnya.

1) Pengujian Sistem Arduino Uno

Pada rangkaian sistem DC bus, dengan masukan lebih dari satu jenis pembangkit sumber tegangan, minimum sistem arduino Uno digunakan sebagai otak dari seluruh sistem. Pada perancangan ini menggunakan 1 buah Arduino Uno yang berfungsi sebagai pengontrol sistem. Minimum sistem ini terdiri dari 1 buah board Arduino Uno yang terdapat digital (PWM), power, dan analog input. Pengujian sistem ini menggunakan aplikasi Arduino genuino.

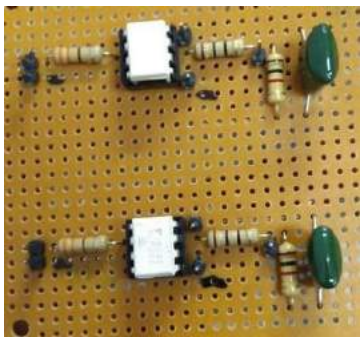


Gambar 6. Proses pengiriman program Arduino Uno

Dari gambar diatas menunjukkan proses pengisian program pada mikrokontroller Arduino Uno. Setelah proses pengisian program selesai, bisa dilihat mikrokontroller arduino sudah dapat beroperasi dengan baik atau belum. Jika sudah beroperasi, maka minimum sistem bekerja sesuai dengan fungsinya.

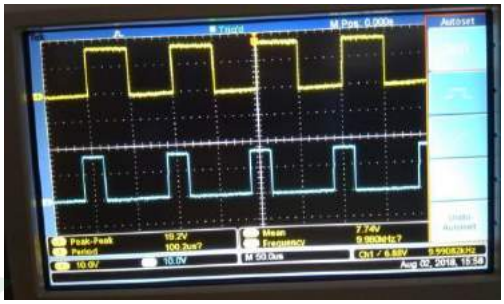
2) Pengujian Duty Cycle

Merupakan rangkaian yang berfungsi sebagai pemicu Gate mosfet pada rangkaian buck-boost converter. Selain sebagai pemicu pada Gate mosfet, optocoupler juga berfungsi sebagai rangkaian isolasi antara rangkaian buck-boost converter dengan Arduino Uno. Input PWM pada optocoupler berada pada kaki nomor 2, dan ground berada di kaki nomor 3. Kaki VCC atau supply positif (+) ke kaki 8 pada optocoupler, sedangkan port supply negatif (-) ke kaki 5 optocoupler. Sedangkan untuk keluaran yang digunakan pada Gate mosfet berada di kaki 7 dari optocoupler. Pengujian optocoupler TLP250 sebagai driver Gate mosfet ditunjukkan pada gambar 7.



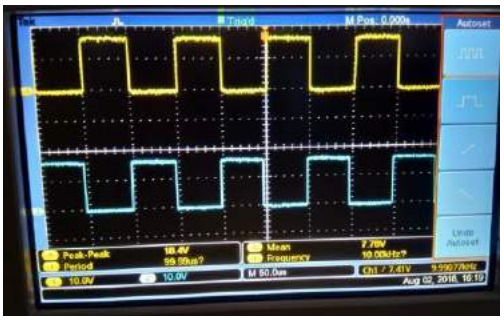
Gambar 7. Pengujian Optocoupler TLP250

Berikut adalah gambar hasil pengujian optocoupler TLP250 dengan nilai duty cycle yang berbeda.



Gambar 8. Data TLP250 dengan *duty cycle* 50% dan 25%

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 9. Data TLP250 dengan *duty cycle* 50%



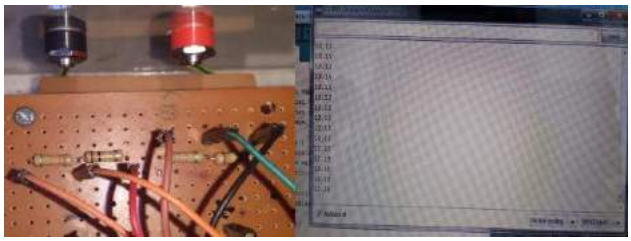
Gambar 10. Data TLP250 dengan beban mosfet pada rangkaian *buck-boost converter*

Data di atas merupakan data dengan beberapa kali percobaan pada rangkaian optocoupler. Dengan memberikan masukan PWM 5 Volt Arduino di pin 2 dan 3, kemudian tegangan masukan VCC 15 Volt dan ground di pin 8 dan 5, dapat dilihat bahwa optocoupler dapat bekerja dengan baik pada duty cycle 25% dan 50%.

Pada gambar 8 dan 9 yaitu ketika tanpa beban, pembacaan osiloskop menunjukkan tegangan sebesar 15 Volt dengan frekuensi 10 kHz beserta bentuk gelombang PWM yang baik. Pada gambar 10 adalah saat optocoupler telah diberikan beban berupa mosfet pada rangkaian buck-boost converter. Terlihat bahwa frekuensi pensaklaran tetap 10 kHz, namun bentuk gelombang PWM menjadi kurang baik akibat efek dari beban mosfet dan rangkaian buck-boost converter. Gelombang PWM sedikit berubah ketika diberi beban adalah wajar karena komponen yang bersifat tidak ideal.

3) Pengujian Voltage Divider

Sensor pembagi tegangan (*voltage divider)* terdiri dari dua buah resistor yang dirangkai secara seri. Dari hasil pembacaan sensor pembagi tegangan untuk tegangan masukan ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Pengujian sensor pembagi tegangan

Dari beberapa pengujian dapat diketahui bahwa sensor pembagi tegangan dapat bekerja dengan baik. Tegangan masukan positif (+) diletakkan pada kaki resistor 100kΩ, dan tegangan masukan negatif (–) diletakkan pada resistor 33kΩ. Keluaran pembagi tegangan dimasukkan ke port Analog Input Arduino. Rangkaian sumber negatif diberi GND dari arduino, yang bertujuan untuk menstabilkan pembacaan sensor. Dengan dua resistor di atas, rangkaian pembagi tegangan dapat membaca tegangan maksimal 20 Volt.

4) Pengujian Buck-Boost Converter

Pengujian tegangan keluaran buck-boost converter digunakan untuk mengetahui bahwa rangkaian menghasilkan tegangan DC sesuai yang telah ditentukan. Pada pengujian rangkaian buck-boost converter ada beberapa langkah yang harus dilakukan, yaitu :

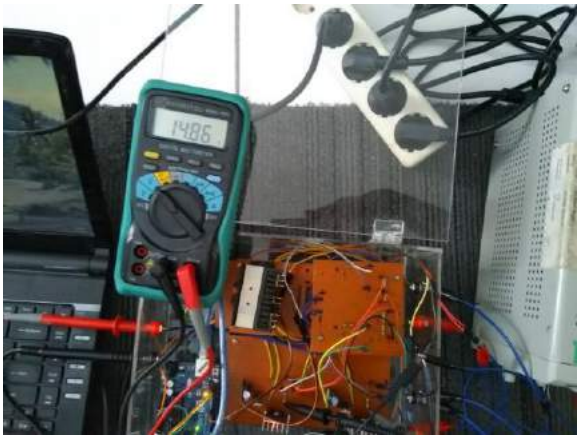
1. Menyiapkan komponen yang diperlukan seperti induktor, kapasitor, dioda, resistor, PCB, timah, *power supply*, kabel, *pin header*, dan mosfet IRFP460.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Geuthèë: Penelitian Multidisiplin
Vol. 02, No. 01, (Mei, 2019), pp. 245-252.

2. Merangkai komponen sesuai dengan rangkaian.
3. Menyalakan Arduino untuk mendapatkan PWM.
4. Menghubungkan probe multimeter pada rangkaian keluaran *buck-boost converter*.
5. Mencatat setiap tegangan masukan dan keluaran yang didapatkan untuk mengambil data.

Pada rangkaian buck-boost converter ini tegangan masukan yang diberikan adalah tegangan yang bervariasi sebesar 2-20 Volt untuk menghasilkan tegangan keluaran 15 Volt.



Gambar 12. Pengujian rangkaian *buck-boost converter*

Pengujian rangkaian buck-boost converter menggunakan dua buah DC power supply yang masing- masing memberikan tegangan masukan yang berbeda. Berikut adalah tabel data pengujian rangkaian buck-boost converter dengan dua tegangan masukan yang berbeda.

Saat uji coba, rangkaian dapat bekerja secara optimal ketika diberikan tegangan masukan sebesar 7-20 Volt. Saat rangkaian diberikan tegangan masukan dibawah 7 Volt, maka rangkaian tidak dapat memberikan tegangan keluaran sesuai dengan yang telah ditentukan.

Tabel 1. Data tegangan masukan dan tegangan keluaran *buck-boost converter*

Buck-Boost Converter 1		Buck-Boost Converter 2		DC Bus (Volt)
Vin 1 (Volt)	Vout 1 (Volt)	Vin 2 (Volt)	Vout 2 (Volt)	
7	14,86	20	14,87	14,86
12	14,86	17	14,86	14,86
19	14,87	14	14,85	14,86
9	14,86	8	14,85	14,86
10	14,86	9	14,86	14,86
11	14,86	7	14,86	14,86
8	14,85	11	14,86	14,86
13	14,86	12	14,86	14,86
20	14,87	16	14,86	14,86
14	14,85	18	14,86	14,86
15	14,86	14	14,85	14,86
18	14,86	15	14,86	14,86
17	14,86	16	14,86	14,86
16	14,86	13	14,86	14,86
4	7,40	5	8,29	7,53
3	5,39	4	7,41	5,77
2	4,02	3	5,40	4,00
6	10,46	2	4,02	6,61
5	8,29	6	10,46	8,74

Data yang didapatkan apabila tegangan masukan dibawah 7 Volt maka tegangan keluaran hanya sedikit naik, yang disebabkan oleh karakteristik komponen mosfet yang tidak bisa switching semaksimal mungkin. Tegangan pada DC Bus akan stabil pada 14,86 Volt saat kedua rangkaian mempunyai tegangan masukan bervariasi dan diatas 7 Volt. Ketika salah satu rangkaian mendapatkan tegangan masukan yang kurang, maka tegangan pada DC Bus juga berkurang dikarenakan tegangan keluaran yang lebih rendah menjadi beban bagi tegangan yang bernilai lebih tinggi.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

SIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) hanya dapat bekerja apabila rangkaian memiliki polaritas *ground* yang sama pada tegangan masukan dan tegangan keluaran.
2. Pada percobaan rangkaian *buck-boost converter* yang telah dibuat, diberikan tegangan masukan yang bervariasi sebesar 2–20 Volt. Saat tegangan masukan sebesar 2 Volt maka didapatkan tegangan keluaran sebesar 4,02 Volt. Saat tegangan masukan 6 Volt maka didapatkan tegangan keluaran 10,46 Volt.
3. Minimal tegangan masukan pada rangkaian adalah sebesar 7 Volt yang menghasilkan tegangan keluaran 14,86 Volt. Dan maksimal tegangan masukan sebesar 20 Volt yang menghasilkan tegangan keluaran 14,86 Volt.
4. Tegangan keluaran yang berpolaritas lebih rendah akan menjadi beban untuk tegangan keluaran yang berpolaritas lebih tinggi. Sebelum diparalel pada DC Bus maka nilai tegangan harus sama.

DAFTAR PUSTAKA

Sutanto, Arif. 2017. Perancangan Buck/Boost Konverter Sebagai Stabilizer Tegangan Pada Horizontal Axis Wind Turbine, Tugas Akhir Politeknik Negeri Madiun.

Triyono, Budi. 2016. Filter Design of PWM AC Chopper on Soft Starting Application 3 Phase Induction Motor‖. ISemantic Vol. I pp. 285-289

W. Hart, Daniel. 2011. Power Electronics (New York: McGraw-Hill Companies).

Kumala Ningrum, Hanifah Nur. 2016. Materi Kuliah Semester 4, Elektronika Daya 2.

Prabowo, Gigih. 2017. Materi Kuliah Semester 5, Elektronika Daya 3.

Taufik, Mohammad. Jurnal Teknik Elektro Universitas Padjadjaran, 2015. Prototype Rumah DC Jatinangor Sebagai Sumber Listrik Pedesaan.

Dzulqarnain, Yahya. 2010. Desain dan Implementasi Multi Input Konverter DC-DC pada Tenaga Listrik Hibrida PV/Wind. Jurnal Tugas Akhir Teknik Elekto ITS.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JURNAL ILMIAH SEMESTA TEKNIKA
Vol. 15, No. 1, 22-34, Mei 2012

Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya

(Renewable Energy Optimization of Electrical Power Generation toward the Energy Self-Sufficient Village in Margajaya)

ARIF FEBRIANSYAH JUWITO, SASONGKO PRAMONOHADI, T. HARYONO

ABSTRACT

The Energy Self-Sufficient Village is one of main programs from goverment about the village ability to produce energy. This program has been launched in 2007 by the President of the Republic of Indonesia, to enhance energy security in rural areas by harnessing local energy potential. The criteria of Energy Self-Sufficient Village is village capability to produce at least 60% of the total amount of required energy, using renewable energy. Geographically, Margajaya village has solar and microhydro resource which is very potential for being developed. Furthermore, Margajaya also produces agricultural commodities such as palm oil, in which it also produces waste like palm bunches which is a very potential biomass. The optimization of renewable energy for electrical power generation which has annual power peak of 65kW and daily energy consumtion of 415kWh/day in Margajaya village has been designed using HOMER. The result from simulation of Hybrid renewable system in HOMER showed that Hydro, Biomass and grid is the most economical solution over hydro-biomass-PV with battery, to design hybrid system with minimum total net present cost (NPC) and cost of electricity. The system can serve annual 100% of load in Margajaya and have surplus of electricity, and could sell to grid with amount of 124.827kWh/years. Economically, the electricity of the system costs US$ 0,013/kWh.

Key word: Energy Self-Sufficient Village, Hybrid System, Microhydro, Biomass, PV-Array, HOMER

PENDAHULUAN

Masalah lingkungan dan ekonomi merupakan alasan di balik dorongan yang cepat akan pemanfaatan energi terbarukan di seluruh dunia. Selain untuk mengatasi hambatan secara ekonomi dan komersial, pemanfaatan sumber energi terbarukan sesuai dengan tujuan atau *goal* yang ditetapkan oleh sebagian negara yang ingin memaksimalkan potensi energi terbarukan di wilayahnya dengan biaya murah. Energi listrik merupakan salah satu energi primer yang tidak dapat dilepaskan penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari, baik di sektor rumah tangga, instansi pemerintah maupun industri. Semakin meningkatnya jumlah penduduk dan bertambahnya penggunaan peralatan yang menggunakan listrik mengakibatkan kebutuhan energi listrik meningkat pesat.

Peningkatan konsumsi energi listrik setiap tahunnya diperkirakan terus bertambah. Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) tahun 2010-2019 menyebutkan, kebutuhan listrik diperkirakan mencapai 55.000 MW. Jadi rata-rata peningkatan kebutuhan listrik pertahun adalah 5.500 MW. Dari total daya tersebut sebanyak 32.000 MW (57%) dibangun sendiri oleh PLN, sedangkan sisanya yakni 23.500 MW akan dipenuhi oleh pengembang listrik swasta (Rachmawati, 2011).

Walau menjadi kebutuhan primer, namun hingga saat ini penyediaan listrik masih belum merata di Indonesia. Masih banyak desa-desa yang belum terjangkau aliran listrik.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Di Indonesia terutama di daerah terpencil banyak yang belum terjangkau oleh jaringan listrik. Hal ini disebabkan oleh semakin meningkatnya kebutuhan beban listrik di daerah perkotaan yang tidak diimbangi dengan pembangunan fasilitas pembangkit listrik yang baru. Proyek pembangunan pembangkit listrik oleh PLN sebesar 10.000 MW yang hanya terfokus di pulau Jawa, membuat kebutuhan listrik di daerah luar pulau Jawa, seperti Sumatra, belum secara signifikan diperhatikan sehingga keandalan penyediaan energi listrik di Sumatra sangatlah kurang. Banyak daerah-daerah terpencil di pelosok Sumatra yang belum terjangkau oleh jaringan listrik.

Desa Mandiri Energi (DME) merupakan salah satu program untuk pemenuhan kebutuhan energinya sendiri. Program ini dicanangkan pertama kali oleh Presiden RI pada tahun 2007. Kriteria dari Desa Mandiri Energi adalah desa yang mampu memenuhi minimal 60% dari total kebutuhan energinya (listrik dan bahan bakar) dengan memberdayakan potensi sumber daya setempat serta tumbuhnya kegiatan produktif untuk meningkatkan perekonomian desa sebagai dampak dari ketersediaan energi lokal. Diharapkan dengan adanya Desa Mandiri Energi ini ketergantungan masyarakat terhadap penggunaan sumber energi *non renewable* dan penggunaan energi subsidi dari pemerintah dapat diminimalkan.

Desa Margajaya, Kecamatan Padang Jaya, Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu, merupakan desa transmigrasi yang baru 1 tahun dapat menikmati fasilitas listrik dari negara berupa sambungan jaringan listrik dari PLN. Penambahan jaringan tersebut tidak diimbangi dengan kapasitas daya yang cukup dari PLN, yang dapat dilihat dari sering terjadinya pemadaman aliran listrik dan *drop* tegangan listrik di pemukiman penduduk.

Desa Margajaya secara geografis memiliki potensi energi matahari dan mikrohidro yang cukup potensial untuk dikembangkan. Selain itu desa ini merupakan salah satu desa di Kecamatan Padang Jaya penghasil komoditi perkebunan berupa kelapa sawit dan karet. Perkebunan ini setiap minggunya menghasilkan limbah berupa tandan pelepah kelapa sawit yang merupakan potensi biomassa yang apabila dimanfaatkan dengan optimal dapat menghasilkan energi listrik yang akan mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap energi listrik yang berasal dari pembangkit yang menggunakan energi fosil seperti batu bara.

Berdasarkan data radiasi sinar matahari, debit air sungai dan limbah biomassa yang dihasilkan perkebunan kelapa sawit per hektar di Desa Margajaya, model sistem pembangkit hybrid dirancang untuk mensimulasikan dan menentukan sistem yang paling optimal untuk menyediakan energi listrik untuk beban listrik pada pemukiman penduduk. Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Merancang Desa Mandiri Energi berbasis energi terbarukan di Desa Margajaya
2. Merancang sistem model *Grid Connected* dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari, aliran sungai dan limbah sisa perkebunan kelapa sawit.
3. Menentukan konfigurasi sistem yang paling optimal, dilihat dari biaya produksi energi, dan ketersediaan sumber energi terbarukan, dan keandalan sistem.
4. Menganalisis karakteristik daya keluaran yang dihasilkan oleh model sistem yang optimal, berdasarkan hasil konfigurasi sistem yang optimal oleh HOMER.

Optimisasi sistem energi terbarukan yang dirancang, disimulasikan dalam rentang waktu satu tahun dengan data keluaran berupa daya yang dihasilkan oleh masing-masing komponen sistem dan besar beban listrik yang disuplai. Data yang dihasilkan adalah data perubahan daya yang merupakan output dari sistem dan beban listrik setiap jamnya dalam rentang waktu satu tahun.

Sistem Pembangkit Listrik Hybrid

Sumber energi terbarukan memiliki potensi yang besar bila dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, yang dapat dipakai di daerah-daerah yang terisolir dengan menggunakan sistem pembangkit hybrid. Sistem pembangkit hybrid didesain untuk memproduksi energi listrik. Sistem ini terdiri dari beberapa unit pembangkit seperti PV, turbin angin, mikrohidro, dan generator. Ukuran sistem pembangkit hybrid bervariasi, mulai dari sistem yang mempunyai kapasitas untuk mensuplai satu atau beberapa rumah, hingga sistem dengan kapasitas yang sangat besar yang cukup untuk mensuplai jaringan listrik penduduk di daerah terpencil. Sistem pembangkit hybrid merupakan salah satu cara

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

untuk menyediakan energi listrik untuk berbagai daerah terpencil di berbagai belahan dunia dimana biaya untuk pengembangan jaringan listrik skala besar terlalu tinggi dan biaya transportasi bahan bakar diesel juga sangat tinggi. Penggunaan sistem pembangkit hybrid mengurangi penggunaan bahan bakar yang mahal, memungkinkan dilakukannya produksi energi listrik yang bersih dan ramah lingkungan serta meningkatkan standar hidup masyarakat yang tinggal di daerah terpencil.

Sistem dengan kapasitas yang besar di atas 100 kW, khususnya terdiri dari gen-set AC, sumber energi terbarukan, beban dan terkadang dilengkapi subsistem penyimpanan energi. Di bawah 100 kW, kombinasi antara komponen AC dan DC umum digunakan untuk penyimpanan energi. Sistem pembangkit hybrid yang kecil hanya melayani beban DC, khususnya beban dengan kapasitas kurang dari 5 kW, digunakan secara komersial pada stasiun repeater telekomunikasi dan aplikasi dengan kapasitas rendah lainnya di daerah terisolir. Skema pembangkit listrik hybrid ditunjukkan pada Gambar 1.

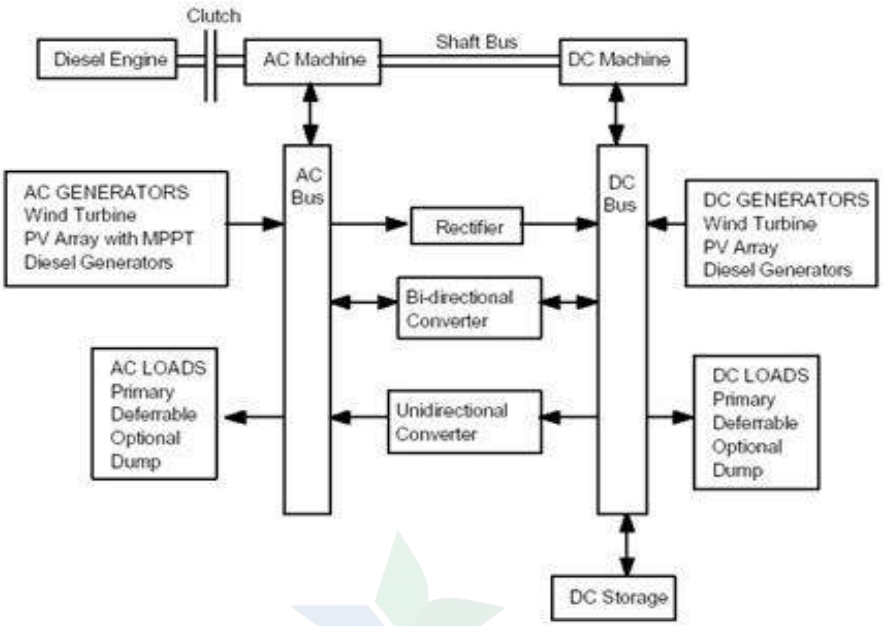
HOMER

HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*), merupakan *software* optimasi model sistem tenaga listrik mikro. Beberapa fungsi dari HOMER adalah:

1. Mencari kombinasi komponen sistem dengan biaya terendah yang sesuai dengan beban.
2. Mensimulasikan ribuan kemungkinan konfigurasi sistem.
3. Optimasi dari biaya keseluruhan sesuai dengan umur sistem dan analisis sensitifitas dari beberapa input.

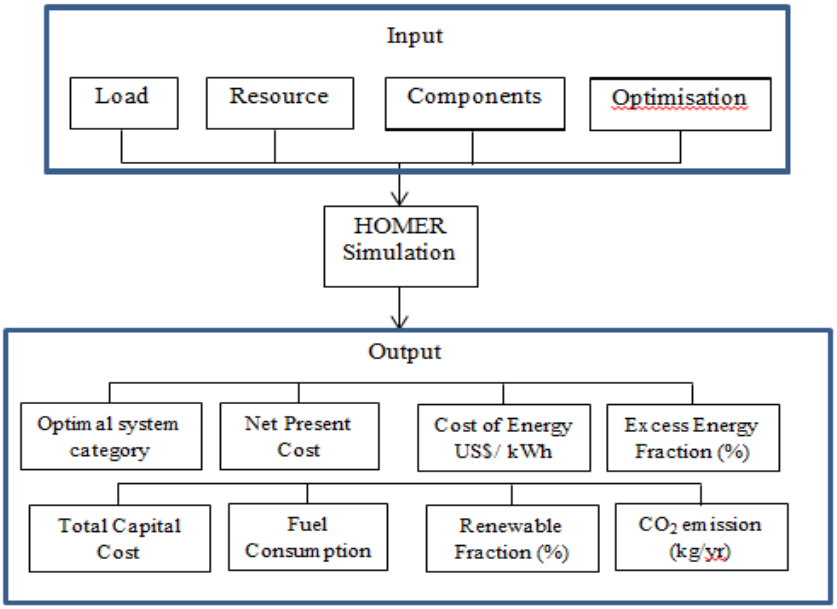
HOMER mensimulasikan sistem operasi dari sebuah sistem berdasarkan perhitungan masing-masing energi untuk 8.760 jam dalam 1 tahun. HOMER membandingkan beban listrik dan thermal dalam satu jam untuk energi yang dapat disuplai oleh sistem pada waktu tersebut. Jika sistem memenuhi beban sepanjang tahun, HOMER memperkirakan biaya siklus hidup dari sistem, menghitung biaya modal, penggantian, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar dan bunga. Aliran energi perjam dapat dilihat pada masing-masing komponen, serta biaya tahunan dan rangkuman kinerja.

Setelah mensimulasikan semua kemungkinan konfigurasi sistem, HOMER menampilkan daftar kelayakan sistem, yang diurutkan berdasarkan *lifecycle cost*. Sistem dengan biaya terendah berada di bagian atas dari daftar sehingga dapat dengan mudah ditemukan dan juga daftar dari kelayakan sistem lainnya dapat dicari. Skema HOMER ditunjukkan pada Gambar 2.



GAMBAR 1. Skema pembangkit hybrid

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



GAMBAR 2. Arsitektur simulasi dan optimasi HOMER

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini mencakup beberapa tahapan, yaitu studi beban listrik di Desa Margajaya, studi potensi mikrohidro, studi potensi energi surya di Desa Margajaya, dan desain sistem. Gambar 3 menunjukkan desain yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Informasi Umum

Desa Margajaya secara geografis terletak antara 101032' – 10208' BT dan 2015' – 4000' LS, dengan luas wilayah 5.548,54 km^2. Secara administrasi ibukota kabupatennya adalah Argamakmur, yang terdiri dari 18 kecamatan, dengan batas wilayah kabupaten yaitu:

- Sebelah Utara : Kabupaten Muko Muko
- Sebelah Selatan : Kabupaten Sluma dan Kota Bengkulu
- Sebelah Timur : Provinsi Jambi, Kabupaten Lebong dan Kepahiang
- Sebelah Barat : Samudra Indonesia

Secara umum informasi umum Desa Margajaya dapat dilihat pada Tabel 1.

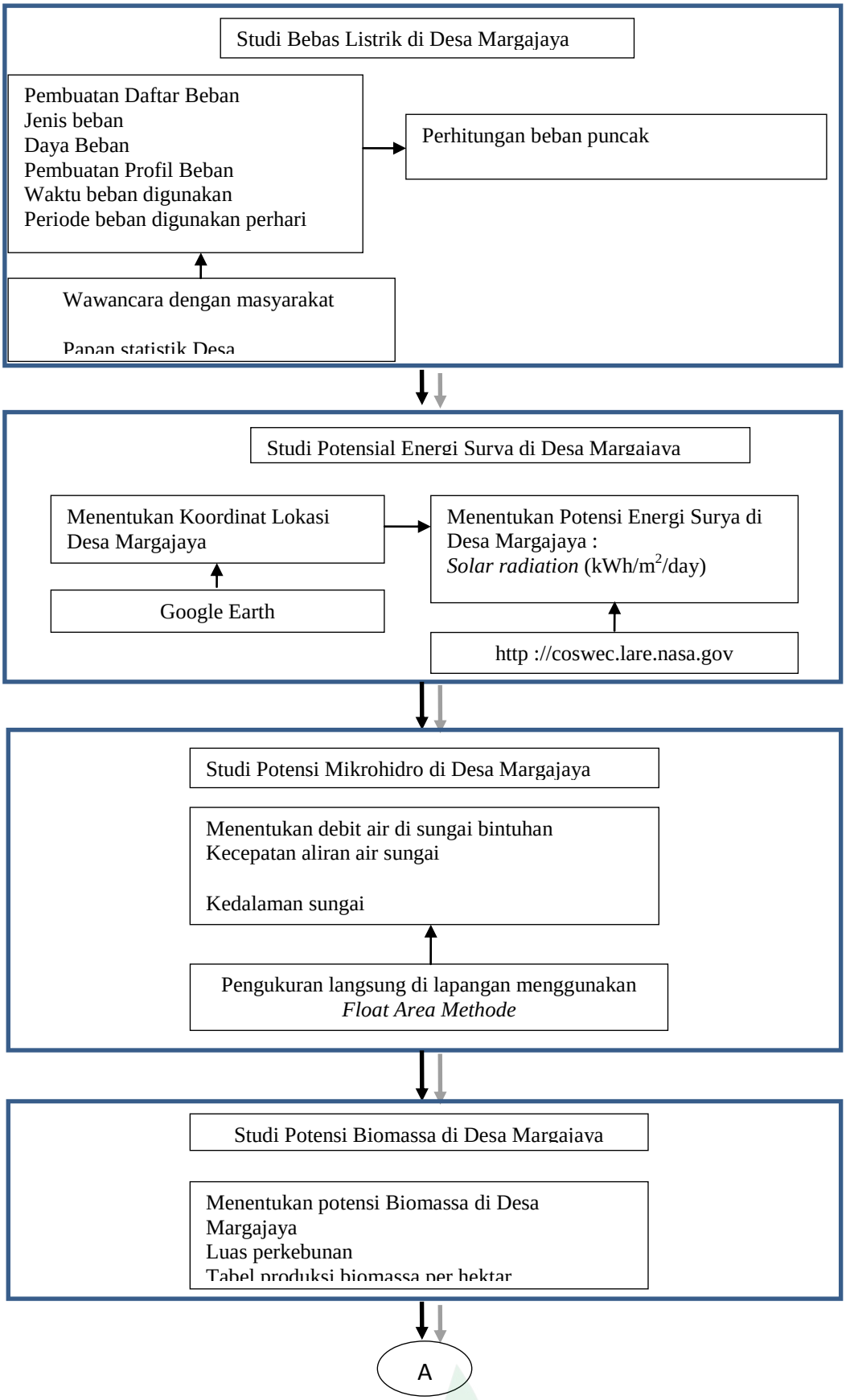
TABEL 1. Informasi umum Desa Margajaya

Informasi	Keterangan
Lokasi	$101^0$32' – $102^0$8' BT dan $2^0$15' – $4^0$00' LS
Jumlah KK	260 KK
Jumlah rumah ibadah	5 buah
Puskesmas pembantu	1 buah
Kantor desa	1 buah
Rumah petugas	2 buah
SD	1 lokal
PAUD	1 lokal
TK	1 lokal
Pesantren	1 unit
Gudang pangan	1 buah
Gudang saprodi	1 buah

Beban Listrik

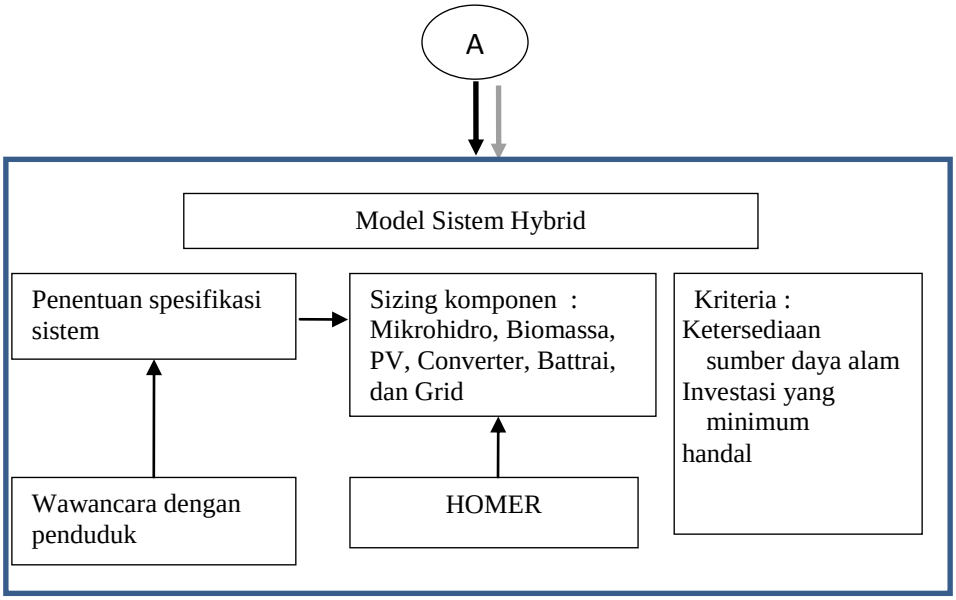
Berdasarkan wawancara dengan masyarakat Desa Margajaya, dihasilkan daftar dan pola beban listrik sehari-hari. Gambar 4 menunjukkan profil beban di Desa Margajaya dengan beban puncak 37 kW. Dari Gambar 4 terlihat bahwa beban puncak terjadi pada pukul 20.00-21.00. Hal ini dikarenakan pada jam-jam tersebut warga Desa Margajaya sebagian besar berada di kediamannya masing-masing.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

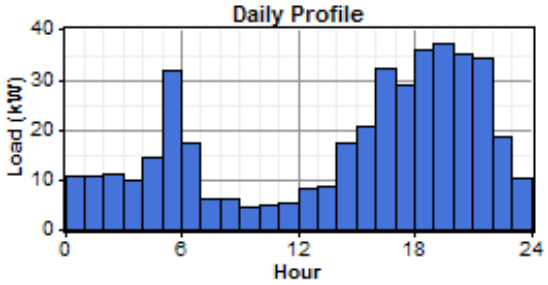


GAMBAR 3. Diagram alir metode penelitian

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



GAMBAR 3. Diagram alir metode menelitian (Lanjutan)



GAMBAR 4. Profil beban listrik Desa Margajaya

Di Desa Margajaya peralatan listrik yang digunakan di rumah penduduk pada umumnya sudah baik. TV, *receiver digital*, lampu penerangan dan *rice cooker*, sudah mulai banyak dipergunakan. Dari hasil survey rata-rata penggunaan peralatan listrik di pemukiman penduduk Desa Margajaya dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2. Data penggunaan beban listrik

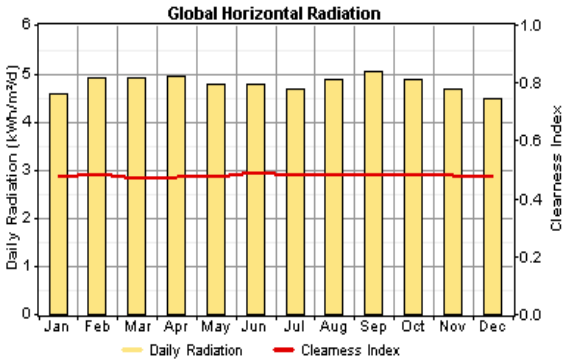
Jenis Peralatan	Kuantitas	Daya	Penggunaan maksimum per hari (jam)
Televisi	1	87	7
Receiver Digital	1	30	7
VCD Player	1	15	1
Magic com	1	350	1
Strika	1	350	1
Lampu	3	20	12

Sumber: Data wawancara dan pengamatan langsung

Radiasi matahari

Data yang diperoleh dari http://eosweb.larc.nasa.gov, digunakan sebagai sumber informasi radiasi matahari di Desa Margajaya. Data diperoleh dengan memasukkan letak koordinat Desa Margajaya di website *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*. Data yang didapat dari NASA memiliki tingkat keakuratan berkisar antara 6-12%.

Rata-rata radiasi matahari di daerah ini adalah 4,784 kWh/m^2/hari. *Clearness index* di Daerah ini cukup baik, variasi intensitas radiasi bulanan juga sangat kecil.



GAMBAR 5. Rata-rata radiasi bulanan pada permukaan horizontal di Desa Margajaya

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Potensi mikrohidro

Survei lapangan dilakukan untuk memperoleh parameter-parameter yang diperlukan dalam merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dari Sungai Bintuhan di Desa Margajaya (Gambar 6). Beberapa metode dilakukan untuk mengukur karakteristik air sungai. Debit air diperoleh melalui pengukuran menggunakan metode pelampung (*Float Area Method*). Pengukuran dilakukan pada kondisi musim kemarau di awal bulan Agustus 2012. Tabel 3 merupakan rangkuman sifat-sifat fisik Sungai Bintuhan di Desa Margajaya.



GAMBAR 6. Sungai bintuhan

TABEL 3. Sifat fisik Sungai Bintuhan

Parameter	Nilai
Kecepatan aliran rata-rata (m/s)	0,57
Kedalaman rata-rata (m)	0,812
Luas penampang (m^2)	15,022
Debit (m^3/s)	8,57
Lebar (m)	25

Sumber: Data pengukuran

Potensi Biomassa

Luas total perkebunan kelapa sawit di Desa Margajaya adalah 400 hektar, seluruhnya merupakan perkebunan milik penduduk. Dari perkebunan sawit dihasilkan sejumlah komponen biomassa seperti tempurung, serabut, tandan kosong, pelepah dan lain lain (Gambar 7). Untuk tiap hektar kebun, produksi biomassa dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, maka potensi produksi limbah biomassa (pelepah sawit) kebun kelapa sawit di Desa Margajaya adalah 2480 ton/tahun.



GAMBAR 7. Potensi biomassa di kebun kelapa sawit

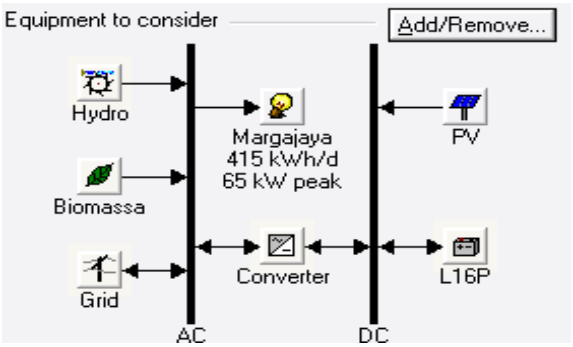
TABEL 4. Produksi biomassa per hektar

No	Biomassa sawit	T/ha	Nilai kalor (kcal/kg)
1	Tempurung	1,2	4050
2	Serabut	4,3	3200
3	Tandan kosong KS	5,2	3100
4	Pelepah KS	6,2	2940

Sumber: www.pasadenaengineering.com

Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan menggunakan software HOMER. Komponen sistem yang digunakan terdiri dari *PV array*, biomassa, *converter*, *hydro*, *battery bank* dan grid.



GAMBAR 8. Model dan komponen

Dalam sistem hybrid pada Gambar 8 *primary load* yang disuplai oleh sistem hybrid yang terdiri dari *PV Array*, Biomassa dan mikrohidro. Adanya grid dimaksudkan apabila sistem hybrid di Desa Margajaya mengalami kondisi defisit energi listrik, grid dapat mensuplai energi listrik ke Desa Margajaya dengan kata lain Desa Margajaya membeli listrik dari grid dalam hal ini adalah PLN. Begitu pun sebaliknya apabila sistem hybrid di Desa Margajaya mengalami surplus energi listrik, Desa Margajaya dapat menjual energi listriknya ke grid (PLN).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

TABEL 5. Parameter yang diimputkan ke HOMER

Input	Keterangan
Load	1. Gambar 4
Konverter	2. Efisiensi inverter : 96,0%
	3. Efisiensi Penyearah/ charger: 85%
	4. Harga US$ 900/kW (B&B Power co.,Ltd/ www.bbpower.cn)
PV Array	5. Solar resource : Gambar 5
	6. Ukuran: 10 kW
	7. Harga US$ 80000
Hidro Resource	8. Debit air: 8,57 m^3/s
	9. Biaya: US$ 88350
	10. Head: 15 m
Biomass resource	11. Potensi Biomassa: 206,7 ton/hari
	12. Ukuran: 10 kW
	13. Biaya: US$ 2000/kW
Grid	14. Harga: 0,078 $/kWh
	15. Sell Back: 0,116 $/kWh

Selain parameter pada Tabel 5, terdapat dua variabel sensitifitas yang turut diinputkan ke dalam HOMER, yaitu *Hydro Head* dan *Design Flow Rate*. Tujuan dari penggunaan dua variabel sensitifitas ini adalah untuk mencari konfigurasi sistem yang optimal dilihat dari nilai NPC (*Net Present Cost*) dan *Levelized COE*.

Hasil Simulasi

HOMER dapat mengakomodasi perubahan profil beban listrik setiap bulan. Profil beban listrik di Desa Margajaya pada Gambar 4 digunakan untuk mensimulasikan beban listrik sepanjang tahun. Profil beban merupakan perkiraan penggunaan beban pada setiap rumah. Beban listrik yang digunakan di dalam sistem akan diasumsikan memiliki *random variability* harian sebesar 20%. Hasil simulasi penggunaan beban listrik dapat dilihat pada Gambar 9.

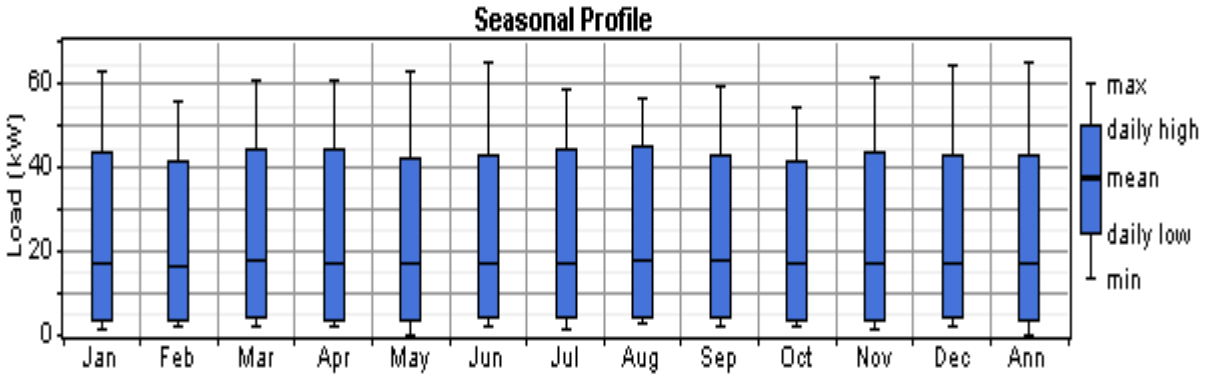
Berdasarkan hasil simulasi yang terlihat pada Gambar 9, yang dirangkum pada Tabel 6, rata-rata energi listrik perhari yang digunakan sebesar 415 kWh/ hari, rata-rata beban listrik sebesar 17,3 kW dan beban puncak yang mungkin terjadi adalah sebesar 65,3 kW dalam satu tahun, sehingga faktor beban yang merupakan perbandingan antara rata-rata beban listrik dan beban puncak adalah 0,265.

TABEL 6. Sistem beban listrik

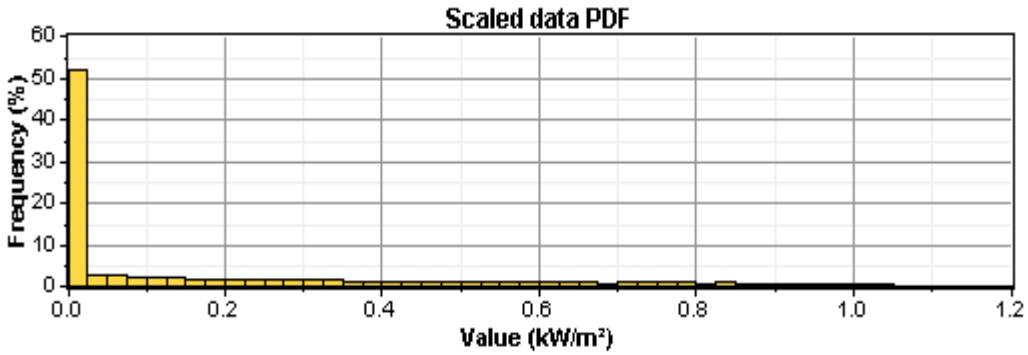
	Baseline	*Scaled*
Average (kwh/day)	415	415
Average (kW)	17,3	17,3
Peak (kW)	65,3	65,3
Load Factor	0,265	0,265

HOMER melakukan simulasi potensi radiasi sinar matahari berdasarkan informasi tentang *latitude* dan *longitude* suatu daerah. *Latitude* dan *longitude* Desa Margajaya adalah 3^0 59 N dan latitude 102^0 59 S. Data radiasi sinar matahari di peroleh dari website NASA. Rata-rata radiasi sinar matahari di daerah ini adalah 4,784 kWh/m^2/hari. Gambar 10, memperlihatkan radiasi matahari sebesar 0,0 kW/m^2 memiliki frekuensi yang sangat besar jika dibandingkan dengan nilai radiasi matahari lainnya. Hal ini dijelaskan pada Gambar 11 dimana radiasi hanya terjadi di siang hari. Radiasi matahari mulai ada dari pukul 06.00 yang terus meningkat hingga pukul 12.00 dan selanjutnya akan menurun hingga pukul 18.00.

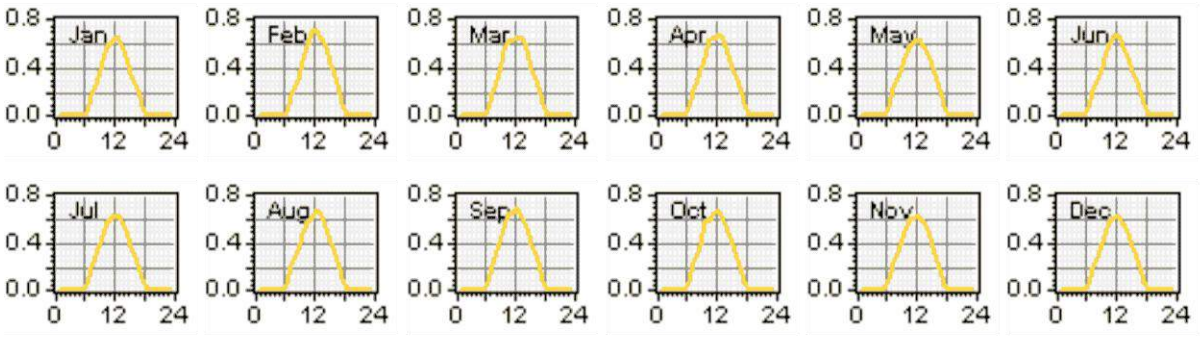
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



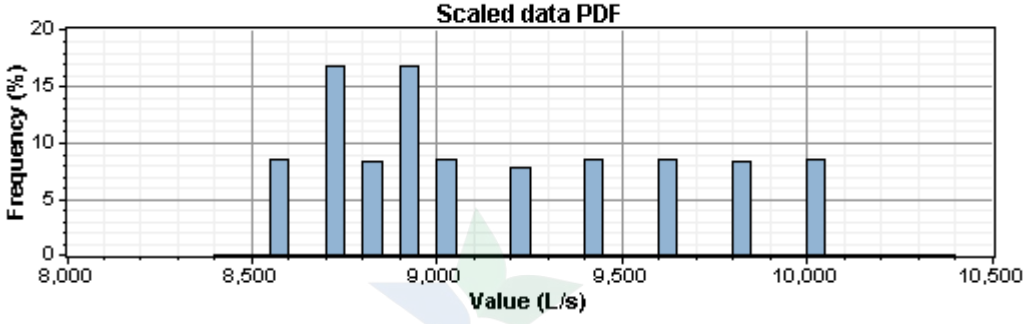
GAMBAR 9. Profil beban listrik bulanan dalam satu tahun



GAMBAR 10. Fungsi distribusi matahari yang mungkin terjadi dalam satu tahun

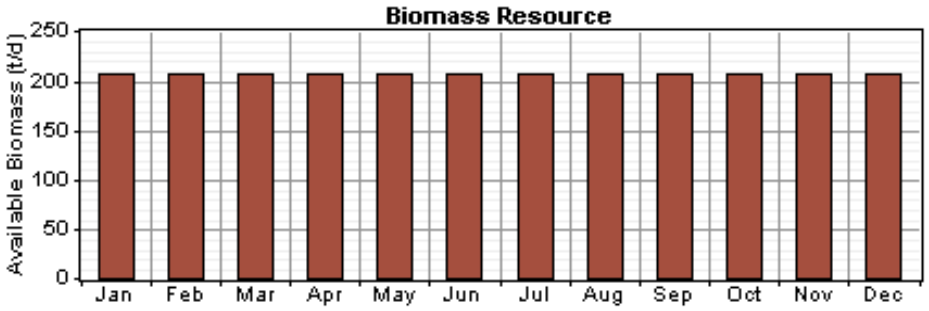


GAMBAR 11. Profil radiasi matahari tiap jam perbulan dalam satu tahun



GAMBAR 12. Fungsi distribusi debit air yang mungkin terjadi dalam satu tahun

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



GAMBAR 13. Produksi pelepah sawit tiap bulan Desa Margajaya

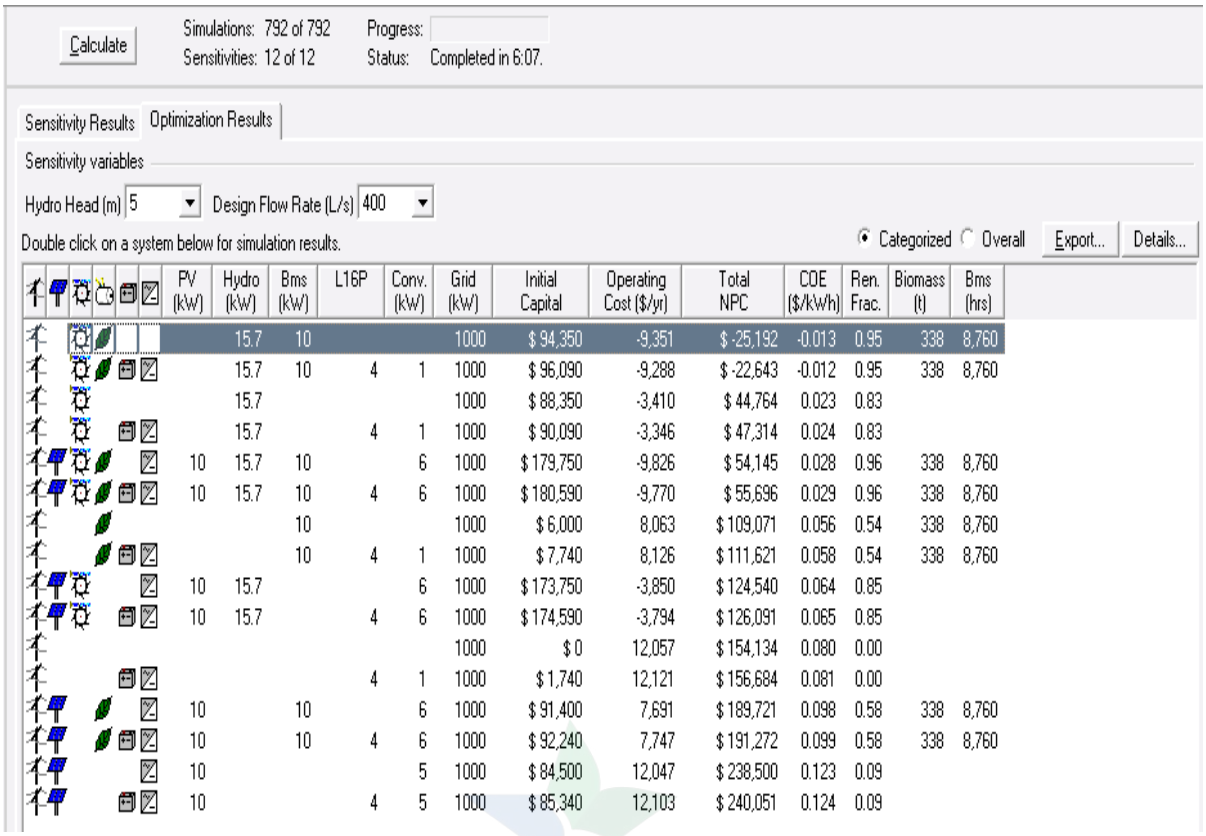
Dari hasil pengukuran debit air di Sungai Bintuhan diperoleh nilai sebesar 8,57 m^3/s. Besaran debit air ini merupakan parameter yang digunakan sebagai masukan untuk model HOMER. Hasil simulasi potensi debit air di HOMER dapat dilihat pada Gambar 12. Pada gambar tersebut terlihat bahwa debit air sebesar 8600 L/s dan 8900 L/s memiliki frekuensi terbesar dibandingkan nilai debit air lainnya yaitu 15,7%.

Produksi limbah biomassa diasumsikan sama untuk setiap bulannya, seperti yang terlihat pada Gambar 13. Hal ini berdasarkan informasi dari *www.pasadenaengineering.com.*

Pada model sistem hybrid ini HOMER melakukan total sebanyak 792 simulasi dengan 3 sensitivitas *design flow rate*. Hal ini dilakukan untuk mencari konfigurasi sistem yang paling optimal dari komponen dan parameter sistem tenaga yang digunakan.

Gambar 14 menunjukkan hasil optimasi dari parameter-parameter komponen yang diinputkan ke dalam HOMER. Konfigurasi terbaik memiliki NPC yang paling kecil, terdiri dari Hydro 15,7 kW, Biomassa 10 kW dan Grid 1000 kW.

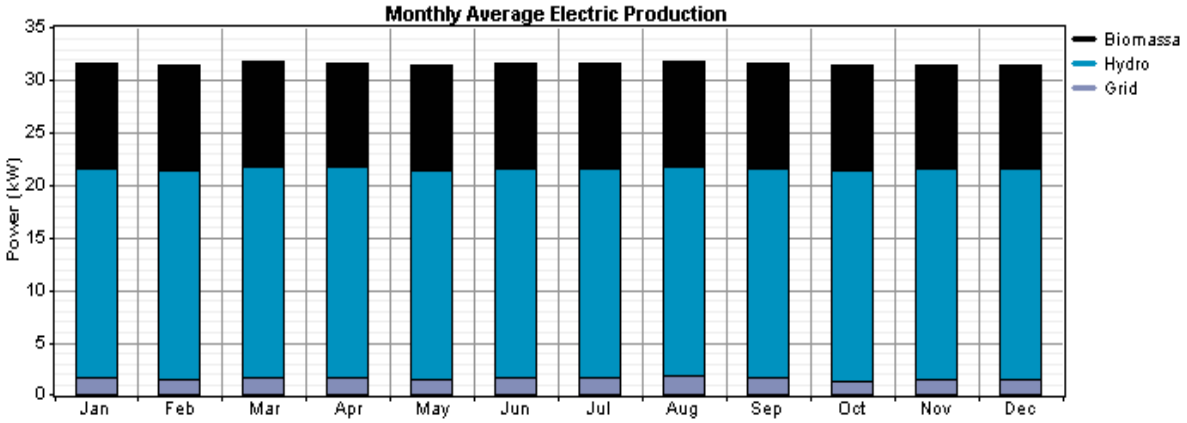
Produksi daya listrik, energi listrik dan konsumsi listrik terlihat padaTabel 7 dan 8.



PV (kW)	Hydro (kW)	Bms (kW)	L16P	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Bms (hrs)
	15.7	10			1000	$ 94,350	-9,351	$ -25,192	-0.013	0.95	338	8,760
	15.7	10	4	1	1000	$ 96,090	-9,288	$ -22,643	-0.012	0.95	338	8,760
	15.7				1000	$ 88,350	-3,410	$ 44,764	0.023	0.83		
	15.7		4	1	1000	$ 90,090	-3,346	$ 47,314	0.024	0.83		
10	15.7	10		6	1000	$ 179,750	-9,826	$ 54,145	0.028	0.96	338	8,760
10	15.7	10	4	6	1000	$ 180,590	-9,770	$ 55,696	0.029	0.96	338	8,760
		10			1000	$ 6,000	8,063	$ 109,071	0.056	0.54	338	8,760
		10	4	1	1000	$ 7,740	8,126	$ 111,621	0.058	0.54	338	8,760
10	15.7			6	1000	$ 173,750	-3,850	$ 124,540	0.064	0.85		
10	15.7		4	6	1000	$ 174,590	-3,794	$ 126,091	0.065	0.85		
					1000	$ 0	12,057	$ 154,134	0.080	0.00		
			4	1	1000	$ 1,740	12,121	$ 156,684	0.081	0.00		
10		10		6	1000	$ 91,400	7,691	$ 189,721	0.098	0.58	338	8,760
10		10	4	6	1000	$ 92,240	7,747	$ 191,272	0.099	0.58	338	8,760
10				5	1000	$ 84,500	12,047	$ 238,500	0.123	0.09		
10			4	5	1000	$ 85,340	12,103	$ 240,051	0.124	0.09		

GAMBAR 14. Hasil optimum simulasi HOMER

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



GAMBAR 15. Produksi daya listrik

TABEL 7. Sistem optimasi

Production	kWh/year	%
Hydro turbine	175,325	63
Biomassa	87,600	32
Grid purchases	13,393	5
Total	276,318	100

TABEL 8. Sistem optimasi

Consumtion	kWh/year	%
AC primary load	151,475	55
Grid sales	124,827	45
Total	276,302	100

TABEL 9. Sistem optimasi

Quantity	kWh/year	%
Excess	0	0
Unmet electrical load	0	0
Capacity shortage	0	0

Dari Gambar 15 terlihat perbandingan produksi daya yang dihasilkan oleh sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) dan biomassa dibandingkan dengan daya listrik yang dibeli dari grid untuk setiap bulannya dalam interval satu tahun. Dari Tabel 7 terlihat bahwa energi listrik yang dihasilkan dari sistem optimal dalam satu tahun adalah 276.318 kWh/tahun dengan rincian 63% (175.325 kWh) Hydro turbin, 32% (87.600 kWh) Biomassa dan 5% (13.393 kWh) disuplai dari *grid* (PLN). Dari Tabel 8 terlihat juga bahwa sistem hybrid yang optimal masih membutuhkan suplai energi listrik yang didatangkan dari *Grid* (PLN). Kebutuhan energi listrik pada sistem ini dapat dilihat pada Tabel 8 dimana untuk beban listrik dapat dipenuhi oleh sistem hybrid yang optimal (55%), yaitu sebesar 151.475 kWh/tahun, selain itu selain untuk memenuhi kebutuhan listrik di Desa Margajaya, sistem hybrid dapat menjual energi listriknya ke *Grid* (PLN) sebesar 124.827 kWh/tahun (45%).

Tabel 9 memperlihatkan bahwa sistem ini tidak menghasilkan energi sisa. Semua energi listrik yang dihasilkan digunakan oleh beban dan dijual ke *Grid*. Pada Tabel 9 juga terlihat bahwa tidak ada beban listrik yang tidak terpenuhi dan tidak pernah terjadi kekurangan kapasitas listrik dalam satu tahun.

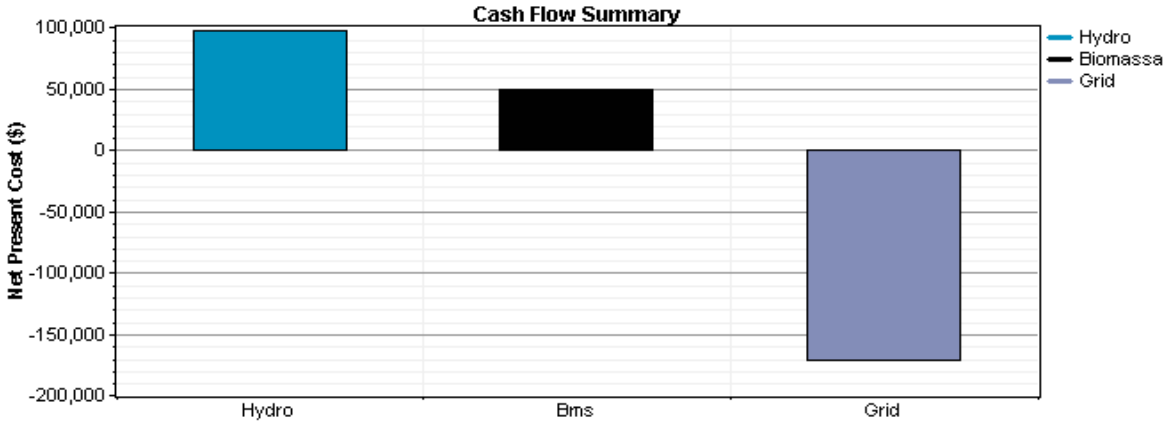
Analisis Ekonomi

Tabel 10 dan Gambar 16 merupakan rangkuman dari sisi ekonomi sistem optimal. Total NPC pada sistem hybrid ini adalah US$ -25.192. Biaya bahan bakar pada sistem adalah US$ 0, dikarenakan sistem tidak menggunakan bahan bakar minyak. Sistem mendapatkan keuntungan dari penjualan energi listrik ke grid sebesar US$153.526. Harga jual listrik optimal adalah US$0,013 /kWh. Jika dibandingkan dengan tarif dasar listrik (TDL) PLN tahun 2012 sebesar US$ 0,080/kWh *(www.pln.co.id)*, harga jual listrik sistem ini lebih rendah US$ 0.067/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa harga jual sistem Pembangkit Hybrid sangat kompetitif dibandingkan dengan harga jual listrik dari PLN. Selain itu, harga jual yang tinggi ke *grid* (PLN) sangat menguntungkan apabila sistem ini diimplementasikan di Desa Margajaya. Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral RI tentang harga pembelian tenaga listrik oleh PLN, dari pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi terbarukan skala kecil dan menengah, harga kelebihan tenaga listrik adalah sebesar US$0,116/kWh.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

TABEL 10. Kinerja ekonomi sistem Pembangkit Tenaga Hybrid

Production	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($)	Fuel ($)	Salvage ($)	Total ($)
Hydro turbine	88,350	0	8,429	0	0	96,779
Biomass	6,000	34,431	9,518	0	-447	49,502
Grid	0	0	-171,474	0	0	-171,474
System	94,350	34,431	-153,526	0	-447	-713.295
Total NPC						-25,192
Levelized COE						-0,013/kWh



GAMBAR 16. Rangkuman NPC dari sistem optimal

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Purchases (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge ($)	Demand Charge ($)
Jan	1,145	10,669	-9,525	33	-1,147	0
Feb	917	9,874	-8,957	26	-1,072	0
Mar	1,266	10,365	-9,099	31	-1,102	0
Apr	1,186	10,234	-9,049	30	-1,093	0
May	1,027	10,849	-9,823	32	-1,177	0
Jun	1,125	10,149	-9,024	35	-1,088	0
Jul	1,162	10,732	-9,569	28	-1,152	0
Aug	1,336	10,205	-8,870	27	-1,078	0
Sep	1,113	10,086	-8,972	29	-1,081	0
Oct	985	10,614	-9,629	24	-1,153	0
Nov	1,055	10,485	-9,430	31	-1,132	0
Dec	1,077	10,564	-9,488	34	-1,140	0
Annual	13,393	124,827	-111,434	35	-13,414	0

GAMBAR 17. Energi listrik yang dibeli dan dijual ke grid dalam satu bulan selama satu tahun

KESIMPULAN

Dari simulasi yang dilakukan terhadap model sistem pembangkit hybrid yang terdiri dari sistem mikrohidro, *PV Array*, biomassa dan *grid* dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil optimisasi energi terbarukan untuk pembangkit listrik hybrid, jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh model sistem hybrid ini

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dapat memenuhi kebutuhan energi listrik di Desa Margajaya.

2. Sistem hybrid dengan konfigurasi yang optimal terdiri dari sistem mikrohidro, biomassa dan *grid*.
3. Sistem optimal menunjukkan bahwa energi listrik yang dihasilkan dapat disalurkan ke *grid* (PLN), sehingga dapat menjadi pemasukan kas di Desa Margajaya.
4. Tujuan utama untuk membentuk Desa Margajaya sebagai Desa Mandiri Energi secara model dan simulasi telah terpenuhi dikarenakan desa tersebut dapat menghasilkan energi listrik sebesar 95% dari total 100% konsumsi energi listrik.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad Agus Setiawan, Y. Z. (2008). Design, economic analysis and environmental considerations of mini-grid hybrid power system with reverse osmosis desalination plant for remote areas. *Elsevier, 34*(0960-1481/$ – see front matter 2008 Elsevier Ltd. All rights reserved.), 374-383.

Arash Anzalchi, B. M. (2011, December). Wind-PV-Grid Connected Hybrid Renewable System in Kish Island. *International Review on Modelling and Simulations (I.RE.MO.S.), 4*(Copyright © 2011 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved), 6.

Ersin Akyuz, Z. O. (2011, November). Energetic, environmental and economic aspects of a hybrid renewable energy system: a case study. *International Journal of Low-Carbon Technologies, 6*(The Author 2010. Published by Oxford University Press), 44-54.

Faten Hosney Fahmy, N. M. (2012, February). Optimization of Renewable Energy Power System for Small Scale Brackish Reverse Osmosis Desalination Unit and a Tourism Motel in Egypt. *Scientific Research*(doi:10.4236/sgre.2012.31006 Published Online February 2012 (http://www.SciRP.org/journal/sgre)), 43-50.

Hrayshat, E. S. (2009, February). Off-grid hybrid wind–diesel power plant for application in remote Jordanian settlements. *Springer Clean Techn Environ Policy, 11*(DOI 10.1007/s10098-009-0200-0, Springer-Verlag 2009), 425-439.

Islam, S. M. (2012). Increasing wind energy penetration level using pumped hydro storage in island micro-grid system. *International Journal Of Energy and Environmental Engineering*(a SpringerOpen Journal), 3-9.

J. B. Fulzele, S. D. (2012, February). Optimium Planning of Hybrid Renewable Energy System Using HOMER. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 2*(ISSN: 2088-8708), 68-74.

Kunaifi. (2010). PROGRAM HOMER UNTUK STUDI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK HIBRIDA DI PROPINSI RIAU. *Seminar Nasional Informatika 2010 (semnasIF 2010), UPN "Veteran" Yogyakarta*, 18.

Meng, X.-l. (2011). Feasibility Analysis of Renewable Power Supply System for Remote SuoNanDaJie Protect Station. *IEEE Computer Society*(978-0-7695-4501-1/11 $26.00 © 2011 IEEE), 148.

Rachmawati, E. (2011, september). Retrieved from kompas.com: http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2011/09/19/16025971/Kebutuhan.Listrik.Tumbuh.5.500.MW.Per Tahun

PENULIS:

Arif Febriansyah Juwito✉, Sasongko Pramonohadi, T. Haryono

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika no. 2, Yogyakarta.

✉Email: arifjuwito@gmail.com

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

OPTIMALISASI LIMBAH SERBUK KAYU MENJADI BIOETANOL SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF TERBARUKAN MENGGUNAKAN DISTILASI GELOMBANG MIKRO

Deddy Kurniawan Wikanta, Fahmi Arifan, Luthfiana Azmi, Oktisya Devi Widyaningsih, Remita Septriani, Pinandita Rekyan Gupita, Anis Siti Nurjannah
Jurusan Teknik Kimia PSD III, UNDIP Semarang
Jl. Prof Sudarto SH, Pedalangan Tembalang, Semarang 50239
E-mail : dwikanta@gmail.com, fahmiarifan@gmail.com, luthfiana.azmi@gmail.com, oktisyadevi@gmail.com, remittaa@yahoo.com, pinanditarekyan@gmail.com, anissiti_nurjannah@yahoo.com

Abstrak

Hasil dari proses industri penggergajian kayu kebanyakan menyisakan limbah padat berupa serbuk gergaji dan serpihan kayu yang terbuang menumpuk di suatu lokasi tertentu yang dapat mengganggu kondisi lingkungan sekitar, sehingga diperlukan penanganan terhadap limbah padat hasil penggergajian kayu tersebut. Berdasarkan komposisi kimia kayu kandungan yang paling banyak adalah selulosa, dalam hal ini adalah selulosa yang dapat diolah menjadi etanol. Tahapan pembuatan bioetanol dari serbuk kayu yaitu delignifikasi, hidrolisa, distilasi dan dehidrasi. Distilasi bioetanol sendiri memanfaatkan pemanasan gelombang mikro. Pemanasan dengan gelombang mikro mempunyai kelebihan yaitu pemanasan lebih merata karena bukan mentransfer panas dari luar tetapi membangkitkan panas dari dalam bahan tersebut. Pemanasannya juga dapat bersifat selektif artinya tergantung dari dielektrik properties bahan. Hal ini akan menghemat energi untuk pemanasan akan menghasilkan etanol dengan kadar kurang dari 95%. Setelah proses dehidrasikadar etanol menjadi 99,5%. Densitas etanol yang dihasilkan variabel 1,2 dan 3 yaitu 0,806; 0,801 dan 0,795 gr/ml dengan kadar etanol variabel 1,2 dan 3 yaitu 92,809%,94,96% dan 96,708%.

Kata Kunci : *bioetanol,gelombang mikro, serbuk gergaji*

1. PENDAHULUAN

Pada masa sekarang dimana kecenderungan pemakaian bahan bakar sangat tinggi sedangkan sumber bahan bakar minyak bumi yang dipakai saat ini semakin menipis. Perlu adanya alternatif lain bahan yang dapat digunakan sebagai pengganti minyak bumi. Penggunaanetanol sebagai pengganti minyak bumi. Penggunaan etanol sebagai bahan bakar merupakansalah satu jalan pemecahan masalah energi pada saat ini.

Saat ini sedang diusahakan secara intensif pemanfaatan bahan-bahan yang mengandung serat kasar dengan kandungan karbohidrat yang tinggi, di mana semua bahan yang mengandungkarbohidrat dapat diolah menjadi etanol. Misalnya kayu, umbi kayu, ubi jalar, pisang, kulit pisang dan lain-lain. Etanol dapat dihasilkan dari tanaman yang banyak mengandung senyawaselulosa dengan menggunakan bantuan dari aktivitas mikroba.

Kayu merupakan jenis tumbuhan tropis yang sangat banyak dijumpai di Indonesia, tetapihasil dari proses industri penggergajian kayu kebanyakan menyisakan limbah padat berupaserbuk gergaji dan serpihan kayu yang terbuang menumpuk di suatu lokasi tertentu yang dapatmengganggu kondisi lingkungan sekitar, sehingga diperlukan penanganan terhadap limbah padat hasil penggergajian kayu tersebut.

Distilasi bioetanol memanfaatkan pemanasan gelombang mikro. Pemanasan dengan gelombang mikro mempunyai kelebihan yaitu pemanasan lebih merata karena bukan mentransfer panas dari luar tetapi membangkitkan panas dari dalam bahan tersebut. Pemanasannya juga dapat bersifat selektif artinya tergantung dari dielektrik properties bahan. Hal ini akan menghemat energi untuk pemanasan.

2. METODOLOGI

2.1 BAHAN

Bahan baku dalam penelitian ini terdiri dari :

a. Serbuk gergaji kayu diambil dari toko kayu gelondongan dan penggergajian kayu pada usaha mebel, dianalisis kadar selulosanya, lignin, pentosan, air dan abu. Untuk kadar

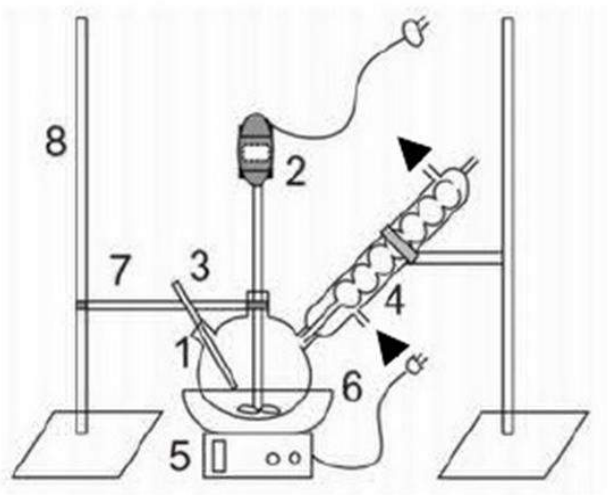
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISBN 978-602-99334-2-0

selulosa 48,89%, kadar lignin 28,90%, kadar abu 2,09%, kadar air 6,02%, dan kadar pentosan 14,10%.

b. *Zymomonas mobilis* teknis

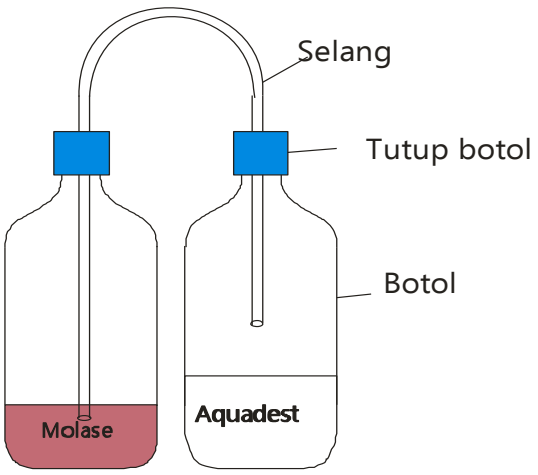
2.2 ALAT



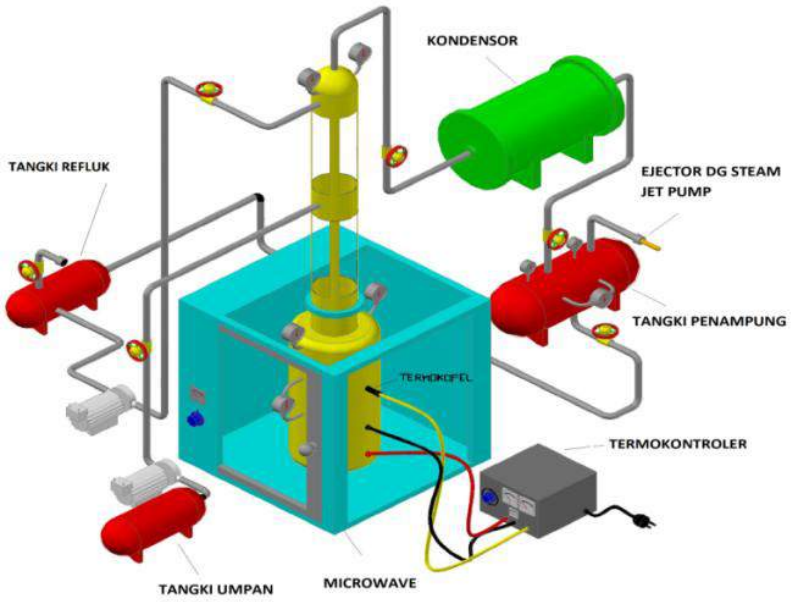
Gambar 1. Rangkaian alat hidrolisis

Keterangan gambar :

1. Labu leher tiga 500 ml
2. Motor pengaduk
3. Termometer
4. Pendingin balik
5. Kompor pemanas
6. Waterbath
7. Klem
8. Statif



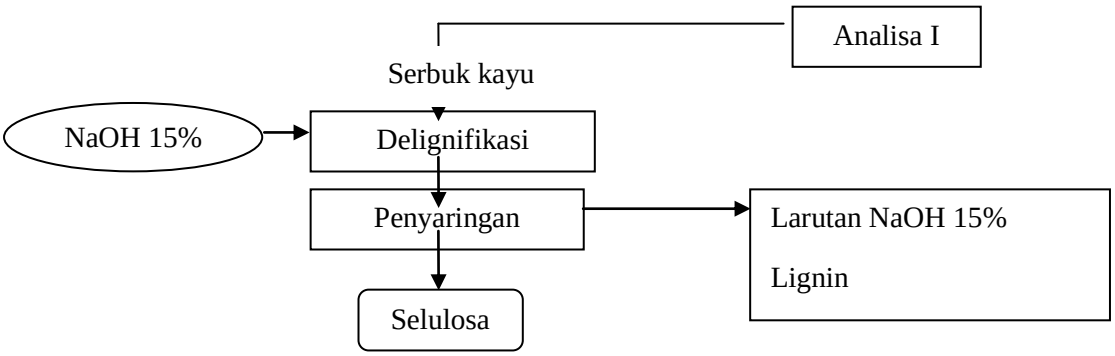
Gambar 2. Rangkaian alat fermentasi anaerob



Gambar 3. Skema Peralatan *Microwave Distillation* dengan *Steam*

2.3 METODE PERCOBAAN

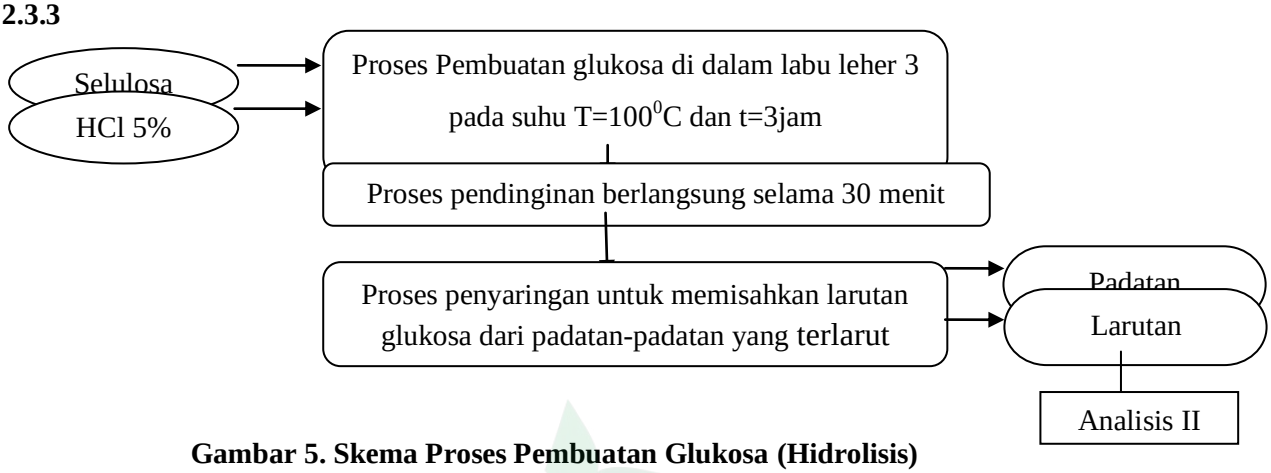
2.3.1 Proses Delignifikasi



Gambar 4. Skema Proses Delignifikasi

2.3.2 Proses Pembuatan Glukosa (Hidrolisis)

2.3.3



Gambar 5. Skema Proses Pembuatan Glukosa (Hidrolisis)

Keterangan:

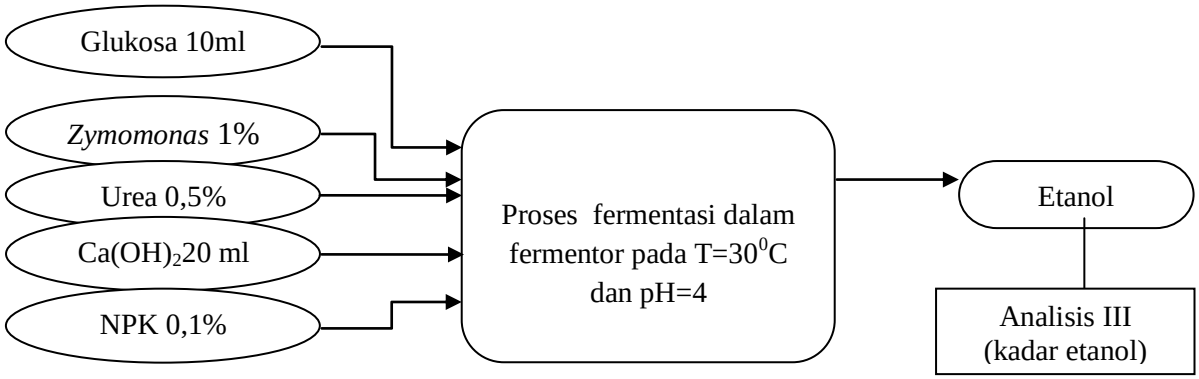
a. Analisa I : kadar selulosa, abu, air dan lignin.

b. Analisa II: kadar glukosa

ISBN 978-602-99334-2-0

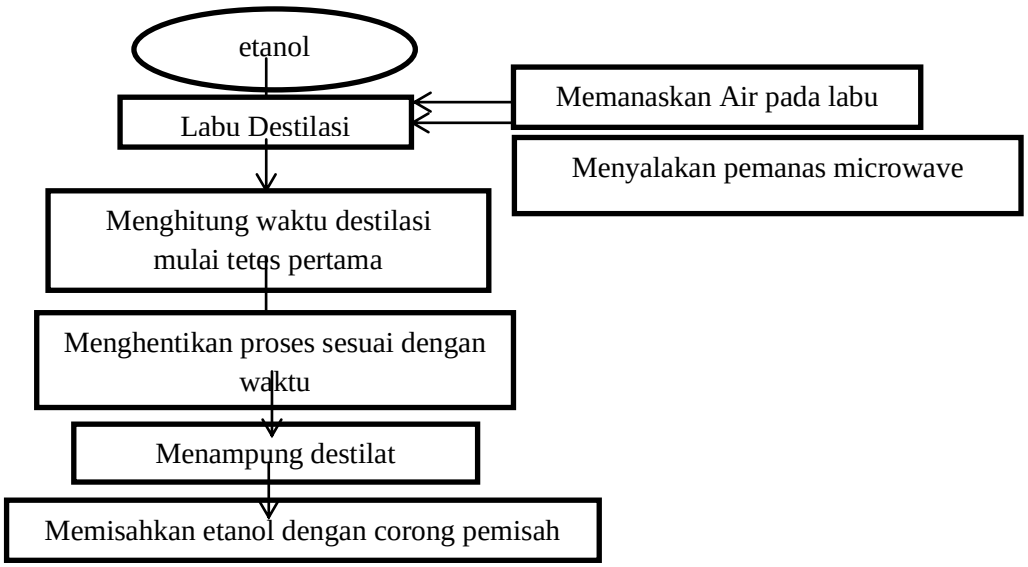
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2.3.4 Proses Fermentasi



Gambar 6. Skema Proses Fermentasi

2.3.5 Proses Distilasi Gelombang Mikro



Gambar 7. Skema Proses Distilasi Gelombang Mikro

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengamatan Hidrolisis

Hasil pengamatan hidrolisis dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengamatan Hidrolisis

Sampel	BeratBahan	HCl5%	FiltratHidrolisis
1	100 gr	400 ml	312 ml
2	100 gr	400 ml	337 ml
3	100 gr	400 ml	345 ml

Reaksi hidrolisis berlangsung menurut persamaan reaksi sebagai berikut :

$$\underset{\text{Pati}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + \underset{\text{Air}}{nH_2O} \xrightarrow{H_2SO_4} \underset{\text{Glukosa}}{(C_6H_{12}O_6)}$$

Pada praktikum hidrolisis 3 sampel dengan masing-masing bahan 100gr berat serbuk kayu kering yang ditambahkan air 750ml, HCl 40ml di dapatkan filtrat hidrolisis sampel 1,2 dan 3 berturut-turut yaitu 312ml,337ml dan 345ml.

3.2 Fermentasi

Secara teoritis konversi molekul gula menjadi 2 molekul etanol dan 2 molekul CO_2 menurut persamaan Gay Lussac:

$$\underset{\text{(gula)}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\textit{Zymomonas mobilis}} \underset{\text{(etanol)}}{2C_2H_5OH} + \underset{\text{(karbondioksida)}}{2\,CO_2}$$

Dalam proses fermentasi masing-masing diberi penambahan *Zymomonas mobilis* = 5%, NPK 1%, Urea 0,5% dan Sukrosa (15,20,25)%.

Dari percobaan terdapat volume air pada botol fermentasi yang berisi air semakin berkurang. Hal ini dikarenakan gas CO_2 yang dihasilkan kontak dengan H_2O yang terdapat dalam botol plastik akan membentuk panas, sehingga uap air menguap membentuk gas H_2 yang ditunjukkan dengan menempelnya uap air pada plastik. Tetapi karena uap air yang menempel terlalu banyak maka lama-lama uap air turun kebawah botol sehingga volume air bertambah banyak.

Jadi, density yang didapat menyimpang dari harga teoritis dimana harga density ethyl alkohol teoritis adalah 0,816 gr/ml (Perry Tabel 3.2). Hal ini disebabkan karena di dalam ethyl alkohol masih banyak mengandung air sehingga density menjadi lebih besar. Tetapi jika dibandingkan dengan density air, ethyl alcohol yang didapat lebih rendah. Secara teoritis, density air lebih besar dari density ethyl alkohol, dimana density air sebesar 1 gr/ml, maka banyaknya volume air yang terikut ethyl alkohol juga mempengaruhi harga density dari ethyl alkohol.

3.3 Distilasi

Hasil pengamatan distilasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2.Hasil Pengamatan Distilasi Etanol

Sampel	PengkayaanSukrosa	HasilDistilat	BeratJenis(gr/ml)	% Kadar
1	15 %	15 ml	0,846	77,193
2	20 %	20 ml	0,834	82,056
3	25 %	21 ml	0,825	85,63

Pada percobaan kami volume etanol yang didapat pada variabel 1,2 dan 3 yaitu 15ml, 20ml dan 21ml. Serta kadar etanol yang didapat setelah proses distilasi pada variabel 1,2 dan 3 yaitu 77,193%; 82,056% dan 85,63%,sedangkan berat jenis yang didapat pada variabel 1,2 dan 3 yaitu 0,846; 0,834 dan 0,825gr/ml.

Semakin banyak pengkayaan sukrosa maka kadar etanol semakin besar karena kadar gula yang tereduksi menjadi etanol semakin besar pula.

3.4 Dehidrasi

Hasil pengamatan dehidrasi dan distilasi lanjutan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengamatan Dehidrasi dan Distilasi Lanjutan

Sampel	Volume Sampel	Massa Zeolit	Volume Hasil	ρ(gr/ml)	Kadar %
1	15 ml	1,296 gr	13,8ml	0,806	92,809
2	20 ml	1,668 gr	18,7ml	0,801	94,96
3	21 ml	1,7325 gr	19,9ml	0,795	96,708

Pada proses dehidrasi etanol pada kelompok kami menggunakan penambahan silika gel 10% dari massa etanol masing-masing variabel. Massa silika gel yang ditambahkan ke dalam masing-masing variabel 1,2 dan 3 yakni 1,296gr; 1,668gr dan 1,7325 gr diperoleh volume hasil variabel 1,2

ISBN 978-602-99334-2-0

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dan 3 yakni 13,8;18,7 dan 19,9 ml. Densitas variabel 1,2 dan 3 yaitu 0,806; 0,801 dan 0,795 gr/ml dengan kadar etanol variabel 1,2 dan 3 yaitu 92,809%,94,96% dan 96,708%.

4. KESIMPULAN

Serbuk kayu digunakan sebagai bahan baku bioetanol karena mengandung selulosa. Selulosa tersebut diurai terlebih dahulu melalui proses hidrolisis kemudian difermentasi dengan menggunakan *Zymomonas mobilis*menjadi alkohol. Bioetanol (C_2H_5OH) adalah cairan dari fermentasi gula dari sumber karbohidrat menggunakan bantuan mikroorganisme.

Tahapan proses pembuatan bioetanol dari serbuk kayu yakni delignifikasi,hidrolisis,fermentasi,distilasi dan dehidrasi.

Distilasi bioetanol memanfaatkan pemanasan gelombang mikro. Pemanasan dengan gelombang mikro mempunyai kelebihan yaitu pemanasan lebih merata karena bukan mentransfer panas dari luar tetapi membangkitkan panas dari dalam bahan tersebut. Pemanasannya juga dapat bersifat selektif artinya tergantung dari dielektrik properties bahan. Hal ini akan menghemat energi untuk pemanasan.

DAFTAR PUSTAKA

http://id.scribd.com/doc/48604199/PENGOLAHAN-SERBUK-KAYU-MENJADI-ETANOL-DENGAN-PROSES-FERMENTASI

Fessenden, JK dan Fessenden, SJ. 1992. *"Kimia Organik*". Edisi ke 3 Jilid ke 4. Erlangga: Bandung

Judoamidjoyo, Mulyono. 1997. "*TeknologiFermentasi*". PT. Alvian: Bandung

Perry, R.H. 1994. "*Perry's Chemical Engineer's Hand Book*". 5th Edition.Mc Grow Hill Book Co: London

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

OPTIMALISASI RUANG TERBUKA HIJAU BERUPA TAMAN ENERGI BARU TERBARUKAN SEBAGAI UPAYA PEMANFAATAN LAHAN KOSONG DI LINGKUNGAN KAMPUS (STUDI KASUS KAMPUS STT-PLN, JAKARTA)

oleh :
Gita Puspa Artiani
Teknik Sipil Sekolah Tinggi Teknik PLN Jakarta
Email : gitapuspa@sttpln.ac.id

Sriyono D. Siswoyo
Teknik Sipil Sekolah Tinggi Teknik PLN Jakarta
Email : sriyono@sttpln.ac.id

Abstrak : Lahan kosong atau ruang terbuka yang berada di sekitar bangunan merupakan salah satu aspek yang harus diperhatikan di dalam pembangunan terutama pada pembangunan gedung kampus. Keberadaan lahan kosong tersebut dapat dimanfaatkan sebagai jalan atau juga dapat dibangun sebuah taman yang akan menambah nilai estetika pada bangunan tersebut. Penggunaan lahan kosong sebagai kesekertariatan dengan bentuk *portacamp* yang sudah ada di lingkungan STT-PLN akan lebih maksimal jika digunakan sebagai sarana pendukung kelistrikan mandiri untuk taman Energi Baru Terbarukan. Perencanaan Taman Energi Baru Terbarukan disesuaikan dengan luas lahan kosong yang ada dan konsep kampus sebagai bangunan akademis, yaitu gaya taman formal. Luas ruang terbuka hijau yang direncanakan adalah sebesar 3543.7 m^2 yang diperuntukan membangun Plaza Energi seluas 180 m^2 dan menggunakan komponen eksisiting berupa *portacamp* sebagai alas berdirinya panel surya. Komponen yang diperlukan untuk pembuatan taman energi baru terbarukan adalah logo STT-PLN berupa beton pracetak padat, *gathering point,* pembuatan jalan (*paving block*), kursi taman, lampu penerangan, pot tanaman, tempat sampah, tanaman pohon, tanaman penghias, *groundcover,* PLTS / Panel Surya, baterai, *Inverter*. Besar Rencana Anggaran Biaya untuk pembangunan Taman Energi Baru Terbarukan adalah sebesar Rp 68.792.000 dengan anggaran untuk membangun PLTS sebesar Rp 23.635.000, dan jika biaya pembuatan PLTS dianggap investasi maka *payback period* yang diperlukan adalah selama 19 tahun dengan umur rencana Pembagkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) selama 25 tahun. Hal ini menunjukkan perencanaan Taman Energi Baru Terbarukan dapat menjadi salah satu alternatif dalam upaya pemanfaatan lahan kosong di lingkungan kampus.

Kata kunci : Lahan kosong, perencanaan, taman energi baru terbarukan.

Abstract : *Empty land or open space around the building is one aspect that must be considered in development, especially in the construction of campus buildings. Where the existence of such vacant land can be used as a road or also can be built a park that will add aesthetic value to the building. The use of vacant land as a secret in the form of an existing portacamp in the STT-PLN environment will be maximized if it is used as a means of supporting independent electricity for the Renewable Energy park. The Renewable Energy Park Planning is adapted to the existing vacant land area and the Campus concept as an academic building, namely the formal garden style. The planned area of Green Open Space is 3543.7 m2 which is intended to build an Energy Plaza covering an area of 180 m2 and using an existing component in the form of Portacamp as the foundation for the solar panels. The components needed to make a new renewable energy park are the STT-PLN Logo in the form of solid precast concrete, Gathering Points, Making Roads (Paving Block), Garden Chairs, Lighting Lights, Plant Pots, Trash Can, Tree Plants, Decorating Plants, Groundcover, PLTS / Solar Panel, Battery, Inverter. The budget plan for the construction of the Renewable Energy Park is Rp.*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

68,792,000 rupiah with a budget to build PLTS of Rp. 23,635,000, and if the cost of making PLTS is considered an investment, the required payback period is 19 years with 25 PLTS plans. Year. This shows that the Renewable Energy Park planning can be an alternative in the effort to use vacant land within the campus.

***Keywords**: vacant land, planning, new renewable energy parks.*

Pendahuluan

Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam pembangunan selain bangunan itu sendiri yaitu adanya lahan kosong atau ruang terbuka yang berada di sekitar bangunan tersebut. Keberadaan lahan kosong yang ada dapat dimanfaatkan sebagai jalan atau akses untuk keluar dan masuk menuju bangunan atau juga dapat dibangun sebuah taman yang akan memberi keindahan atau menambah nilai estetika pada bangunan tersebut, atau mungkin keduanya. Begitu juga yang terjadi pada lingkup kampus yang tak lepas dari beberapa gedung yang dihubungkan dengan jalan dan disekitarnya terdapat taman. Pemanfaatan lahan kosong sebagai ruang terbuka hijau harus diupayakan secara maksimal sehingga dapat memberi hubungan timbal balik antara manusia dengan lingkungan. Salah satunya menciptakan taman kampus yang indah akan memberi rasa nyaman dan sehat terhadap lingkungan sekitar serta masyarakat kampus yang menikmatinya. Adanya suatu taman di wilayah kampus dapat memberikan nilai positif karena fungsinya sebagai ruang terbuka hijau dan sebagai ruang sosial dimana semua masyarakat kampus dapat berkumpul melakukan kegiatan atau yang lebih dikenal sebagai tempat *refreshing.*

Penggunaan lahan kosong sebagai kesekertariatan dengan bentuk *portacamp* yang sudah ada di lingkungan STT-PLN akan lebih maksimal jika digunakan sebagai sarana pendukung kelistrikan mandiri untuk taman Energi Baru Terbarukan, dalam hal ini dapat dilihat posisi *portacamp* yang sudah *existing* ini cukup luas dan cukup tinggi untuk meletakan panel surya selain itu jarak yang masih cukup dekat dengan areal taman menjadikan *portacamp* alternatif yang tepat sebagai wadah dari panel surya tersebut.

Berdasarkan penjelasan di atas danya taman di dalam lingkungan kampus sangatlah penting hal ini dikarenakan taman yang berada di dalam kampus merupakan salah satu sarana untuk aktivitas mahasiswa dan civitas akademika lainnya. Apabila didesain dengan benar dan memanfaatkan suatu lahan dengan efektif mahasiswa akan merasa nyaman berada di dalam lingkungan kampus apalagi jika dalam taman kampus difasilitasi oleh berbagai macam tempat yang dapat digunakan untuk beraktifitas dan taman kampus juga merupakan tempat untuk bersantai ketika selesai kuliah dan kegiatan yang lain. Dari hasil penelitian diharapkan dapat diketahui rancangan desain Taman Energi Baru Terbarukan yang sesuai dengan fungsi area dan luasan lahan yang ada serta dapat diketahui berapa besar Rencana Anggaran Biaya pada perencanaan Taman tersebut dalam upaya pemanfaatan lahan kosong di lingkungan kampus.

Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan untuk merencanakan *siteplan* Taman Energi Baru Terbarukan adalah dengan pengumpulan data dan studi literatur. Pengumpulan data dan literatur dilakukan dengan observasi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

lapangan dan studi literatur. Observasi lapangan dilakukan dengan untuk mencari data lokasi posisi *site* dan data umum lingkungan. Studi pustaka dimaksudkan sebagai tinjauan terhadap aspek teknis maupun non teknis, serta tinjauan terhadap aspek aspek yang berkaitan dengan ilmu pengetahuan. Tahapan penelitian meliputi

1. Tahap Survey dan Pengumpulan Data
   Survey yang dilakukan untuk memperoleh data-data primer seperti luas lahan dan topografi lokasi, serta data-data sekunder seperti :harga satuan dari bahan-bahan bangunan dan peralatan *solar cell* .
2. Menentukan tema dan konsep Taman Energi Baru Terbarukan
   Menentukan tema taman yang sesuai dengan fungsi area dan luasan yang ada.
3. Merancang desain Taman Energi Baru Terbarukan
   Pekerjaan pembangunan taman energi yang sesuai dengan luasan lahan yang ada dan fungsi ruang dibagi dalam dua bagian yaitu pembangunan Plaza Energi dan *Power Source*.
4. Memberikan komponen dan fasilitas yang akan diadakan di Taman Energi Baru Terbarukan
   Komponen yang diperlukan untuk membangun Taman Energi Baru Terbarukan adalah elemen keras (logo STT-PLN, *gathering point*, pembuatan jalan (*paving block*), kursi taman, lampu penerangan, pot tanaman, tempat sampah). Elemen lunak (tanaman pohon, tanaman penghias, *groundcover)* : ***power source*** (PLTS / panel surya, baterai, *inverter*).
5. Merancang besar Rencana Anggaran Biaya Taman Energi Baru Terbarukan
   Untuk mengetahui besarnya investasi yang diperlukan untuk membuat taman energi baru terbarukan dengan pemanfaatan lahan kosong.
6. Pembuatan Gambar Desain
   Tahap ini adalah membuat gambar desain atau gambar teknik dari Taman Energi Baru Terbarukan yang direncanakan. Dalam proses penggambaran menggunakan software autocad 2012.
7. Pengambilan kesimpulan
   Setelah semua data selesai diolah dan dianalisa, barulah dapat diambil kesimpulan.

Kondisi Eksisting Lahan Kosong yang Direncanakan

Kondisi eksisting adalah kondisi sebenarnya dari lahan kosong yang akan direncanakan sebagai ruang terbuka hijau berupa taman energi baru terbarukan. Dari data di lapangan didapatkan hasil seperti berikut.

1. Luas lahan kosong yang digunakan untuk pembuatan taman adalah seluas 180 m^2 dengan panjang 18 m dan lebar 10 m.
2. Tanah yang berada di lokasi bergelombang dan tidak rata.
3. Terdapat kontainer yang digunakan sebagai sekertariat organisasi mahasiswa di sekitar lokasi yang direncanakan dapat dikembangkan untuk *mounting* PLTS.
4. Terdapat tugu selamat datang STT-PLN.



Gambar 1. Kondisi eksisting lahan tampak Atas
(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2019).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



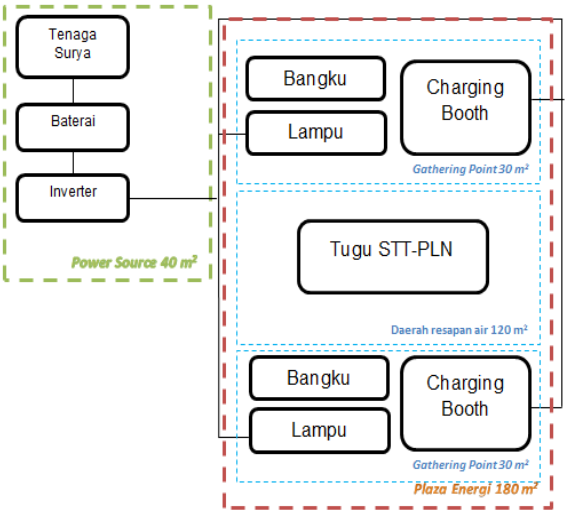
Gambar 2. Kondisi eksisting lahan tampak depan
(Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2019).

Menentukan Konsep dan Tema Taman Energi Baru Terbarukan

Karena lokasi rencana Taman Energi Baru Terbarukan berada pada lingkup kantor dan kampus, maka konsep dari Taman Energi Baru Terbarukan harus bersifat minimalis dan sederhana, sehingga tetap terlihat formal di lingkungan akademis. Tema taman yang paling tepat untuk digunakan adalah gaya taman formal. Kunci kesuksesan taman bergaya formal adalah kesederhanaan. Kata sederhana itu mencakup tanaman, ornamen, *hard material* dan lainnya sebagai pengisi taman. Konsep taman ini menggunakan pola garis dan bentuk sederhana seperti bujur sangkar, empat persegi panjang, lingkaran dan elips disesuaikan dengan luasan yang ada dan lokasi yang berada di lingkungan kampus.

Rencana Pemanfaatan Lahan

Lahan yang direncanakan pada perencanaan Taman Energi Baru Terbarukan dibagi menjadi beberapa bagian seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Pembagian fungsi ruang pada Taman Energi Baru Terbarukan
(Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2019).

Berdasarkan gambar 3 bahwa Bagian *Power Source*

- Luas area *Power Source* yang diperlukan untuk meletakkan panel surya adalah seluas 40 m^2 sama dengan luas 3 *portacamp* yang ditambah jarak antar *portacamp*.
- Luas area *power source* menggunakan bangunan eksisting berupa *portacamp.*
- *power source* yang direncanakan berisi 6 buah panel surya dan 8 buah baterai dan juga 1 buah *inverter*.
- 2 panel surya diletakkan di setiap atap *portacamp* agar mendapatkan panas matahari yang sesuai dengan perecanaan.

Gathering Point

- Luas area *gathering point* adalah 60m^2 tediri dari 2 area simetris di bagian timur dan barat dari plaza energi.
- Setiap sisi *gathering point* yang direncanakan berisi 1 tanaman pohon, 4 buah bangku besi, 4 buah lampu taman, 4 buah *charging booth*. 4 buah tong sampah, dan 4 buah tanaman perdu.
- Akses jalan menuju *gathering point* berupa pasangan *paving block* dengan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pasir sebagai alas dan beton sebagai pembatas sisi *paving block.*

- Akses jalan antar bagian *gathering point* menggunakan jalan setapak sebanyak 7 buah pada masing masing sisi.

Daerah Resapan Air

- Daerah resapan air yang direncanakan adalah seluas 120 m^2 pada bagian tengah plaza energi.
- Plaza energi hanya berisikan 1 buah logo STT-PLN dan 2 buah lampu sorot agar tidak terlalu banyak elemen keras pada daerah resapan air.

Rencana Rincian Dan Biaya Pekerjaan

Rencana rincian dari biaya pekerjaan dari pada perencanaan Taman Energi Baru Terbarukan yaitu sebagai berikut.

Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan yang dilakukan adalah pekerjaan membersihkan lapangan lokasi dengan harga dan koefisien yang ada pada "Permen PUPR 28 tahun 2016" dan "Jurnal Harga Satuan Bahan dan Pekerjaan Edisi 37 tahun 2018" di daerah DKI Jakarta yaitu seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Uraian pekerjaan persiapan

NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOL	HARGA SATUAN		JUMLAH HARGA (Rupiah)
			SAT	HARGA (Rupiah/Satuan)	
I.	PEKERJAAN PERSIAPAN, GALIAN				
1	Persiapan Lahan	180	M^3	22.66	4.076.800
2	Galian Pondasi Pot Pohon Tanjung	8,99	M^3	105.83	951.412
3	Galian Pondasi Pembatas Tanah Tugu Perusahaan	10,35	M^3	105.83	1.095.341
4	Galian Pondasi Tugu Perusahaan	0,12	M^3	105.83	12.67
5	Galian Pembatas Paving	0,004	M^3	105.83	424
6	Galian Untuk Peletakan Pasir	0,384	M^3	105.83	40.639
Jumlah					6.177.286

Berdasarkan tabel 1 didapat bahwa biaya untuk pekerjan persiapan sebesar Rp. 6.177.286

Pekerjaan Fondasi Dan Beton

Pekerjaan Fondasi yang dilakukan adalah pekerjaan untuk pemasangan pondasi tugu STT-PLN dan Pot untuk tanaman pohon yaitu seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Uraian Pekerjaan Fondasi dan Beton

NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOL	HARGA SATUAN		JUMLAH HARGA (Rupiah)
			SAT	HARGA (Rupiah/ Satuan)	
II.	PEKERJAAN FONDASI DAN BETON				
1.	Pembuatan Pondasi Pot Pohon Tanjung	8,99	M^3	953.884	8.575.418
2.	Pondasi Pembatas Tugu Perusahaan	10,35	M^3	953.884	9.872.699
3.	Pondasi Tugu Perusahaan	0,12	M^3	953.884	114.467
4.	Pembuatan Pemisah Paving dan Tanah	0,04	M^3	1.099.704	43.989
5.	Pembuatan Penyangga Tugu Perusahaan	0,12	M^3	1.099.704	131.965
6.	Pembuatan Simbol Tugu Perusahaan	1	Ls	2.000.000	2.000.000
Jumlah					20.738.538

Berdasarkan tabel 2 didapat bahwa biaya untuk pekerjan fondasi sebesar Rp. 20.738.538.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pekerjaan Pemasangan Dan Plesteran

Berikut adalah rincian harga pemasangan dan plesteran yaitu seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Uraian pekerjaan pemasangan dan plesteran

NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOL	HARGA SATUAN		JUMLAH HARGA (Rupiah)
			SAT	HARGA (Rupiah/ Satuan)	
III.	PEKERJAAN PASANGAN DAN PLESTERAN				
1	Pembuatan Pot Pohon Tanjung	2,89	M2	317.178	916.645
2	Pembuatan Pembatas Tanah Tugu Perusahaan	6,28	M2	317.178	1.991.878
3	Plesteran Pot Pohon Tanjung	1,79	M2	80.332	143.795
4	Plesteran Pembatas Tanah pada Tugu Perusahaan	3,3	M2	80.332	265.095
Jumlah					3.317.413

Berdasarkan tabel 3 didapat bahwa biaya untuk pekerjan pemasangan dan plesteran sebesar Rp. 3.317.413.

Pekerjaan Pembuatan Jalan

Berikut adalah rincian harga pembuatan jalan yaitu seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Uraian Pekerjaan pembuatan jalan

NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOL	HARGA SATUAN		JUMLAH HARGA (Rupiah)
			SAT	HARGA (Rupiah/ Satuan)	
IV.	PEKERJAAN PEMBUATAN JALAN				
1.	Pekerjaan Paving Block	6,4	M²	551.870	3.531.968
2.	Pemasangan Jalan Setapak	14	buah	25.000	350.000
Jumlah					3.881.968

Berdasarkan tabel 4 didapat bahwa biaya untuk pekerjan pembuatan jalan sebesar Rp. 3.881.968.

Pekerjaan PLTS

Pekerjaan PLTS meliputi pemasangan panel surya dan pengkabelan menuju baterai, lampu dan terminal pengisian daya, yaitu seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Uraian pekerjaan PLTS

NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOL	HARGA SATUAN		JUMLAH HARGA (Rupiah)
			SAT	HARGA (Rupiah/Satuan)	
V.	PEKERJAAN PLTS				
1	Tukang Listrik	1	OH	135.5	135.5
2	Solar Panel 100 Wp Poly GH Cell Surya PLTS	6	buah	740	4.440.000
3	Baterai VRLA Storace 12V 100Ah	8	Buah	1.850.000	14.800.000
4	Set Panel Inverter Otomatis 1000w	1	Buah	1.850.000	1.850.000
5	Kabel Solar Panel Akiku 2x2.5 Panjang 18M	2	roll	150	300
6	Box Panel Indoor 17 x 20 x 12	1	set	85	85
7	Box MCB Hager 4 Group in Bow	1	unit	75	75
8	Konektor MC4 Panel Surya	12	set	17	204
9	Bracket Almunium Rail Modul Panel Surya Almunium Rail Supporting Hook For Tile Roof	6	set	313.5	1.881.000
JUMLAH					23.635.000

Berdasarkan tabel 5 didapat bahwa biaya untuk pekerjan PLTS sebesar Rp. 23.635.000.

Pekerjaan Finishing

Pekerjaan finishing meliputi pembelian tanaman yang digunakan untuk perencanaan taman energi baru terbarukan, pemasangan lampu dan pengecatan pasangan batu bata yang sudah di plester yaitu seperti pada tabel 6.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 6. Uraian pekerjaan finishing

NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOL	HARGA SATUAN		JUMLAH HARGA (Rupiah)
			SAT	HARGA (Rupiah/Satuan)	
VI.	PEKERJAAN FINISHING				
1	Pemasangan 35 Titik Lampu biasa, 2 Lampu Sorot dan 8 Slot Stopkontak untuk Charging Booth	1	Ls	5.443.200	5.443.200
2	Pengadaan Kursi Taman	1	Ls	2.907.500	2.907.500
3	Pekerjaan Penanaman	1	Ls	2.430.500	2.430.500
4	Pengecatan Pot Pohon Tanjung	2,89	M2	28.373	81.998
5	Pengecatan Batas Tugu Perusahaan	6,28	M2	28.373	178.183
Jumlah					11.041.381

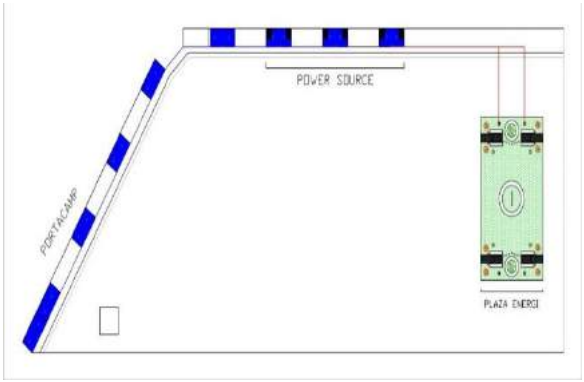
Berdasarkan tabel 6 didapat bahwa biaya untuk pekerjan *finishing* sebesar Rp. 11.041.381.
Diketahui total investasi yang diperlukan untuk membangun Taman Energi Baru Terbarukan adalah sebesar Rp 68.792.000.

Konsep Perencanaan Ruang Terbuka Hijau Di Lahan Kosong Yang Direncanakan

Pekerjaan pembangunan taman energi ini dibagi dalam dua bagian yaitu pembangunan Plaza Energi sebagai *gathering point* dan *Power Source* sebagai sumber pembangkitan listrik pada Taman Energi Baru Terbarukan.

Pembuatan Gambar Desain

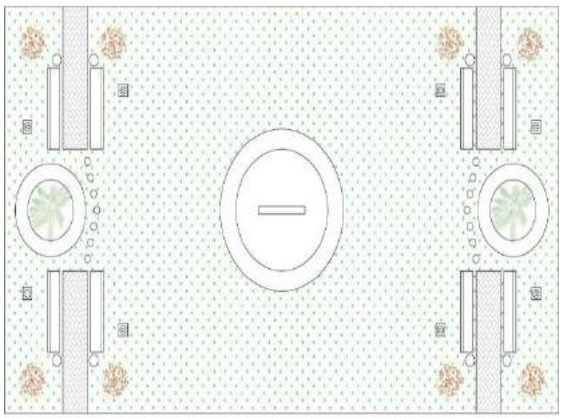
Pembuatan gambar desain menggunakan program *software* Autocad 2012. Penggambaran didasarkan kepada hasil perencanaan Taman Energi Baru Terbarukan. Gambar desain berupa gambar sketsa area Taman Energi Baru Terbarukan. Gambar desain secara lengkap dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Denah Atas Perencanaan Taman Energi

Plaza Energi

Plaza energi merupakan luasan gabungan *gathering point* dan daerah resapan air hujan yang dibangun untuk menambah kegunaan dari lahan kosong tersebut, plaza energi dapat digunakan untuk sarana berkumpul melakukan kegiatan diluar ruangan bangunan utama dan tetap memberikan ruang untuk air meresap kedalam tanah. Plaza energi juga dapat menambah nilai estetika dan menjadi *icon* dari kampus STT-PLN itu sendiriseperti pada gambar 5.



Gambar 5. Plaza Energi Tampak Atas

Power Source

Power Source adalah bagian dari taman energi yang digunakan untuk menangkap

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

energi dari sinar matahari dan angin untuk dijadikan sumber energi dan diubah menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk kebutuhan taman dan kegiatan di dalamnya. Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang digunakan untuk taman energi ini harus mampu untuk memenuhi kebutuhan listrik untuk menyalakan 8 buah lampu taman, 2 buah lampu sorot, 8 buah lampu untuk lorong dan 16 lampu dalam ruangan masing masing 1 lampu untuk 1 sekertariat organisasi mahasiswa. Jika dirincikan kebutuhaan listrik yang dibutuhkan jika lampu dinyalakan 4 jam perhari nya

- 8 buah lampu taman 13 Watt = 416 Wh
- 2 buah lampu sorot 30 Watt = 240 Wh
- 9 buah lampu lorong 13 Watt = 468 Wh
- 18 buah lampu ruangan 13 Watt = 936 Wh
- 8 slot *charging booth* 6 Watt = 288 Wh

Sehingga jika di total kebutuhan listrik yang di bebankan adalah sebesar 2348Wh untuk lampu dan terminal pengisian daya. jika dihitung dengan perhitungan rencana plts, dengan menggunakan panel surya yang memiliki kapasitas 100 wp dan dan dengan waktu pengisian rata rata 4 jam sehari (*peak sun hours* rata rata Jakarta) maka dapat dihitung :

$$\frac{2348\ Wh}{100wp\ \times 4\ jam} = 5{,}87 \sim 6\ buah$$

Jadi dibutuhkan 6 buah panel surya untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut.

Berikut adalah gambar 3D dari perencanaan Taman Energi Baru terbarukan seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Elemen Lunak dan Posisinya dalam Taman Energi Baru Terbarukan

Payback Period

Jika biaya pembuatan PLTS dianggap sebagai investasi maka untuk mendapatkan lamanya *payback period* dapat dihitung dengan membagi besar invetasi PLTS dengan keuntungan yang didapatkan dari pendapatan listrik setiap tahunnya yang dianggap sebagai arus kas dalam setahun. Karena kebutuhan listrik yang harus dipenuhi oleh *Power Source* adalah sebesar 2348Wh atau 2,348 kwh setiap harinya, dan dalam setahun (365 hari) penghematan listrik yang dihasilkan panel surya dapat dihitung menggunakan rumus :

2348 x 365 = 857.020 Wh = 857,02 KWh

Dari perhitungan tersebut didapatkan penghematan listrik dalam setahun menggunakan Panel Surya yang direncanakan adalah sebesar 857,02 KWh pertahun. Menurut Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik PLN Januari – Maret 2019 harga listrik per KWh nya adalah sebesar Rp. 1467,28. Dengan begitu pengehematan listrik yang telah dihitung dapat dikonversikan kedalam satuan Rupiah dengan perhitungan :

857,02 x Rp. 1467,28. = Rp. 1.257.489

Adapun rumus dari *payback period* berdasarkan modul materi mengenai

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

analisis keputusan investasi oleh Ervita safitri S.E., M.Si adalah :

$$Payback\ Period = \frac{Nilai\ Awal\ Investasi}{Arus\ Kas\ dalam\ Setahun}$$

Maka didapatkan *payback period* untuk investasi PLTS selama :

$$Payback\ Period = \frac{23.635.000}{1.257.489}$$

$$Payback\ Period = 18{,}79 \sim 19\ tahun$$

Maka dalam 19 tahun, investasi awal bisa dikembalikan melalui arus kas tahunan, dengan umur rencana PLTS selama 25 tahun.

Kesimpulan

1. Perencanaan Taman Energi Baru Terbarukan disesuaikan dengan luas lahan kosong yang ada dan konsep kampus sebagai bangunan akademis maka dari itu tema taman yang paling tepat untuk digunakan adalah gaya taman formal.
2. luas ruang terbuka hijau yang direncanakan adalah sebesar 3543.7 m^2 dengan luas yang diperuntukan membangun plaza energi seluas 180 m^2 dan menggunakan komponen eksisiting berupa *portacamp* sebagai alas berdirinya panel surya.
3. komponen yang diperlukan untuk pembuatan taman energi baru terbarukan adalah logo stt-pln berupa beton pracetak padat, *gathering point,* pembuatan jalan (*paving block*), kursi taman, lampu penerangan, pot tanaman, tempat sampah, tanaman pohon, tanaman penghias, *groundcover,* plts / panel surya, baterai, inverter.
4. Besar Rencana Anggaran Biaya untuk pembangunan Taman Energi Baru Terbarukan adalah sebesar Rp 68.792.000 rupiah dengan anggaran untuk membangun PLTS sebesar Rp 23.635.000, dan jika biaya pembuatan PLTS dianggap investasi maka *payback period* yang diperlukan adalah selama 19 tahun dengan umur rencana PLTS selama 25 Tahun.

Daftar Pustaka

Nugroho, "Perencanaan Ruang Terbuka Hijau (Rth) Di Kota Surakarta," Universitas Negeri Sebelas Maret, 2014.

Piezkaal, "Perencanaan ruang terbuka hijau di Kabupaten Klaten Perencanaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kabupaten Klaten," Universitas Negeri Sebelas Maret, 2015.

Nitdiawati, "Perencanaan Ruang Terbuka Hijau Di Jalan Bhayangkara Surakarta," Universitas Sebelas Maret, 2011.

P. I. G. Yunanto, "Perencanaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di jalan panglima sudirman kota Madiun," Universitas Sebelas Maret, 2012.

Sutrisna, Kadek Fendy. 21 Mei 2011. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Pada Website: https://indone5ia.wordpress.com/2011/05/21/prinsip-kerja-pembangkit-listrik-tenaga-angin-dan-perkembangannya-di-dunia/ diakses pada tanggal 06 November 2018.

Pandu, Theodorus. 28 April 2013. *Taman Kampus yang Indah.* Pada Website : http://theopandu.blogspot.com/2013/04/taman-kampus-yang-indah.html di akses pada tanggal 24 Oktober 2018.

Y. Karismawan, "Perencanaan ulang Taman Sekar Taji Jebres Surakarta," Universitas Negeri Sebelas Maret, 2012.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

OPTIMASI SISTEM CERDAS PADA PENGERING TANAMAN OBAT BERBASIS INTERNET OF THING DENGAN MEMANFAATKAN SUMBER ENERGI TERBARUKAN

Heriansyah[1], Swadexi Istiqphara[2], Nur Adliani[3]

[1,2]Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera Lampung, Indonesia
[2]Program Studi Farmasi, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia
[1]heri@itera.ac.id
[1]swadexi.istiqphara@el.itera.ac.id
[3]nur.adliani@fa.itera.ac.id

Intisari - **Penelitian ini membahas tentang optimasi sistem cerdas yang akan diterapkan pada sistem pengering tanaman obat berbasis *internet of thing* dan memanfaatkan sumber energi terbarukan. Pemilihan metode sistem kendali menjadi sangat penting karena sumber daya yang akan digunakan pada sistem pengering ini adalah energi terbarukan yang memiliki batasan waktu. Pada sistem pengering ini juga digunakan *Internet of thing* untuk memantau dan mengatur suhu ruangan kabinet. Untuk mendapatkan performa sistem yang optimal, maka diusulkan metode Smart Fuzzy sebagai sistem kendali cerdas untuk mengendalikan suhu ruangan kabinet agar mencapai target yang diinginkan pengguna. Pengujian metode sistem kendali dilakukan dengan menggunakan simulasi pada perangkat lunak komputer. Metode Smart Fuzzy yang diusulkan akan dibandingkan dengan metode PID untuk membuktikan efektifitas dari metode yang diusulkan. Metode Smart Fuzzy merupakan metode kendali yang menggunakan logika Fuzzy untuk mengambil keputusan besar kecilnya sinyal masukan sebuah sistem. Metode ini menggunakan basis aturan yang diperoleh dari pengetahuan manusia. Hasil simulasi komputer yang diperoleh menunjukan metode Smart Fuzzy memiliki performa lebih baik dibandingkan metode PID. Hal ini terlihat dari osilasi pada luaran dengan menggunakan metode Smart Fuzzy lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan metode PID**.
Kata kunci: Smart Fuzzy, basis aturan, logika, tanaman obat, temperatur ruang

Abstract - **This research discusses the optimization of an intelligent system that will be applied to the drying system of medicinal plants based on the internet of things and utilizing renewable energy sources. The control system method is becoming very important, given that the resources to be used in this drying system are renewable energy with a time limit. This drying system also uses the Internet of things to monitor and regulate the temperature of the cabinet room. In order to achieve optimal system performance, an intelligent control system method is proposed to control the temperature of the cabinet room in order to achieve the desired target of the user by using the Smart Fuzzy method. The control system method will be tested on a computer using software simulations. The proposed Smart Fuzzy method will be compared with the PID method to demonstrate the effectiveness of the proposed method. Smart Fuzzy is a control method that uses Fuzzy logic to make decisions about the size of the input signal system. This method uses a rule-based approach derived from human knowledge. The results obtained from the software simulation show that the Smart Fuzzy method has better performance than the PID method. From the output oscillation, it can be seen that using the Smart Fuzzy method is smaller than using the PID method.**
Keywords: Smart Fuzzy, rule base, logic, medicinal plants, room temperature

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

I. PENDAHULUAN

Kesadaran masyarakat akan pentingnya obat herbal saat ini semakin meningkat sehingga menjadi gaya hidup yang sangat diminati. Gaya hidup ini membawa masyarakat kembali memanfaatkan bahan alam, termasuk pengobatan dengan tanaman berkhasiat obat [1]. Kesadaran ini dipicu oleh pemahaman masyarakat tentang efek samping positif yang diberikan oleh obat herbal dibandingkan dengan obat modern yang memiliki banyak efek samping negatif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kurang lebih 50% penduduk Indonesia mengkonsumsi jamu sebagai alternatif obat modern maupun suplemen dalam menjaga kesehatan tubuh. Dari hasil tersebut, 55,3% penduduk indonesia mengkonsumsi jamu dalam bentuk cairan dan sisanya mengkonsumsi jamu dalam bentuk serbuk [2]. Peningkatan jumlah penduduk yang sadar akan pentingnya obat herbal telah mendukung pertumbuhan industri obat herbal dalam meningkatkan kualitas obat yang mereka hasilkan.

Teknik penanganan pascapanen yang kurang tepat menimbulkan permasalahan dalam menghasilkan simplisia yang berkualitas. Teknik penangan pascapanen sendiri terdiri dari proses sortasi, pencucian, penirisan, perajangan, pengeringan, dan pengolahan menjadi berbagai macam produk farmasi yang sesuai dengan standar Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM). Salah satu teknik pasca panen yang sangat penting dalam menghasilkan simplisia yang baik adalah teknik pengeringan.

Sistem pengeringan alami yang ada saat ini membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mengurangi kadar air dalam tanaman obat karena hanya mengandalkan sinar matahari langsung dalam proses pengeringan. Pergantian siang dan malam serta cuaca yang berubah-ubah sepanjang tahun menjadi kendala dalam sistem pengeringan tradisional. Pada musim hujan, kadar air yang ada di dalam tanaman obat dapat meningkat sehingga tanaman tersebut berpotensi menjadi media tumbuh jamur, di samping itu proses pengeringan yang dilakukan di ruang terbuka di mana tanaman obat terpapar sinar matahari langsung dapat menyebabkan tanaman obat tersebut terlalu kering sehingga menghasilkan produk berkualitas rendah.

Pada penelitian sebelumnya, kami telah merancang sistem pengering tanaman obat berbasis mikrokontroler dengan menggunakan metode kontrol PID dalam mengatur suhu ruangan yang diinginkan [3]. Berdasarkan hasil uji yang dilakukan, suhu ruangan yang dihasilkan belum optimal sehingga penggunaan daya cadangan yang dihasilkan oleh solar panel menjadi lebih boros. Penggunaan solar panel dimaksudkan untuk mengaktifkan elemen pemanas atau *exhaust fan* yang sudah kita pasang pada alat pengering. Jika suhu yang dihasilkan oleh alat pengering lebih kecil dari ambang batas yang telah ditetapkan, maka solar panel berfungsi untuk mengaktifkan elemen pemanas sedangkan *exhaust fan* diaktifkan ketika suhu lebih besar dari nilai ambang batas.

Kurang optimalnya pengendalian suhu ruangan kabinet mendorong kami untuk mencari metode kontrol lain yang lebih optimal dengan memanfaatkan simulasi komputer. Dengan simulasi tersebut kita dapat melakukan simulasi terkait metode kontrol lain yang lebih optimal dalam mengendalikan suhu di dalam ruang kabinet.

Metode kontrol yang akan disimulasikan dalam penelitian ini adalah metode Smart Fuzzy. Hasil simulasi ini selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan metode kontrol PID. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat disimpulkan jenis metode kontrol apa yang lebih cocok untuk diterapkan pada alat pengering tanaman obat yang telah dirancang sebelumnya.

II. PENELITIAN TERKAIT

Penelitian terkait sistem kendali suhu ruang sudah banyak dilakukan sebelumnya. Penulis [4] membahas tentang perancangan dan simulasi sistem kendali temperatur ruang otomatis pada menggunakan mikrokontroler untuk mengendalikan suhu ruang dengan menyalakan pemanas atau *fan* untuk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mendinginkan. Selanjutnya penelitian [5] juga membahas terkait pengendalian suhu ruang dengan menggunakan metode PID *disturbance observer*. Pada metode ini *disturbance observer* digunakan untuk mengestimasi gangguan suhu dari luar yang mempengaruhi suhu ruang tersebut. Pengujian dilakukan dengan membandingkan metode PID dan metode PID-DOB. Hasil yang diperoleh menunjukan metode PID-DOB memberikan hasil yang lebih baik dalam mengendalikan suhu ruang meskipun terdapat gangguan dari suhu luar ruangan. Penulis [6] melakukan penelitian untuk menjaga suhu dan kelembaban ruang *server* dengan menggunakan metode Fuzzy Logic berbasis mikrokontroler. Hasil yang diperoleh metode Fuzzy Logic mampu mengendalikan suhu ruang *server* dengan baik. Fuzzy Logic juga diterapakan pada pengendalian suhu ruang [7]. Metode Fuzzy Logic ini dibandingkan dengan menggunakan PID dan hasil yang diperoleh menunjukan metode Fuzzy Logic lebih baik daripada PID. Beberapa penelitian juga menunjukan metode Fuzzy Logic efektif mengendalikan suhu, termasuk pada suhu reaktor [8]. Metode Fuzzy juga banyak digunakan untuk proses pengendalian suhu, termasuk pada pemanas air [9]. Metode Fuzzy selain digunakan sebagai pengendali utama, dapat juga digunakan untuk meningkatkan performa kendali PID yang dikombinasikan dengan Genetic Algorithm untuk mengendalikan temperatur pada *stired tank* seperti yang dilakukan pada [10].

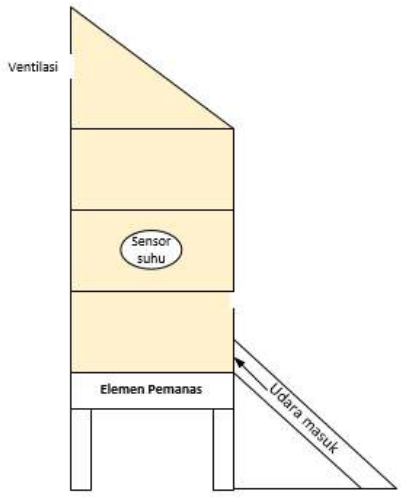
III. MODEL MATEMATIKA

Pada penelitian sebelumnya telah dirancang sistem kabinet pengering yang terdiri dari pengumpul panas dan pembuang panas. Adapun pengumpul panas diperoleh dari elemen pemanas dan matahari. Kabinet pengering ini berukuran lebar 50 cm, panjang 60 cm dan tinggi keseluruhan 120cm seperti yang ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Kabinet pengering dan solar panel

Elemen pemanas terletak dibagian bawah dan sensor suhu berada pada rak bagian tengah. Sistem ini memiliki 3 rak dengan tinggi masing-masing 20 cm. Pada bagian bawah pengumpul panas, terdapat ventilasi yang berfungsi sebagai tempat masuk udara dari bawah. Kontroler dan komponen lainnya tepat berada dibagian bawah kabinet.



Gambar 2. Desain kabinet pengering

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan untuk memodelkan sistem ke persamaan matematika agar dapat digunakan sebagai plant pada perancangan sistem kendali di simulasi komputer. Adapun pemodelan matematika dari sistem yang digambarkan pada gambar 2 adalah seperti yang dinyatakan pada persamaan berikut:

$$Q_{gain} = m_{pemanas}\, C_{udara}(T_{pemanas}\text{-}T_{cab}) \quad (1)$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

kecepatan transfer energi panas dari elemen pemanas dinyatakan dengan

$$d\frac{Q_{\text{gain}}}{\text{dt}} = \text{d}\frac{m_{\text{pemanas}}}{\text{dt}} C_{\text{udara}}(T_{\text{pemanas}}\text{-T}_{\text{cab}}) \quad (2)$$

sedangkan untuk energi panas yang terbuang akibat keluar melalui ventilasi dinyatakan dengan

$$Q_{\text{hilang}} = \frac{\text{kA}(T_{\text{ruang}}\text{-T}_{\text{luar}})}{D} t \quad (3)$$

kecepatan transfer energi panas yang hilang terbuang dinyatakan dengan

$$d\frac{Q_{\text{hilang}}}{\text{dt}} = \text{kA}\frac{(T_{\text{ruang}}\text{-T}_{\text{luar}})}{D} \quad (4)$$

dari persamaan 1-4 maka persamaan perubahan suhu ruang kabinet dinyatakan dengan

$$d\frac{T_{\text{ruang}}}{\text{dt}} = \frac{1}{m_{\text{ruang}} c_{\text{udara}}}(d\frac{Q_{\text{gain}}}{\text{dt}} \text{-d}\frac{Q_{\text{hilang}}}{\text{dt}}) \quad (5)$$

di mana:
Q = energi yang berpindah (joule)
A = luas ruangan bagian dalam (meter)
k = konduktivitas termal (joule/meter·jam·derajat)
m = massa udara (kg)
T = suhu (derajat)
C = Kapasitas Panas (joule/kilogram derajat)

Metode sistem kendali yang diusulkan pada penelitian ini adalah metode kendali Smart Fuzzy, metode Smart Fuzzy menggunakan pengetahuan ahli (*knowledge expert*) sebagai basis aturan. Sehingga metode fuzzy dapat bekerja untuk mengendalikan sistem secara otomatis seperti cara manusia berpikir.

Metode kendali Smart Fuzzy menggunakan kendali Proporsional dan Derivative untuk mengolah sinyal error antara target dengan suhu aktual yang didefinisikan sebagai berikut:

$e = sp\text{-}av$

di mana:
sp = setpoint atau target
av = aktual value
untuk formulasi PID yang akan digunakan adalah

$$PID = K_p e + K_d \frac{de}{dt} + K_i \int e \quad dt \quad (6)$$

dimana:
Kp : Kontroler *proportional*
Kd : Kontroler *integral*
Ki : Kontroler *derivative*

Kemudian sinyal proporsional error dan delta error akan di Fuzzifikasi yaitu merubah sinyal error dan sinyal delta error menjadi keanggotaan fuzzy input, keanggotaan fuzzy dari error dan delta error kemudian diolah oleh inferensi fuzzy, inferensi Fuzzy merupakan proses pengambilan keputusan berdasarkan basis aturan (*rule base*) yang didefinisikan pada tabel 1.

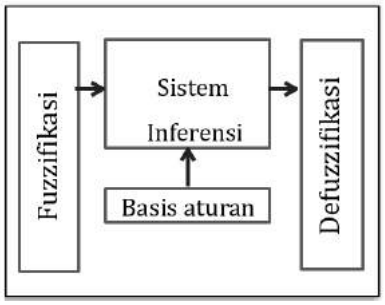
Tabel 1. Basis aturan pada Smart Fuzzy

e\de	**PB**	**PS**	**Z**	**NS**	**NB**
PB	NB	NB	NS	NS	Z
PS	NB	NS	NS	Z	PS
Z	NS	NS	Z	PS	PS
NS	NS	Z	PS	PS	PB
NB	Z	PS	PS	PB	PB

di mana:
PB : Positif *Big*
PS : Positif *Small*
Z : *Zero*
NS : Negatif *Small*
NB : Negatif *Big*

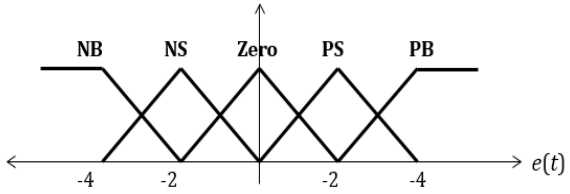
Proses pengambilan keputusan pada inferensi *rule* akan memberikan luaran berupa keanggotaan fuzzy output yang akan diumpankan ke bagian defuzzifikasi. Pada bagian defuzzifikasi, nilai-nilai keanggotaan Fuzzy Output sebagai hasil luaran inferensi *rule* akan diubah ke nilai sinyal kontrol yang akan diinputkan ke sistem tanaman obat. Adapun blok diagram dari proses Fuzzy dinyatakan pada blok diagram berikut ini:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

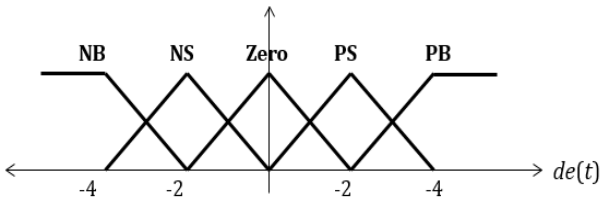


Gambar 3. Blok diagram sistem Fuzzy

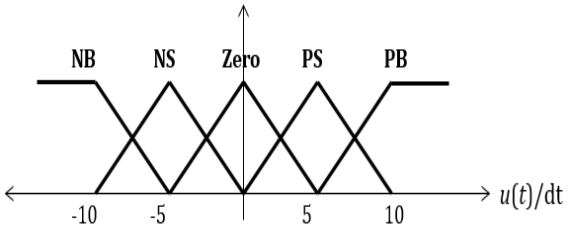
Adapun fungsi keanggotaan Fuzzy yang digunakan adalah segitiga seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 4. Fungsi keanggotaan Fuzzy Input Error



Gambar 5. Fungsi keanggotaan Fuzzy Input Delta Error

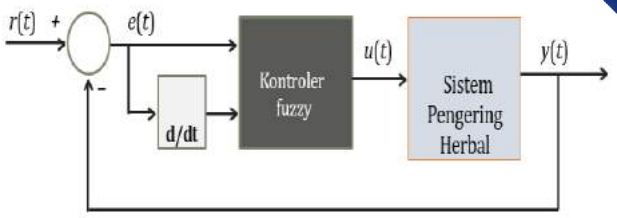


Gambar 6. Fungsi keanggotaan Fuzzy Output

Untuk proses Defuzifikasi, formula yang digunakan adalah formulasi *center of gravity* yang dinyatakan pada persamaan (7)

$$Q_{\text{hilang}} = \frac{\text{kA}(T_{\text{ruang}}\text{-}\text{T}_{\text{luar}})}{D} t \qquad (7)$$

Secara keseluruhan blok diagram sistem kendali temperatur ruang kabinet ini ditunjukkan oleh gambar 7.



Gambar 7. Blok Diagram sistem Kendali

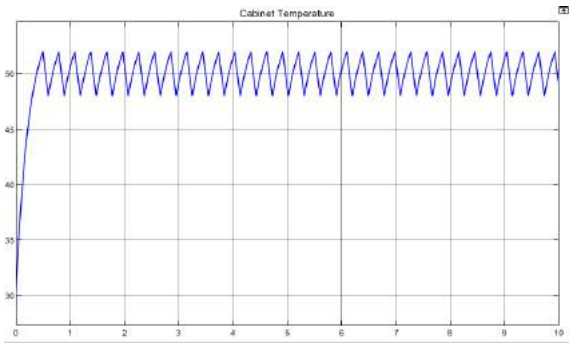
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk melihat efektifitas metode yang diusulkan, sistem kendali yang diusulkan diuji dengan menggunakan simulasi pada komputer. Hal ini bertujuan untuk memiimalisir kerusakan yang terjadi sebelum alat benar-benar diimplementasikan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan metode yang diusulkan dengan metode yang sudah pernah diuji pada penelitian sebelumnya yaitu dengan menggunakan kontroler PID. Adapun parameter yang digunakan pada sistem kendali adalah sebagai berikut :

Variabel	**Nilai**
Kp	1,2.5
Kd	2.5
Ki	1

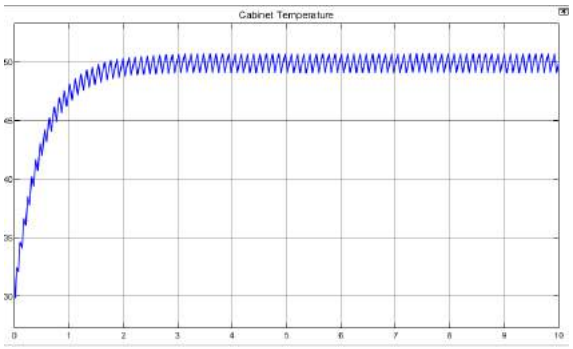
Pada pengujian dengan menggunakan metode kendali proporsional, dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh mengalami osilasi sebesar ±2°C. Hal ini menunjukan bahwa dengan metode ini, sistem pengering tanaman obat dapat mencapai suhu yang diinginkan namun tidak dapat menjaga suhu tetap pada nilai yang telah ditetapkan dengan osilasi kurang dari 1°C. Hal ini sangat penting mengingat suhu yang stabil pada ruang kabinet akan mempercepat pengeringan tanaman herbal sehingga dapat menghemat daya yang digunakan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



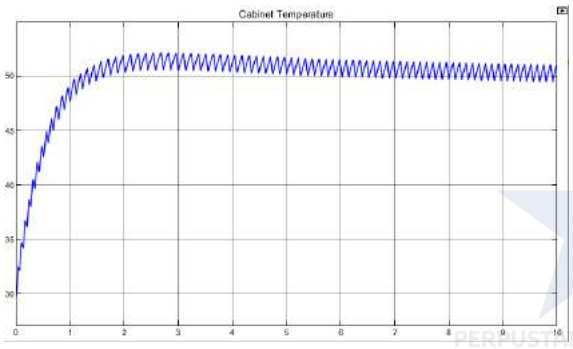
Gambar 8. Hasil simulasi dengan menggunakan metode kendali proporsional.

Sedangkan dengan menggunakan sistem kendali Proporsional Derivative (PD) terlihat osilasi yang terjadi pada sistem menjadi lebih kecil, namun sistem menjadi lebih lambat dalam mencapai target suhu yang telah ditetapkan sebelumnya. Untuk mencapai nilai yang telah ditetapkan, waktu yang dibutuhkan sekitar 2 menit.



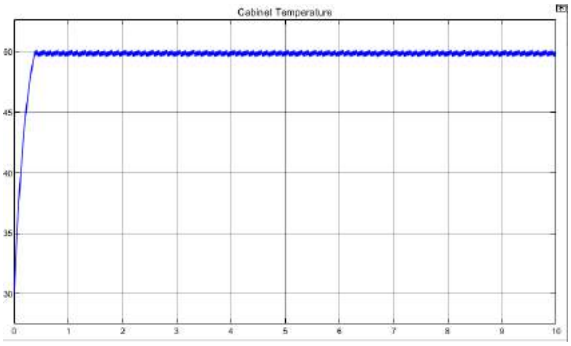
Gambar 9. Hasil simulasi dengan menggunakan metode kendali Proporsional Derivative (PD)

Pengujian metode selanjutnya adalah dengan menggunakan kontroler PID. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 10. Hasil pengujian menunjukan bahwa metode dengan penambahan integral pada sistem mengakibatkan respon sistem menjadi berlebih (overshoot) hingga mencapai 53°C.



Gambar 10. Hasil simulasi dengan menggunakan metode kendali proporsional Integral derivative (PID)

Adapun hasil simulasi dengan menggunakan metode Smart Fuzzy dapat dilihat pada gambar 11. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa perubahan suhu dari 30°C hingga mencapai target suhu sebesar 50°C hanya membutuhkan waktu 0.5 menit.



Gambar 11. Hasil pengujian dengan metode Smart Fuzzy

Selain itu, dengan menggunakan metode Smart Fuzzy, suhu yang dikendalikan oleh sistem tidak mengalami *overshoot* dari target yang diinginkan oleh pengguna. Dari gambar tersebut kita dapat melihat bahwa metode ini mampu menahan suhu tetap terjaga pada suhu target yang telah ditentukan sebelumnya dan hanya mengalami osilasi minor sekitar ± 0.2°C.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, metode Smart Fuzzy menghasilkan performa yang lebih baik dibanding metode konvensional PID dalam mengendalikan suhu ruangan di dalam ruang kabinet pengering. Hal tersebut ditunjukkan dengan keberhasilan metode Smart Fuzzy dalam mencapai nilai suhu yang telah ditentukan sebelumnya dan mampu mempertahankan nilai tersebut. Dalam hal ini suhu yang ditargetkan adalah 50°C. Dengan metode Smart Fuzzy, suhu dapat bertahan tetap

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

di 50°C dengan osilasi maksimal ± 0.2°C sedangkan dengan menggunakan metode PID konvensional, osilasi yang dihasilkan mencapai ± 4°C. Dari hasil ini dapat disimpulkan metode Smart Fuzzy merupakan metode yang tepat untuk digunakan pada alat pengering tanaman obat yang sudah kami rancang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Institut Teknologi Sumatera, yang telah memberikan pendanaan untuk penelitian ini melalui skema penelitian Hibah Mandiri.

REFERENSI

[1] H. M. H Wijayakusuma, "Ramuan Lengkap Herbal Sembuhkan Penyakit", Pustaka Bunda. 2008.

[2] A. Andriati and R. M. T. Wahjudi, "Tingkat penerimaan penggunaan jamu sebagai alternatif penggunaan obat modern pada masyarakat ekonomi rendah-menengah dan atas," Masyarakat, Kebudayaan dan Politik, vol. 29, no. 3, p. 133, Sep. 2016.

[3] H. Heriansyah, S. Istiqphara, and N. Adliani, "DESIGN OF TEMPERATURE CONTROL FOR HERBAL DRYER BASED ON PID CONTROLLER BY UTILIZING RENEWABLE ENERGY SOURCES," Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering), vol. 6, no. 2, pp. 97–101, Oct. 2019.

[4] A. M. Zungeru, M. Mangwala, J. Chuma, B. Gaebolae, and B. Basutli, "Design and simulation of an automatic room heater control system," Heliyon, vol. 4, no. 6, p. e00655, Jun. 2018.

[5] Y. A. K. Utama and Y. Hari, "Design of PID Disturbance Observer for Temperature Control on Room Heating System," Proceeding of the Electrical Engineering Computer Science and Informatics, vol. 4, no. 1, Oct. 2017.

[6] F. H. Purwanto, E. Utami, and E. Pramono, "Design of server room temperature and humidity control system using fuzzy logic based on microcontroller," 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), Mar. 2018.

[7] D. Guanzhou, S. Yue, Q. Jia, M. Xiaoming, and S. Xiaowei, "Research on temperature control system of air conditioning room based on fuzzy control," 2017 3rd IEEE International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE), Aug. 2017.

[8] L. Ai and H. Pan, "The reactor temperature control based on self-optimizing and self-adjustment fuzzy algorithm," 2011 Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), Jul. 2011.

[9] L. Wang, H. Zang, and Y. Ning, "The gas water heater control system design based on fuzzy control," 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering, Apr. 2011.

[10] N. I. Septiani, I. Bayusari, Caroline, T. Haiyunnisa, and B. Y. Suprapto, "Optimization of PID control parameters with genetic algorithm plus fuzzy logic in stirred tank heater temperature control process," 2017 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS), Aug. 2017.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Optimasi Sistem Turbin Angin Menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Husein Mubarok[1], Bibie Albar Whiancaka[2]

[1,2]Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
[1]mubarok.husein@uii.ac.id, [2]13524110@students.uii.ac.id

Abstrak

Permasalahan tentang krisis energi listrik, merupakan hal yang patut dikaji dalam beberapa dekade ini. Di mana mayoritas sumber energi listrik masih menggunakan bahan bakar fosil yang mulai habis dan tidak ramah lingkungan. Untuk itu, diperlukannya aksi serta perubahan untuk mulai beralih pada sumber energi alternatif yang berasal dari alam. Permasalahan terkait energi baru terbarukan sudah tak asing lagi dan telah dikembangkan, antara lain dengan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) yaitu merupakan pembangkit gabungan antara beberapa jenis pembangkit. Pada penelitian ini dibahas optimasi sistem turbin angin yang disimulasikan secara matematis dan menerapkan penggunaan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan optimasi tersebut menghasilkan daya keluaran yang lebih optimal dan efisisen, serta respon yang baik terhadap perubahan kecepatan angin.

Kata kunci: optimasi, energi terbarukan, turbin angin, MPPT, PSO

Abstract

The electric power shortage problem has been studied in the past decades. The majority of electric energy resources are still heavily relied on unrenewable and not eco-friendly fossil based fuels. Therefore, we need to start doing action for shifting to alternatives energy resources which is renewable and originated from nature. The problems regarding to new and renewable energy have been addressed, including Hybrid Power Plants which combine several types of power plants. In this research, we discussed an optimization of wind turbine systems which is simulated mathematically, and applied the *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) using *Particle Swarm Optimization* (PSO) algorithm. The research shows that such optimization generates more optimum and efficient output power, and satisfactory response to the change of wind velocity.

Keywords: optimization, renewable energy, wind turbine, MPPT, PSO

1. Pendahuluan

Sebagai negara berkembang, Indonesia mempunyai kebutuhan energi listrik yang terus meningkat setiap tahunnya. Perkembangan pesat pada seluruh sektor dalam rangka

Received: 1 Maret 2020 Revised: 27 Maret 2020 Accepted: 1 April 2020

mendukung kehidupan yang lebih modern memerlukan sumber daya energi yang memadai, terutama energi primer yaitu energi listrik. Sehingga perlu adanya energi terbarukan untuk mengatasi lonjakan kebutuhan energi listrik tersebut. Hal ini sesuai dengan kebijakan untuk memanfaatkan sumber energi nasional untuk memprioritaskan peningkatan dan optimasi pencapaian energi terbarukan tahun 2025 sejumlah 5% [1], Sumber energi terbarukan dapat menjadi langkah alternatif sebagai sumber pembangkit energi listrik yang tetap tertuju pada aspek teknis, keselamatan lingkungan dan ekonomi di Indonesia.

Salah satu faktor penghambat pada sistem turbin angin adalah pada ranah rancangan sistem pembangkit yang kurang responsif ketika kecepatan angin yang berubah-ubah [2]-[7]. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, untuk mengoptimalkan daya keluaran sistem turbin angin, perlu dilengkapi dengan MPPT serta terdapat berbagai macam metode. Dan penggunaan metode PSO mampu memberikan respon yang baik untuk sistem turbin angin dengan kecepatan angin yang berubah-ubah, dibanding metode optimasi lainnya yang membutuhkan peralatan pengukuran serta input parameter data yang kompleks atau hasil respon sistem yang kurang baik. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh desain sistem turbin angin yang dilengkapi MPPT dengan metode PSO sehingga mampu beradaptasi dengan kecepatan angin yang berubah-ubah. Tujuan selanjutnya adalah untuk mengetahui seberapa besar peningkatan efisiensi sistem turbin angin serta kinerja turbin angin pada saat kecepatan angin yang berubah-ubah.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak. Energi angin dikonversikan ke dalam bentuk energi lain seperti energi mekanik atau energi listrik. Proses konversi energi angin dapat dilakukan dengan menggunakan kincir atau disebut dengan turbin angin. Daya yang dihasilkan oleh energi angin berbanding lurus dengan kecepatan angin dan kerapatan udara sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1) [8][9].

$$P_m = \frac{1}{2}\rho\pi R^2 V^3 C_p(\lambda.\beta) \quad (1)$$

Dengan nilai :

P_m = energi angin
ρ = kerapatan udara (kg/m^3)
R = jari-jari (m)
V = kecepatan angin (m/s)
C_p = koefisien performa turbin
λ = *tip speed ratio*
β = *blade pitch*

2.2. Turbin Angin

Turbin angin berfungsi untuk mengkonversikan energi angin menjadi energi mekanik sesuai persamaan (1). Koefisien performa turbin angin (C_p) mereprensentasikan efisiensi ekstraksi daya pada turbin angin. C_p merupakan fungsi non linier dari *tip speed ratio* (λ) dan *blade pith angle* (β). Secara teoritis C_p memiliki nilai maksimum 0,59 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, akan tetapi dalam praktiknya nilai C_p berkisar pada nilai 0,4 sampai dengan 0,45 [9]-[10].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

TSR *(Tip Speed Ratio)* atau λ merupakan variabel yang merepresentasikan perbandingan antara kecepatan linier ujung *blade* terhadap kecepatan putar dari turbin angin, berikut seperti ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$\lambda = \omega_m R / V_w \quad (2)$$

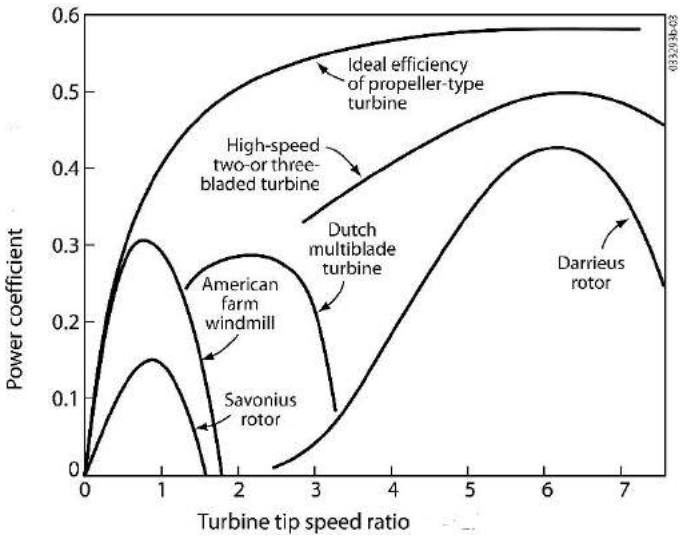
Dengan nilai:

λ = kecepatan putar (*tip speed ratio*)

ω_m = kecepatan anguler

R = radius turbin (m)

V_m = kecepatan angin (m/s)



Gambar 1. Besar nilai TSR *(Tip Speed Ratio)* pada berbagai turbin angin

2.3. *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG)

Pada PMSG medan magnet yang diberikan tidak melalui elektromangetik melainkan melalui magnet permanen. Dalam hal ini fluks medan tetap konstan dan suplai untuk mengeksitasi kumparan medan tidak diperlukan begitu pula dengan keberadaan slip ring. Penggunaan PMSG dalam sistem mesin listrik memiliki beberapa keuntungan antara lain sebagai berikut [11] :

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

1. Torsi dan daya keluaran yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan eksitasi elektromagnetik
2. Respon dinamis yang lebih baik dibanding dengan menggunakan eksitasi elektromagnatik, dikarenakan rapat fluks pada *air gap* lebih tinggi
3. Rugi-rugi tembaga yang lebih kecil
4. *Accoustic noise* kecil.
5. Tidak ada energi listrik yang diserap oleh sistem eksitasi medan, dengan demikian tidak akan ada rugi-rugi eksitasi sehingga efisiensi akan meningkat

2.4. Penyearah

Penyearah atau *rectifier* berfungsi untuk mengubah listrik AC menjadi listrik DC. Hal ini sangat diperlukan dalam sistem turbin angin mengingat frekuensi listrik AC keluaran dari sistem sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin. Semakin besar kecepatan angin maka frekuensi keluaran juga semakin besar. Oleh karena itu penyearah digunakan untuk mengubah listrik AC ke DC yang kemudian disalurkan ke beban atau diubah kembali menjadi listrik AC. Listrik DC yang diubah kembali ke AC dapat diatur nilai frekuensinya sesuai dengan kebutuhan dengan bantuan inverter [12]. Listrik AC keluaran PMSG akan disearahkan oleh penyerah dioda gelombang penuh tiga fase menggunakan sistem jembatan dengan enam buah diode. Tegangan rata-rata/DC keluaran penyearah tiga fase (V_0) yang mana berbanding lurus dengan tegangan AC maksimum (Vm) ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$V_0 = 1/\frac{\pi}{3} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} V_m \sin(\omega t) \mathrm{d}(\omega t) = \frac{3V_m}{\pi} = 0{,}9555\, V_m \quad (3)$$

2.5. *Boost Converter*

DC Chopper tipe *boost* dapat mengubah suatu nilai tegangan DC tertentu menjadi tegangan DC yang lebih tinggi [13]-[14]. Rangkaian DC *Chopper* tipe *boost* menggunakan MOSFET sebagai *switch*-nya. Ketika MOSFET *on* dan dioda *off* maka arus mengalir menuju induktor dan terjadi proses pengisian arus pada induktor. Selanjutnya saat MOSFET *off* dan dioda *on* arus yang berada pada induktor akan dikeluarkan. Sehingga nilai arus antara sumber dan induktor merupakan penjumlahan antara arus pada sumber dan induktor. Pada saat yang bersamaan terjadi pula proses pengisian tegangan pada kapasitor sehingga *ripple* akan berkurang.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1-D} \quad (4)$$

2.6. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)

MPPT merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran suatu sistem. Pada sistem turbin angin *variable speed*, turbin angin dimungkinkan untuk beroperasi pada kecepatan yang optimal sebagai fungsi kecepatan angin. Kecepatan putar turbin dapat dikendalikan dengan konverter *power electronic* untuk mendapatkan daya maksimum yang dimungkinkan. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan algortima MPPT sehingga daya keluaran dari turbin angin dapat optimal. Terdapat metode MPPT yang dapat digunakan dalam rangka mencapai efisiensi setinggi mungkin sesuai dengan kecepatan angin [15].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2.7. *Particle Swarm Optimization (PSO)*

Algoritma PSO pertama kali diperkenalkan pada tahun 1995 oleh Dr. Eberhart dan rekannya Dr. Kennedy. PSO didasarkan pada bentuk imitasi proses populasi hewan yang mencari sumber makanan seperti pada populasi ikan dan burung. Teknik optimasi ini adalah sebuah komputasi evolusioner yaitu pemecahan algoritmanya diawali pada sebuah populasi yang random atau disebut partikel.

Secara umum teknik optimasi yang berbasis pada populasi untuk mencari sebuah titik optimal atau solusi adalah menggunakan populasi dari partikelnya sendiri. Pencarian solusi yang optimal pada PSO mencakup ruang solusi yang berisi variabel-variabel optimasi yang disebut nilai obyektif atau nilai *fitness.* Nilai *fitness* ini adalah sebuah fungsi objektif masalah optimasi, dapat dianalogikan pada populasi burung sebagai kumpulan partikel yang mencari makanan. Dan fungsi tersebut adalah kualitas serta kuantitas makanan pada setiap tempat yang mereka cari. Sehingga kumpulan burung ini akan mencari tempat makanan dengan kuantitas paling banyak dan kualitas paling baik.

Selanjutnya partikel-partikel tersebut mempertahankan posisinya, nilai *fitness* yang terevaluasi, serta kecepatannya. Setiap partikel tersebut memiliki ingatan untuk menyimpan ke dalam memori, dengan kata lain menunjukkan nilai *fitness* terbaik (P_{best}). Nilai *fitness* paling baik pada *swarm* atau kumpulan partikel ini disebut posisi global terbaik (G_{best}) [16]. Pada Persamaan (5), (6), (7), dan (8) ditunjukkan bentuk dari perubahan yang telah disesuaikan dengan permasahan optimasi seperti di bawah :

$$\left|\frac{{p_i}^k - {p_i}^{k-1}}{{p_i}^k}\right| > \Delta P \tag{5}$$

$$|\mathrm{Max}(\Phi)| < \Delta\Phi_{\max} \tag{6}$$

$$\Phi_{\mathrm{i}}^{\mathrm{k+1}} = W\,\Phi_i^k + c_1 r_1\{d_{Pbest}^k - d_i^k\} + c_2 r_2\{d_{Gbest}^k - d_i^k\} \tag{7}$$

$$d_i^{k+1} = d_i^k + \Phi_i^{k+1} \tag{8}$$

Di mana nilai:

${p_i}^k$ = daya sesudah (watt)
${p_i}^{k-1}$ = daya sebelum (watt)
Φ_i^k = kecepatan saat ini
${\Phi_i}^{k+1}$ = kecepatan termodifikasi
W = faktor momentum
d_{Pbest}^k = *personal best duty cycle*
d_{Gbest}^k = *global best duty cycle*
d_i^k = *duty cycle* saat ini
d_i^{k+1} = *duty cycle* yang telah dimodifikasi
$c_1 c_2$ = konstanta akselerasi
$r_1 r_2$ = nilai *random* antara 0 dan 1

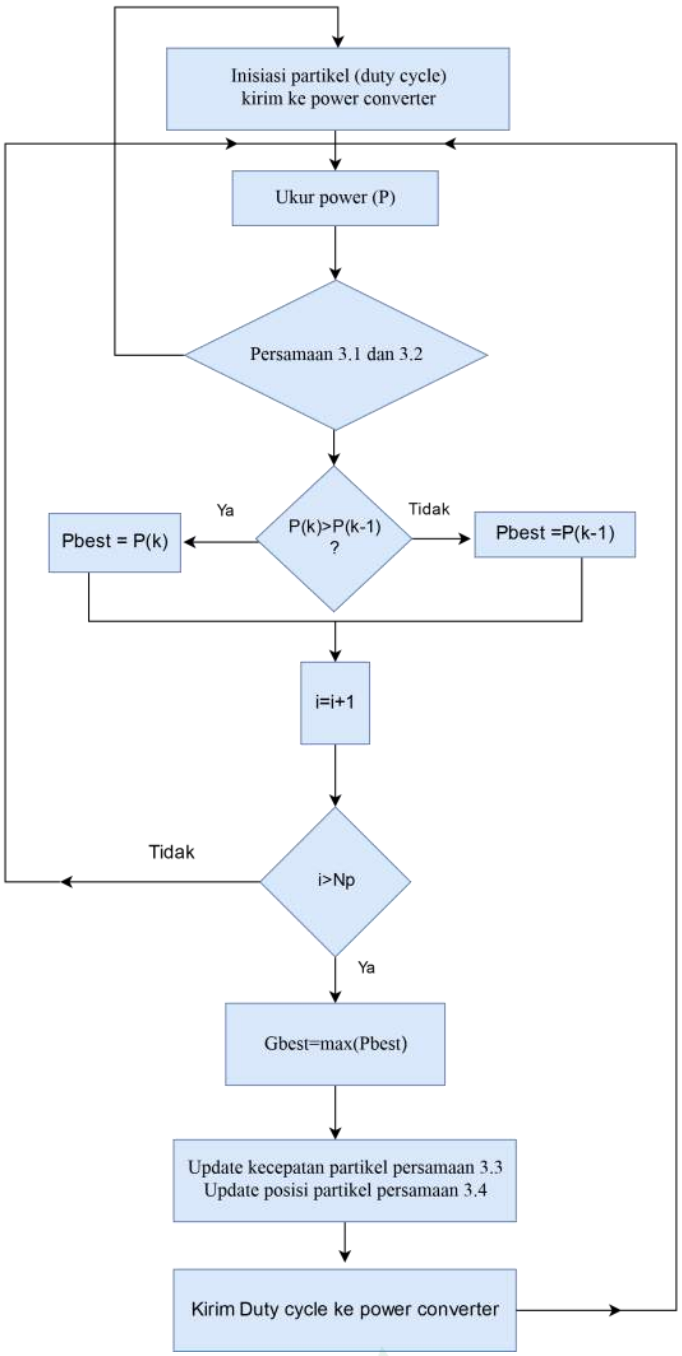
3. Metode Penelitian

Sesuai dengan skema *flowchart* pada Gambar 2, penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data karakteristik turbin angin. Data tersebut selanjutnya menjadi dasar perancangan MPPT dengan algoritma PSO dengan tujuan untuk mendapatkan daya keluaran sistem yang optimal [17]-[18].

Hasil rancangan dianalisis untuk mendapatkan efisiensi dan kinerja sistem turbin angin pada kecepatan angin yang berubah-ubah. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa prosedur mulai dari analisis data turbin angin, karakteristik turbin angin,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

kemudian dilanjutkan dengan pemodelan sistem turbin angin sesuai dengan data karakteristik. Selanjutnya dilakukan pengimplementasian algoritma PSO pada MPPT untuk mendapatkan daya keluaran yang optimal pada kecepatan yang berubah-ubah. Pada tahap akhir dilakukan analisis terhadap daya keluaran turbin angin sehingga efisiensi sistem turbin angin yang dilengkapi dengan algoritma PSO pada MPPT dapat diketahui.



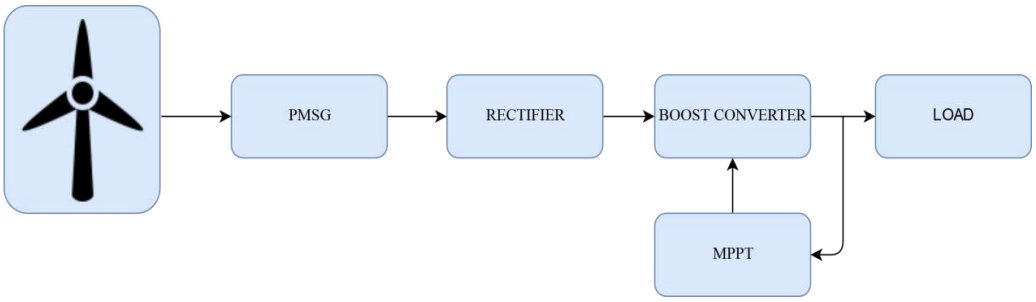
Gambar 2. *Flowchart* algoritma PSO

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4. Hasil dan Analisis

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, dapat dibuat sebuah model sistem turbin angin yang mencerminkan karakteristik dan kinerja dari turbin angin 1 kW di PLTH seperti ditunjukkan Gamabr 3. Salah satu bagian utama PLTH adalah turbin angin, yang berfungsi mengkonversikan energi angin menjadi energi mekanis. Bagian kedua adalah PMSG yang berfungsi mengkonversikan energi mekanis menjadi energi listrik.

Bagian ketiga adalah penyarah yang berfungsi untuk menyearahkan listrik AC 3 fasa keluaran PMSG menjadi listrik DC. Daya keluaran dari sistem turbin angin dimaksimalkan oleh *boost converter* dan MPPT .



Gambar 3. Diagram blok sistem turbin angin

Untuk mendapatkan daya keluaran maksimal dari sistem turbin angin, digunakan MPPT dengan algoritma PSO. Tegangan dan arus keluaran menjadi masukan bagi algoritma PSO untuk mengevalusai *duty cyle* pada bagian kendali *boost converter*. Pada algoritma PSO digunakan *swarm* dari tiga partikel dengan nilai *duty cycle* mula-mula. Setelah nilai *duty cycle* dimasukkan pada *boost converter* maka akan didapatkan nilai daya keluaran. Masing-masing nilai *duty cycle* dari hasil perkalian tegangan dan arus keluaran *boost converter*, dianalisis untuk dilakukan penentuan nilai lokal maksimum untuk megevaluasi *duty cycle*. Nilai lokal maksimum dan global maksimum menentukan kecepatan partikel yang baru. Dengan demikian posisi partikel akan terus diperbaharui sehingga didapatkan daya keluaran yang paling optimal.

Untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai parameter yang sifatnya fluktuatif terhadap hasil optimasi, akan dilakukan analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas ditunjukkan pada Tabel 1. Parameter yang sifatnya tetap pada optimasi daya keluaran turbin angin adalah kapasitas daya turbin angin. Pengaruh perubahan parameter kecepatan turbin angin terhadap hasil optimasi diuji dengan memvariasikan kecepatan angin yaitu antara 4 m/s hingga 11 m/s dengan kapasitas turbin angin tetap yaitu 1000 W.

Kecepatan angin yang berubah-ubah terhadap waktu menyebabkan daya listrik yang dihasilkan sistem turbin angin juga mengalami perubahan, seperti ditunjukan pada Tabel 2. Hal ini dikarenakan daya mekanis turbin angin dipengaruhi oleh kecepatan angin sebagaimana dinyatakan dalam Persamaan (1). Dari persamaaan tersebut, jika kecepatan angin semakin besar maka daya mekanis turbin angin akan semakin besar pula. Dan semakin besar daya mekanis turbin angin akan berakibat semakin besarnya kecepatan putar rotor. Dikarenakan turbin angin terkopel dengan PMSG maka kecepatan putar rotor semakin besar akan berakibat pada semakin besarnya pula daya listrik keluaran turbin angin. Maka grafik yang menunjukkan hubungan antara kecepatan angin dengan daya keluaran sistem turbin angin memiliki tren grafik eksponensial positif. Pada Tabel 2

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

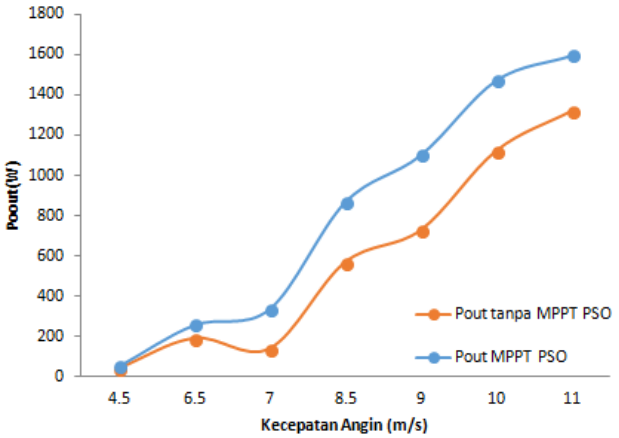
kecepatan angin yang disimulasikan hanya sampai dengan 11 m/s. Hal ini dikarenakan pada kondisi nyata kecepatan angin yang muncul hanya berkisar pada kecepatan 4-11 m/s. Jika kecepatan angin lebih dari 11 m/s tentu akan memberikan daya keluaran yang lebih besar.

Tabel 1. Uji sensitivitas Algoritma PSO

Kecepatan angin (m/s)	Daya output (W)	Daya input (W)	Efisiensi (%)
4,5	47,6	49,6	95,97
6,5	254	295	86,10
7	334,2	364	91,81
8,5	866	889	97,41
9	1100	1212	90,47
10	1472	1676	87,83
11	1596	1599	99,81
Rata-rata efisiensi			92,81

Tabel 2. Pengaruh kecepatan angin terhadap kecepatan rotor dan daya keluaran

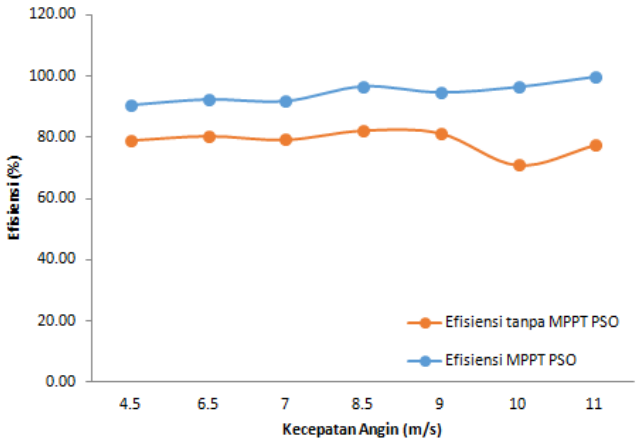
Kecepatan angin (m/s)	Kecepatan rotor (rpm)	P_{out} (W)
4	112,12	47,6
6,5	150,01	254
7	206,83	334,2
8	244,74	866
9	271,29	1100
10	324,38	1472
11	334,04	1596



Gambar 4. Grafik antara kecepatan angin dan besar daya keluaran

Sebagaimana telah diketahui sebelumnya bahwa kecepatan angin yang berubah-ubah akan menghasilkan daya listrik yang berbeda pula. Pada penelitian [9], dijelaskan bahwa ketika kecepatan angin berbeda-beda maka akan terdapat titik optimal yang berbeda pula. Di mana daya listrik keluaran sistem turbin angin berada pada titik maksimal.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 5. Grafik antara kecepatan angin dan besar efisiensi

Pada penelitian ini digunakan MPPT dengan mengaplikasikan algoritma PSO. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar sistem pada turbin angin selalu dapat menghasilkan daya keluaran yang maksimal. Dengan demikian efisiensi dari sistem turbin angin dapat meningkat, dan juga memiliki daya keluaran yang konstan. Hal ini terlihat jika dibandingkan dengan sistem turbin angin yang tidak menggunakan MPPT sebagaimana ditunjukan pada Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 4, dengan pengimplementasian MPPT dengan PSO dapat dihasilkan daya listrik yang lebih besar dibanding dengan daya listrik tanpa diimplementasikan MPPT dengan PSO. Pada nilai efisiensi yang ditunjukkan oleh Gambar 5, sistem turbin angin yang tidak menggunakan MPPT PSO memiliki nilai efisiensi yang bervariasi antara 71-83 %. Sedangkan turbin angin yang menggunakan MPPT dengan algoritma PSO memiliki efisiensi di atas 90% dan cenderung konstan.

5. Kesimpulan

Sistem turbin angin yang disimulasikan ulang dan dilengkapi dengan MPPT dengan menggunakan metode algoritma PSO mampu bekerja dan beradaptasi ketika kecepatan angin berubah-ubah. Saat kecepatan angin 4,5 m/s daya listrik keluaran yang dihasilkan sebesar 47,6 W, sedangkan saat kecepatan angin bernilai 11 m/s daya listrik keluaran yang dihasilkan sebesar 1596 W. Penggunaan MPPT dengan metode algoritma PSO pada sistem turbin angin menghasilkan daya listrik yang lebih besar dibanding tidak menggunakan MPPT dengan metode algoritma PSO. Hasil implementasi MPPT dengan algoritma PSO pada sistem turbin angin menunjukan kualitas yang baik. Terjadi peningkatan daya keluaran sebesar 27,73% saat kecepatan angin yang berubah-ubah. Nilai efisiensi meningkat 17% setelah melakukan optimasi menggunakan algoritma PSO pada MPPT sistem turbin angin.

Daftar Pustaka

[1] Kementerian ESDM, "Blueprint Pengelolaan Energi 2006 -2025," 2006.
[2] M. Hutapea, "Solusi Listrik Off Grid Berbasis Energi Terbarukan di Indonesia:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kerangka Regulasi dan Program," pp. 1–32, 2016.
[3] Dita Anggraini, "Analisis Potensi Angin Di Pantai Baru Pandansimo Kabupaten Bantul," September, 2016.
[4] A. N. dkk Hidayatullah, "Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker," *J. Electr. Electron. Control Automot. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 7–12, 2016.
[5] D. R. Mushthafa and V. Lystianingrum, "Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracker (MPPT) dengan Metode Gradient Approximation," vol. 1, pp. 1–6.
[6] M. Narayana, G. A. Putrus, M. Jovanovic, P. S. Leung, and S. McDonald, "Generic maximum power point tracking controller for small-scale wind turbines," *Renew. Energy*, vol. 44, pp. 72–79, 2012.
[7] S. Hadi *et al.*, "Model Distribusi Kecepatan Angin untuk Peramalan Gelombang dengan Menggunakan Metode Darbyshire dan Smb di Perairan Semarang," *Bul. Oseanografi Mar. April*, vol. 1, no. April, pp. 25–32, 2012.
[8] Y. Megantara, "Optimasi Manajemen Daya Pada Sistem Hibrida Antara Turbin Angin, Fotovoltaik, dan Fuel cell Pada Studi Kasus kwasan Watu Ulo.," 2015.
[9] K. D. Pribadi, "Optimasi Sistem Hybrid Pembangkit listrik Tenaga Angin Dan Pembangkit Listrik Tenaga Ombak," Universitas Gadjah Mada, 2017.
[10] "No Title." [Online]. Available: http://synergyfiles.com/2017/02/frequently-asked-questions-wind-turbine/. [Accessed: 01-Dec-2018].
[11] N. Madani, "Design of a Permanent Magnet Synchronous Generator for a Vertical Axis Wind Turbine Design of a Permanent Magnet Synchronous Generator for a Vertical Axis Wind Turbine," *Thesis, Royal Institute of Technolgy*, Sweden, pp. 5–46, 2011.
[12] E. Rogers, "Understanding Buck Power Stages in Switchmode Power Supplies," *Application Report*, March, p. 36, 1999.
[13] E. Rogers, "Understanding Buck-Boost Power Stages in Switch Mode Power Supplies," *Power*, vol. 18, November, pp. 1–32, 2002.
[14] K. Ishaque, Z. Salam, M. Amjad, and S. Mekhilef, "An improved particle swarm optimization (PSO)-based MPPT for PV with reduced steady-state oscillation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 8, pp. 3627–3638, 2012.
[15] Z. Chen, J. M. Guerrero, and F. Blaabjerg, "A review of the state of the art of power electronics for wind turbines," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 8, pp. 1859–1875, 2009.
[16] B. Santosa, "Tutorial Particle Swarm Optimization," pp. 1–15.
[17] Y. S. Kim, I. Y. Chung, and S. Il Moon, "Tuning of the PI controller parameters of a PMSG wind turbine to improve control performance under various wind speeds," *Energies*, vol. 8, no. 2, pp. 1406–1425, 2015.
[18] M. Otong and R. M. Bajuri, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter," *Setrum*, vol. 5, no. 2, 2016.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

OPTIMISASI ENERGI TERBARUKAN PADA MICRO GRID DI PULAU RAKIT INDRAMAYU MENGGUNAKAN HOMER

Rizaldi Lukman Imani[1)], Agus Siswanto[2)], Sugeng Suprijadi[3)]

[1] Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945, Cirebon
[1)]Email: rizaldimani25@gmail.com
[2]Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945, Cirebon
[2)]Email: asiswanto.untagcirebon@gmail.com
[3]Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945, Cirebon
[3)]Email : Sugengjadi55@gmail.com

Abstrak

Supplay energi listrik antar pulau belum tentu mampu dan stabil dari waktu ke waktu. Penggunaan energi rata-rata 4,80 kWh/m^2/hari energi surya dan energi angin 3-6 m/detik. Potensi Energi diwilayah Indonesia dinilai mampu untuk memasok energi listrik pada pulau terluar.Pulau Rakit merupakan pulau yang terdapat di utara Cirebon Jawa –Barat. Metode Penelitian dimulai dengan studi literatur, pengumpulan data beban, data potensi energi, simulasi dan analisis konfigurasi. Data beban penggunaan 11.25 kWh/d *(residential)*. Sumber daya rata – rata energi surya 5.13 kWh/m^2/day dan Energi Angin 3,88 kWh m^2/d. Sehingga dapat dikembangkan beberapa model konfigurasi pembangkit hibrid pada pulau ini. Untuk mengetahui konfigurasi yang baik, maka digunakan *software* HOMER sehingga didapat hasil Generator sebagai pembangkit utama dan Sel Surya serta turbin angin merupakan cadangan untuk menimilasir kerja generator diesel. Dengan total NPC (Net Present Cost) $31,145 cukup untuk penyediaan energi pada pulau tersebut.

Kata kunci : *photovoltaic,* Homer, Turbin angin, mikrogrid, NPC

Abstract

Supplay of electrical energy between islands is not necessarily able and stable from time to time. An average of 4,80 kWh/m^2/day for solar power and 3-6m/sec. Potential Energy in Indonesian territory is rated capable to supply electrical power for outer islands.Rakit island is an island which located in northside of Cirebon West Java. The research method begins with literature studies, load data collection, energy potential data, simulation and configuration analysis. An average load utilization 11.25 kWh/d (residential). Average Resource for solar power and wind powerare 5.13 kWh/m^2/day and 3,88 kWh m^2/d. So, it is capable to develop be some configuration model for hybrid generation for this island. For knowing a good configuration, So it used HOMER software and get the resultDiesel Generator as main generator, solar cell and wind turbin are backup for minimizing the work of diesel generation. With total NPC (Net Present Cost) total $31,145 actually enough for Energy supplay in that island.

Keywords : *photovoltaic, HOMER, Wind Turbine, mikrogrid, NPC*

PENDAHULUAN

Merujuk pada rasio elektrifikasi Indonesia yang pada tahun 2017 lalu mencapai 92,80% [1]. Yang berarti masih ada sekitar 7,2% pada daerah di Indonesia

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

masih belum memiliki akses kelistrikan. Oleh karena itu, Pemerintah berupaya untuk tahun 2018 berusaha meningkatkan rasio elektrifikasi sebesar 97,5%[2] Rasio elektrifikasi tersebut cenderung meningkat dibanding dengan tahun 2013 lalu yang hanya mencapai 75 %[3]. Penggunaan pembangkit listrik berbahan bakar fosil sangatlah sensitif terhadap isu lingkungan. Hal itu yang menjadi masalah terhadap masa depan energi listrik. Energi terbarukan menjadi salah satu solusi teknologi yang diminati dan perlu diperhatikan lebih. Dalam studi ini, akan dijelaskan Optimisasi Energi Terbarukan pada pulau rakit menggunakan software homer.

Pulau Rakit atau yang biasa disebut juga pulau biawak oleh masyarakat sekitar adalah sebuah pulau yang terletak dikabupaten Indramayu dengan satwa biawak sebagai endemik pulau.

METODE PENELITIAN

A. Alat dan bahan

Piranti yang digunakan dalam melakukan analisis ini terdiri atas perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat hardware sebuah *notebook* dengan processor intel atom 1,66 GHz. RAM sebesar 1 GB, Sedangkan perangkat lunak yang digunakan adalah *software* HOMER, Pro 3.8.6 dan *lightshot* 5.4.1 dan Microsoft Word 2010.

B. Alur Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian berikut ini yaitu dengan dimulai dari studi literatur dengan studi literatur, yaitu mempelajari hal – hal yang berhubungan dengan pembangkit listrik energi terbarukan terutama terhadap suatu pulau.

Referensi dan informasi yang diperoleh melalui buku, jurnal penelitian, presentasi pada seminar maupun sumber referensi lainnya yang ada hubungannya dengan penelitian ini.Dilanjutkan dengan pengumpulan data beban serta dengan pengumpulan data potensi energi. Hingga dilakukan simulasi dengan menggunakan HOMER 3.11.6 lalu didapat hasil.

C. Profil Daerah Penelitian

Pulau Biawak atau Pulau Rakit adalah sebuah pulau yang terletak di Laut Jawa di Kabupaten Indramayu Jawa Barat[4]. Pulau Biawak terletak di sebelah utara semenanjung Indramayu sekitar 40 kilometer dari pantai utara Indramayu, dan

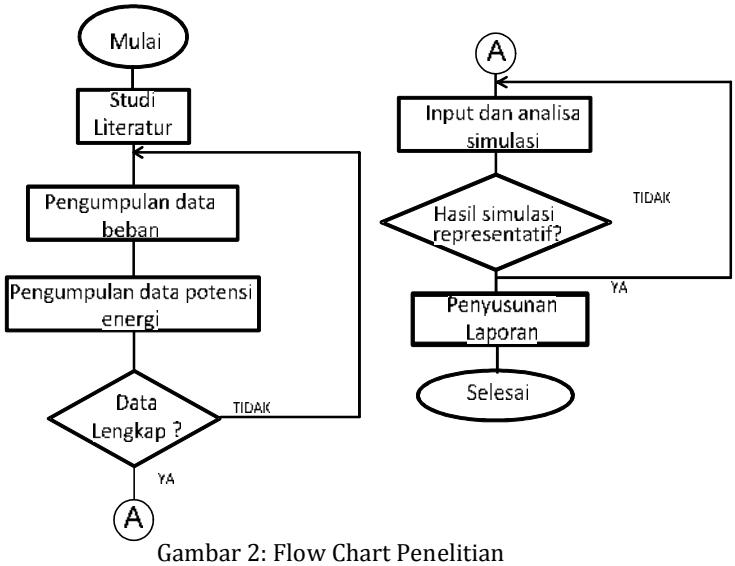
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

secara administratif termasuk ke dalam wilayah Desa Pabean Ilir kecamatan Indramayu, Kabupaten Indramayu. Luas pulau tersebut + 60 Ha.



Gambar 1 :Pulau Rakit



Gambar 2: Flow Chart Penelitian

D. Pengambilan Data

Pada penelitian ini, pengambilan data berupa :

1) Data kondisi pulau Rakit (lokasi survey)
2) Data Potensi energi Terbarukan (NASAyang terhubung dengan software HOMER)
3) Data komponen PLH dengan harga satuan unit, harga bahan bakar minyak, nilai tukar rupiah terhadap dollar (Pustaka)

E. *Software* HOMER

HOMER (*Hybrid Optimization for Energy Renewable)* adalah sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh U.S*National Renewable Energy*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Laboratory (NREL) bekerja sama dengan *Mistaya Engineering*, yang dilindungi hak ciptanya oleh *Midwest Research Institute* (MRI) serta digunakan oleh Departemen Energi Amerika (DOE)[4]. Terdapat 3 hal analisis dalam *software* HOMER

Simulasi: Proses ini menentukan konfigurasi dari sistem, kombinasi dari besarnya kapasitas komponen – komponen sistem, strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen tersebut bekerja bersama dalam periode waktu tertentu.[4]

Tujuan dari adanya proses simulasi yaitu untuk menentukan apakah sistem tersebut layak untuk dibuat.

Optimasi :Proses Optimasi dilakukan setelah melalui Proses Simulasi. Proses ini memodelkan serta merancang konfigurasi sistem khusus.**Sistem dikatakan optimal, apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang telah ditentukan**.

Sensitivitas : Sensitifitas terletak tepat diatas tab menu optimasi. Yaitu menunjukkan hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter masukkan input (berbeda – beda). Pada tahap ini, pengguna HOMER dapat memasukkan rentang nilai untuk nilai variabel tunggal maupun variabel ganda.[4]

F. Data Beban Listrik Pulau Rakit

Penggunaan listrik di Pulau Rakit hanya untuk kebutuhan penerangan.Sehingga data yang diperoleh dari HOMER *software,* merupakan data yang tergolong *residential.*Rata – rata dalam 1 tahun menghasilkan 11,42 kWh/day dan 2,42 peak.

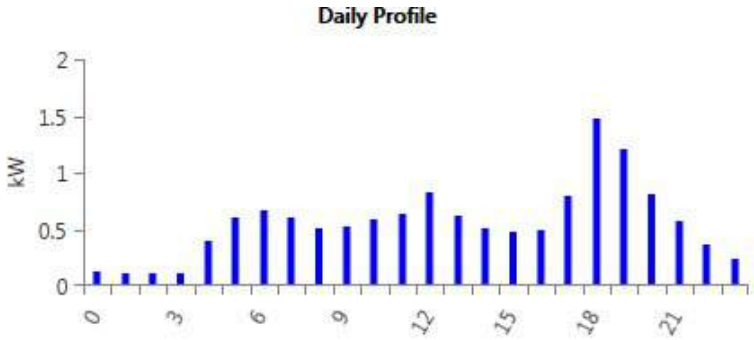
Tabel 1 Hasil Konsumsi Energi Melalui HOMER

Hour	Load (kWh)	Hour	Load (kWh)	Hour	Load (kWh)
00-01	0,131	07-08	0,6	14-15	0,502
01-02	0,114	08-09	0,504	15-16	0,476
02-03	0,114	09-10	0,516	19-20	1,204
03-04	0,114	10-11	0,594	20-21	0,811
04-05	0,392	11-12	0,64	21-22	0,576
05-06	0,6	12-13	0,829	22-23	0,36
06-07	0,66	13-14	0,623	23-24	0,245

Sumber . Software Homer

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284



Gambar 3 Profil Beban dalam 1 Hari

G. Data Potensi Energi

Dengan menggunakan data dari NASA, yang terhubung langsung dengan *software* HOMER, dalam hal ini dapat diketahui data sumber daya alam yang tepat dan dapat digunakan di Pulau itu. Tentunya, berdasarkan garis koordinat pada pulau tersebut.

H. Sumber Daya Matahari

Intensitas cahaya yang dihasilkan matahari terhadap pulau tersebut bisa dikatakan cukup untuk menyimpan energi surya dengan media photovoltaic.

Tabel3 Potensi Energi Surya per Bulan

Bulan	Clearness Index	Daily radiation (kWh/m^2/day
Januari	0.380	4.040
Februari	0.425	4.560
Maret	0.487	5.130
April	0.526	5.190
Mei	0.561	5.090
Juni	0.576	4.970
Juli	0.596	5.240
Agustus	0.627	5.950
September	0.623	6.370
Oktober	0.555	5.880
November	0.461	4.890
Desember	0.402	4.240

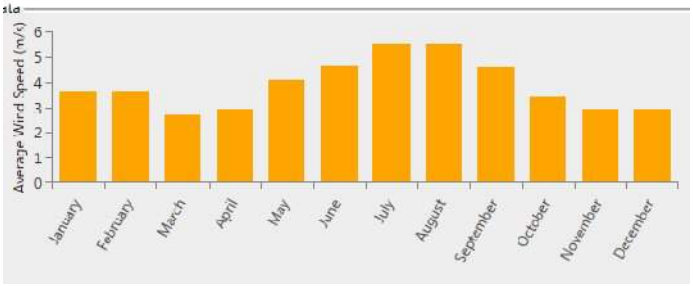
(sumber. Olahan data pribadi dan HOMER, 2018)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Melalui data yang tersaji pada tabel diatas, pada kolom *Daily radiation*, dan dengan melalui persamaan (3.2), maka dapat dihasilkan rata – rata yaitu 5.13 kWh/m^2/day.

I. Sumber Daya Angin

Energi Angin yang diproduksi alam juga dapat menjadi pertimbangan sebagai salah satu faktor keberhasilan produksi energi terbarukan di Pulau Rakit.Berikut disajikan melalui diagram grafik yang telah diolah dengan *software* HOMER.



Gambar 4 Grafik Sumber Daya Angin

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan, untuk mendapatkan hasil konfigurasi pembangkit yang optimal, maka dalam hal ini, penulis membagi pada 4 model skenario dengan komponen pembangkit yaitu : Generator diesel, turbin angin, solar sel, baterai dan konverter. Yang pada sebelumnya telah dimasukkan nilai - nilai beban dan potensi energi terbarukan seperti diatas.

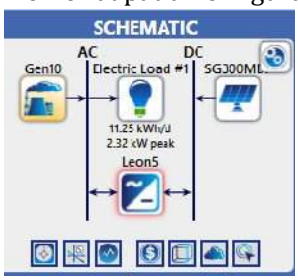
1)Model Skenario 1 : Generator diesel, PV, dan Konverter

2)Model Skenario 2 : Generator diesel, Turbin angin

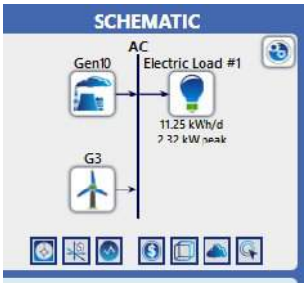
3)Model Skenario 3 : Turbin Angin dan PV, Baterai dan Kon verter

4)Model Skenario 4 : Generator diesel, turbin angin, PV, Baterai dan Konverter

Pada Homer dapat dikonfigurasikan seperti dibawah ini.

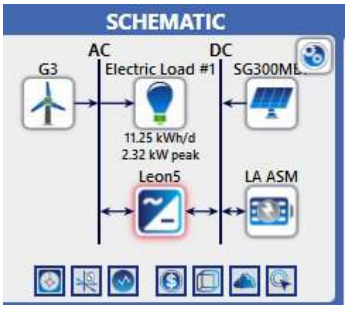


1

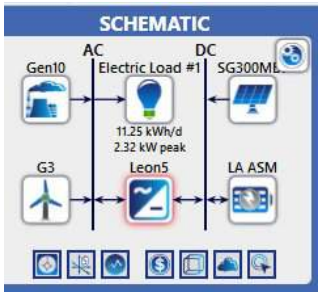


2

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284



3



4

Gambar 5. Model Konfigurasi

Dan didapat nilai NPC (Net Present Cost) seperti pada tabel 4

Tabel 4 Perbandingan Hasil

NO	Model skenario	Nilai					
		NPC(US$)	COE (US$)	REF (%)	Fuel Consumption (US$ /year)	Fuel Cost (US$ /year)	Production (Kwh/year)
1	1	209.110	3,38	0	6,215	6,.215	
2	2	304.802	4,93	0	10,468	10,648	
3	3	33.293	0.54	100	0	0	
4	4	31.145	0.59	93.8	122	122	

(sumber:olah data pribadi HOMER,2018)

Pada Skenario 1, pembiayaan dalam hal ini dihitung pada menu *cost* nilai NPC terkcil yang dihasilkan adalah $209,110 (Rp 3.025.403.480 konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5]. Dan mendapat nilai COE yang dihasilkan yaitu $3.38 (Rp.48.902, konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5]total pemeliharaan $11,821 pertahun(Rp.171.026,69 konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5],[6].

Pada Skenario 2, nilai NPC terkcil yang dihasilkan adalah $304,802 (Rp.4.409.875.336,- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5]. Nilai COE yang dihasilkan yaitu $4.93 (Rp.71.327,24,- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5]total pemeliharaan $19,90 (Rp.287.956,60- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5][6].

Pada Skenario 3, nilai NPC terkecil yang dihasilkan adalah $33,293 (Rp.481.683.124),- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5] dan tidak menggunakan wind turbin. Membutuhkan 5,42 kW PV Nilai COE yang dihasilkan yaitu $0.539 (Rp.7.798,25)- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5][6]

Pada Skenario 4, nilai NPC terkcil yang dihasilkan adalah $31,145 (Rp.450.605,860,- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5]dan tidak

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

menggunakan wind turbin. Membutuhkan 2,59 kW PV Nilai COE yang dihasilkan yaitu $0.587 (Rp.8.492,72- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5][6]

Dari data yang sudah diolah diatas, didapat bahwa skenario 4 memiliki jumlah NPC terkecil. Dengan jumlah US$ 31.145 (Rp.450.605,860,- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5].Maka tidak menutup kemungkinan bahwa skenario 4 merupakan konfigurasi pilihan untuk di realisasikan di pulau Rakit.

Skenario 1 dan 2 sebagian besar generator diesel yang memegang peranan dibanding dengan hadirnya panel surya maupun turbin.Sehingga bukan menjadi sebuah pembangkit yang disarankan untuk dikonfigurasi dalam memenuhi kebutuhan energi terbarukan di Pulau Rakit.

KESIMPULAN

Terdapat dua potensi energi Terbarukan pada pulau Rakit Indramayu yaitu energi surya dan energi angin.Hal itu terbukti dengan pengukuran yang dilakukan pada satelit NASA melalui software HOMER menunjukkan rata – rata sumber daya matahari 5.13 kWh/m^2/day dan energi angin yang stabil 3.88 kWh/m^2/day.

Model konfigurasi dari 4 skenario yang telah diuji membuktikan. Bahwa Skenario 4 atau konfigurasi mikrogrid yang optimal antara Generator dengan merk Generic 10 kW, Wind Turbin dengan ukuran 3 kW, dan Panel Surya dengan ukuran 1 kW lebih baik dari yang lain. Dengan nilai US$ 31.145 (Rp.450.605,860,- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5]. Konfigurasi ini merupakan yang paling optimal dibanding yang lain. Terbukti karena nilai NPC yang diuji menunjukkan paling rendah dengan hasil *renewable fraction* yang tinggi.Pulau Rakit dinilai cocok dalam implementasi lanjut energi terbarukan dengan pertimbangan Harga dan nilai dari total NPC maupun hasil yang didapat dari software HOMER dengan mempertimbangkan kondisi potensi dan geografis pulau.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya haturkan karena banyak mendapatkan bantuan, dorongan baik moril maupun spiritual dari Universitas 17 Agustus 1945 Cirebon. Yang pada kali ini telah memberikan kesempatan untuk bisa menyusun jurnal. Dan dapat mempublikasikannya pada seminar CIASTECH 2018 Universitas Widyagama, Malang. Dengan Harapan bisa menjadi referensi dimasa yang akan datang.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

REFERENSI

ESDM. (2017). rasio elektrifikasi indonesia status juni 2017. [*Online]* Tersedia pada :https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-rasio-elektrifikasi indonesia-status-juni-2017.pdf (diakses tanggal 12Maret 2018 pukul 10.30).

tirto.id. (2017). *Pemerintah prioritaskan 3 hal untuk tingkatkan rasio elektrifikasi* [*Online*]tersedia pada : https://tirto.id/pemerintah-prioritaskan-3-hal-untuk-tingkatkan-rasio elektrifikasi-cFLF(diakses tanggal 12 Maret 2018 pukul 10.35).

Muchlis. Moch dkk. (____).*Proyeksi KebutuhanListrik PLN Tahun 2003 s.d 2020.* artikel. Pengembangan Sistem Kelistrikan dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang.

Homerpro v.3.7 user Manual (2016). *Homer Help Manual*[Terunduh] tersedia pada :https://www.homerenergy.com/pdf/HOMERHelpManual.pdf (diakses tanggal 21 April 2018)

Bank Indonesia. (2018). *Informasi KURS Juli 2018*. [*Online*] Tersedia pada: https://www.bi.go.id/id/moneter/informasi-kurs/transaksi-i/Default.aspx (diakses tanggal 25 Juli 2018 pukul 01.48)

Bph Migas. (2018). *Harga Solar Perliter 2018*. [Online] Tersedia pada: www.bphmigas.go.id (diakses tanggal 19 Juli 2018 pukul 15.42)

Aziz.S.N.(2015) *Studi Kelayakan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (Pv Turbin Angin) Untuk Tempat Wisata Di Pulau Nusa PenidaProvinsi Bali* Skripsi. Yogyakarta. Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi. Informasi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.

Kunaifi (2010). *Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Tenaga Listrik Hibrida di Propinsi Riau*. Seminar Nasional Informatika 2010. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim.Pekanbaru.

Juwito Arif Febriansyah,(2013).*Optimisasi Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Energi Listrik Menuju Desa Mandiri Energi Di Desa Margajaya*. JNTETI, Vol.2, No.3. Yogyakarta.Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.

Kahar Bahrud. (2016). *Studi Dan Permodelan Penyediaan Energi Di Pulau Moti Kota Ternate Berbasis Energi Terbarukan*.Tesis. Surabaya. Bidang Keahlian Rekayasa Energi Terbarukan Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Permana Adi Ditto,___. *Studi Analisis Pembangkit Listrik Hybrid (Diesel – Angin) Di Pulau Karimun Jawa*. Jurnal. Malang. Universitas Brawijaya.

Sinaga Rusman, 2017.Analisis Alternatif Solusi Penyediaan Sumber Energi

Listrik Studi Kasus Kabupaten Kupang". Jurnal Keteknikan Pertanian.Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor.

Sukmawijaya Maula, 2013.Simulasi Optimasi Sistem PLTH Menggunakan Software Homer Untuk Menghemat Pemakaian BBM di Pulau Penyengat Tanjung Pinang Kepulauan Riau".Jurnal.Jetri Volume 11, Nomor 1, Agustus2013, Halaman 17- 42.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Geuthèë: Penelitian Multidisiplin
Vol. 02, No. 02, (Agustus, 2019), pp. 267-274.

OPTIMALISASI DAYA OUTPUT DUAL AXIS SOLAR TRACKER DENGAN METODE UMBRELLA SYSTEM

OPTIMIZATION OF OUTPUT POWER DUAL AXIS SOLAR TRACKER WITH UMBRELLA SYSTEM

Yuli Prasetyo[1*], Budi Triyono[2], Agus Choirul Arifin[3]

[1, 2, 3] *Politeknik Negeri Madiun, Jl. Serayu No 84, Madiun, Jawa Timur, Indonesia.*

* E-mail: yuliprasetyo2224@pnm.ac.id

Diterima: 17/08/2019; Disetujui: 31/08/2019

ABSTRAK

Energi matahari dapat dirubah menjadi energi listrik menggunakan panel surya. Panel surya yang digunakan kebanyakan masih bersifat satis. Hal ini mengakibatkan penyerapan energi matahari tidak bisa secara maksimal. Sehingga energi listrik yang dihasilkan dari panel surya juga tidak maksimal. Agar penyerapan energi matahari dapat diserap oleh panel surya dengan maksimal, maka panel surya harus mempunyai sistem yang selalu mengikuti arah sinar matahari. Penelitian tentang solar tracking ini menggunakan dua motor aktuator untuk penggerak dan berfungsi untuk mengikuti arah sinar matahari. Metode yang diterapkan untuk sistem tracking ini adalah umbrella method. Metode ini menerapkan perilaku orang yang memegang payung untuk melindungi sinar matahari. Penelitian ini menggunakan sensor LDR dan mikrokontroller untuk dapat menggerakan panel surya. Hasil yang didapat dari pengujian adalah daya output pada panel surya lebih besar saat tracking daripada saat statis.

Kata Kunci: Energi terbarukan, Energi matahari, Panel surya, Solar tracker

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ABSTRACT

Solar energy can be converted into electrical energy using solar panels. The solar panels used are mostly static. This resulted in the absorption of solar energy can not be maximized. So that the electrical energy generated from solar panels is also not optimal. So that the absorption of solar energy can be absorbed by solar panels to the maximum, the solar panels must have a system that always follows the direction of sunlight. This research on solar tracking uses two actuator motors for propulsion and functions to follow the direction of sunlight. The method applied for this tracking system is the umbrella method. This method applies the behavior of people who hold an umbrella to protect the sun's rays. This study uses an LDR sensor and a microcontroller to be able to move the solar panel. The results obtained from solar panel testing are greater output power when tracking than when static.

Keywords: Renewable Energy, Solar Energy, Solar Panel, Solar Tracker.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Geuthèë: Penelitian Multidisiplin
Vol. 01, No. 02, (Agustus, 2019), pp. 267-274.

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan energi yang kita gunakan untuk kepentingan sehari-hari, terutama untuk alat-alat elektronik. Energi listrik berbahan baku batu bara sekarang ini sudah semakin menipis, untuk itu kita harus menggunakan energi listrik tersebut secara hemat dan efisien (Husain, 2017). Salah satu energi yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik adalah energi matahari. Salah satu alat yang memanfaatkan energi matahari adalah panel surya atau solar cell (Mohit, 2017). Namun pemasangan panel surya masih bersifat statis dan tidak memperhitungkan titik optimal pancaran sinar matahari (Amevi, 2015). Hal ini menyebabkan intensitas cahaya matahari yang diterima kurang optimal. Energi listrik yang dihasilkan dari solar tracker akan maksimal apabila *solar cell* selalu tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari (Salam, 2015). Dengan kata lain, *solar cell* harus mengikuti arah pergerakan cahaya matahari yang sering disebut dengan *solar tracker system*.

Solar tracker system pada umumnya masih menggunakan satu axis, yaitu untuk pergerakan arah timur ke barat, dengan mengabaikan pergerakan arah utara dan selatan. Posisi matahari terkadang berada di sebelah utara dan terkadang di selatan. Sehingga *solar tracker system* satu axis saja tidak cukup. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem yang dapat mengendalikan panel surya secara otomatis agar tetap tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari.

METODE PENELITIAN

1. Panel Surya

Panel surya adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. Photovoltaic adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel (Zuhal, 2018). Contoh alat panel surya sesuai dengan gambar 1.



Gambar 1. Panel Surya.

2. Sensor LDR

Sensor LDR (Light Dependent Resistor) merupakan salah satu jenis resistor yang dapat mengalami perubahan resistansinya apabila mengalami perubahan penerimaan cahaya (Rizal, 2012). LDR terbuat dari cadmium sulfida yaitu merupakan bahan semikonduktor

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

yang resistansinya berubah-ubah menurut banyaknya cahaya (sinar) yang mengenainya. LDR bisa digunakan sebagai detektor cahaya atau pengukur besaran konversi cahaya (Jerin, 2017). Bila cahayanya gelap nilai tahanannya semakin besar, sedangkan cahayanya terang maka nilai tahanannya semakin kecil. Resistansi LDR berubah seiring dengan perubahan intensitas cahaya yang mengenainya. Sensor LDR sesuai dengan gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Sistem

3. Blok Diagram

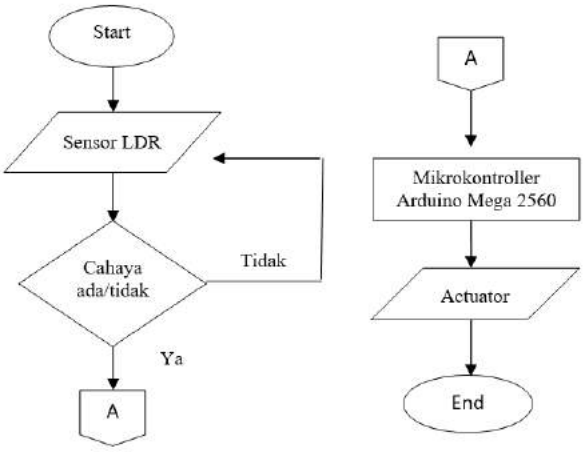
Cara Kerja dari blok diagram penelitian ini adalah mikrokontroller sebagai kontrol pusat sebagai perintah input dan output. Sensor LDR (Light Dependent Resistor) sebagai pendeteksi cahaya yang masukan ke mikrokontroller dan linear actuator digunakan untuk penggerak panel solar. Modul relay digunakan untuk menentukan arah gerak linear actuator. Skema blok diagram penelitian terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Blok Diagram

4. Flowchart

Flowchart *solar tracker system dual axis* berbasis mikrokontroller arduino mega 2560 seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Sistem

5. *Umbrella System*

Prinsip kerja dari sistem dual axis solar tracker ini adalah pergerakan panel surya yang mengikuti pergerakan sinar matahari. Pergerakan panel surya atau tracking ini menggunakan metode *umbrella system*. *Umbrella system* adalah metode berdasarkan perilaku orang yang memegang payung untuk menghindari sinar matahari. Payung pada metode *umbrella system* diibaratkan panel surya. Pembuatan perangkat ini menyesuaikan sudut panel surya untuk mengetahui tegangan output maksimum panel surya.

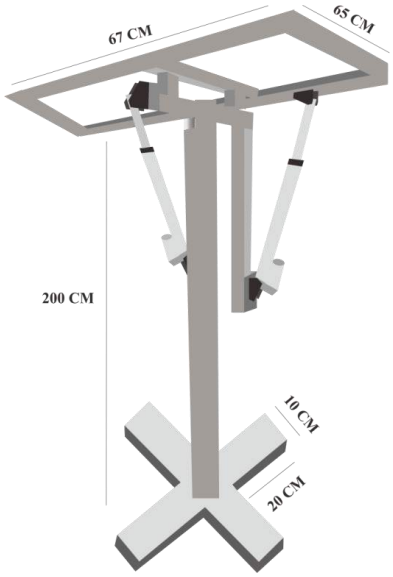
6. Perancangan Alat

Perancangan alat dilakukan untuk merancang/membuat sistem alat yang dibuat

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Geuthèë: Penelitian Multidisiplin
Vol. 01, No. 02, (Agustus, 2019), pp. 267-274.

dalam penelitian ini. Kerangka alat dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 5.

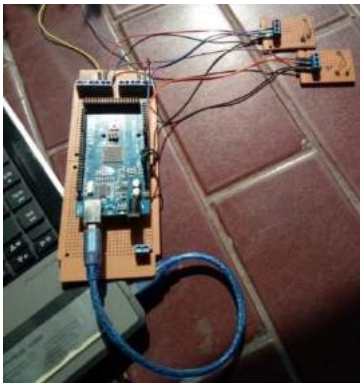


Gambar 5. Perancangan Kerangka Alat

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1) Pengujian Sensor LDR

Sensor LDR berfungsi sebagai pembaca tegangan yang dihasilkan oleh sinar matahari yang diolah oleh mikrokontroler untuk menggerakkan linier actuator. Pengujian rangkaian sensor LDR menggunakan dua buah sensor LDR. Gambar 6 adalah gambar pengujian sensor LDR dan tabel pembacaan tegangan sensor LDR terdapat pada tabel 1.



Gambar 6. Pengujian Sensor LDR

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor LDR

No.	Pukul	Sensor LDR 1 (V)	Sensor LDR 2 (V)
1.	07.00	4,24	4,21
2.	08.00	4,38	4,32
3.	09.00	4,46	4,44
4.	10.00	4,47	4,45
5.	11.00	4,67	4,54
6.	12.00	4,66	4,55
7.	13.00	4,60	4,52
8.	14.00	4,59	4,52
9.	15.00	4,36	4,14
10.	16.00	4,20	4,10

Pada tabel 1 menunjukkan hasil pengujian tegangan sensor LDR 1 dan 2 pada pukul 07.00 – 16.00 WIB. Data tegangan sensor LDR untuk menentukan batas minumun dalam set point dalam program arduino. Batas minimum tersebut adalah sebesar > 4.00 Vdc, karena dari data tersebut rata-rata pembacaan sensor LDR lebih dari 4Vdc. Hasil dari sensor LDR ini diolah oleh mikrokontroller untuk digunakan dalam proses *tracking panel surya*. Mikrokontroller ini yang mengatur posisi dari *linear actuator* untuk menggerakan panel surya.

2) Pengujian Panel Surya

Pengujian panel surya dilakukan dengan dua cara. Cara kesatu adalah panel surya dibuat statis atau diam. Kemudian diukur tegangan yang dihasilkan dari panel surya tersebut. Pengujian panel surya dibuat statis seperti pada gambar 7. Cara kedua adalah pengujian panel surya secara *tracking*. Panel surya disini dibuat mengikuti arah sinar

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

matahari. Pengujian panel surya secara *tracking* seperti pada gambar 8.



Gambar 7. Pengujian Panel Surya Statis



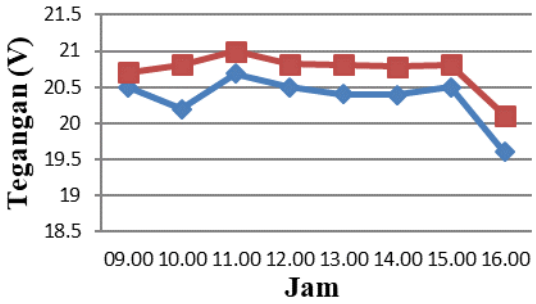
Gambar 8. Pengujian Panel Surya Tracking

Tabel 2. Data Tegangan Hasil Pengujian Panel Surya

No.	Pukul	Tegangan	
		Statis (V)	Tracking (V)
1.	09.00	20,50	20,70
2.	10.00	20,20	20,81
3.	11.00	20,69	21,00
4.	12.00	20,50	20,82
5.	13.00	20,40	20,81
6.	14.00	20,39	20,78
7.	15.00	20,50	20,81
8.	16.00	19,60	20,11

Tabel 2 memperlihatkan data tegangan panel surya pada kondisi statis dan tracking. Kondisi *tracking* adalah kondisi dimana panel surya mengikuti arah sinar matahari. Kondisi tracking ini dilakukan dengan dua arah atau *Dual Axis* yaitu arah utara – selatan panel surya dan timur – barat panel surya. Ada dua buah linear actuator yang digunakan untuk menggerakkan panel surya. Satu untuk arah utara – selatan dan satu lagi untuk timur – barat. Jika panel surya terkena banyak cahaya seperti pada saat siang hari maka tegangan yang dihasilkan semakin tinggi.

Perbandingan pengujian panel surya pada kondisi statis dan tracking dapat dilihat pada gambar 9. Gambar 9 menjelaskan bahwa tegangan yang dihasilkan panel surya pada kondisi tracking lebih besar daripada panel surya kondisi statis.



Gambar 9. Pengujian Panel Surya Statis (biru) dan tracking (merah)

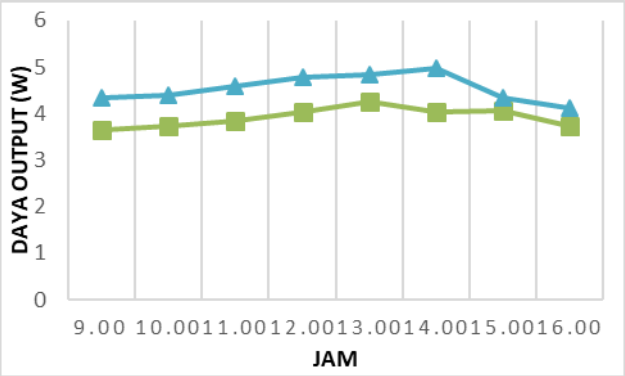
Tabel 3. Data Arus Hasil Pengujian Panel Surya

No.	Pukul	Arus	
		Statis (A)	Tracking (A)
1.	09.00	0,18	0,21
2.	10.00	0,18	0,21
3.	11.00	0,19	0,22
4.	12.00	0,20	0,23
5.	13.00	0,21	0,23
6.	14.00	0,20	0,24
7.	15.00	0,20	0,21
8.	16.00	0,19	0,20

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Geuthèë: Penelitian Multidisipli
Vol. 01, No. 02, (Agustus, 2019), pp. 267-274.

Tabel 3 memperlihatkan data arus panel surya pada kondisi statis dan tracking. Arus yang dihasilkan panel surya saat tracking lebih besar daripada saat statis.



Gambar 10. Daya Output Panel Surya statis (hijau) dan tracking (biru)

Gambar 10 menjelaskan perbedaan daya output panel surya saat kondisi statis dan tracking. Daya output panel surya pada saat tracking lebih besar daripada saat statis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode *umbrella system* dapat diterapkan pada *tracking* panel surya. Tegangan yang dihasilkan saat posisi *tracking* lebih besar daripada saat posisi statis atau diam. Arus yang dihasilkan panel surya saat statis lebih rendah daripada saat tracking. Hal ini membuktikan bahwa sistem tracking dapat menghasilkan daya output yang maksimal karena panel surya dapat mengikuti arah sinar matahari.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DAFTAR PUSTAKA

Hussain, S. A., Abulrahman, I. S., & Marwa, W. A., (2017). Microcontroller Based Dual Axis Sun Tracking System for Maximum Solar Energy Generation, American Journal of Energy Research, Vol. 5, No. 1. Pp. 23-27.

Mohit & Subhash, S. (2017). Modeling and Designing of Solar Tracking System using Arduino, IJSRST, Vol. 3, Issue 8, pp. 264-267.

Amevi, A., Nana, Y. A., & Daniel, B. S. (2015). Low cost two-axis automatic solar tracking system. Communications on Applied Electronics, Vol. 2, No. 8, ISSN : 2394-4714.

Salam, A., Falah, I. M. A. & Farouk, F. A. (2015). Performance test of two-axis solar tracker system with distinct tracking strategies. American Association for Science and Technology Journal of Energy, Vol. 2, No. 5, pp. 57-60.

Zuhal, Er & Elif, Balci (2018). Dual Axis solar tracking system without any sensor. Journal of Energy Systems, Vol. 2, No. 3, pp. 130-139.

Rizal, Yusie, Wibowo, Sunu Hasta & Feriyadi (2012). Application of solar position algorithm for sun-tracking system. ICSEEA Energy Procedia 32. pp. 160-165.

Jerin, K. T. & Andrew K. N. (2017). Design and Development of an Automatic Solar Tracker. Energy Procedia 143, pp. 629-634.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia (JAMSI)
https://jamsi.jurnal-id.com
Vol. 2, No. 1 Januari 2022, Hal. 35-40
DOI: https://doi.org/10.54082/jamsi.154

Pelatihan Pembuatan Bahan Bakar Minyak Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) bagi Masyarakat Banyuwangi Jawa Timur

Muh. Nurkoyim Kustanto*[1], Nasrul Ilminnafik[2], Mahros Darsin[3], Imam Rudi Sugara[4], Deny Tomy Andrianto[5], Ahmad Iqbal Fawaid[6]

[1,2,3,6]Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Indonesia
[4,5]Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Indonesia
*e-mail: nasrul.teknik@unej.ac.id[2]

Abstrak

Seiring kenaikan konsumsi energi minyak dan menurunnya cadangan minyak bumi, maka perlu beralih ke minyak nabati sebagai sumber bahan bakar terbarukan, salah satunya adalah dari biji nyamplung. Biji nyamplung banyak terdapat di desa Kebondalem, Kecamatan Bangorejo, Kabupaten Banyuwangi. Pengabdian masyarakat ini bertujuan mengenalkan potensi minyak nyamplung ke masyarakat desa tersebut. Kegiatan pengabdian dilakukan oleh tim gabungan dosen dan mahasiswa jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Kegiatan berupa pengenalan potensi biji nyamplung untuk alternative bahan bakar, dilanjutakn dengan peragaan pengepresan biji menjadi minyak. Di sela-sela kedua acara teresbut diselingi tanya jawab dan diskusi. Hasil dari pengabdian ini cukup membuka wawasan warga desa yang hadir akan potensi nyamplung yang selama ini terabaikan. Tokoh masyarakat dan karang taruna siap untuk menindaklanjuti kegiatan ini dengan rencana penanaman lahan hutan desa dengan nyamplung. Perlu arahan dan kegiatan lanjutan untuk menyambut antusiasme warga desa ini.

***Kata kunci**: Bahan Bakar Bio, Energi Terbarukan, Minyak Biji Nyamplung*

Abstract

As oil energy consumption increases and petroleum reserves decrease, it is necessary to switch to vegetable oil as a renewable fuel source, one of which is from nyamplung seeds. Nyamplung seeds are widely available in the village of Kebondalem, Bangorejo District, Banyuwangi Regency. This community service aims to introduce the potential of nyamplung oil to the village community. Service activities were carried out by a joint team of lecturers and students of Mechanical Engineering Deaprtment, Faculty of Engineering, University of Jember. Activities in the form of introducing the potential of nyamplung seeds for alternative fuels, followed by demonstrations of pressing seeds into oil. On the sidelines of the two events, questions and answers were interspersed with discussions. The results of this service are enough to open up the insight of the villagers who are present on the potential of nyamplung which has been neglected so far. Community leaders and youth organizations are ready to follow up this activity with plans to plant village forest land with nyamplung. Further direction and activities are needed to welcome the enthusiasm of the villagers.

***Keywords**: Calophyllum inophyllum Seed Oil, Biofuel, Renewable Energy*

1. PENDAHULUAN

Kecamatan Bangorejo berada di bagian selatan Kabupaten Banyuwangi, dengan luas luas 137,43 km^2. Jumlah penduduknya 65 709 jiwa (Banyuwangi, 2017), tersebar di 7 Desa. Berdasarkan tipe potensi desa, sebagian besar desa tersebut merupakan desa penghasil pertanian mulai dari padi, sayuran, buah-buahan, palawija, serta perkebunan.

Di Kecamatan Bangorejo terdapat beberapa desa yang mempunyai banyak pohon nyamplung (C*halophyllum inophyllum*). Pohon nyamplung tumbuh secara liar tanpa pemeliharaan yang rumit, bahkan cenderung tidak mendapatkan perhatian karena masyarakat setempat tidak memahami nilai ekonomisnya.

Jenis pohon nyamplung merupakan tanaman hutan serbaguna yang salah satu manfaatnya sebagai bahan baku energi (*biofuel*) dari produk buahnya (biji nyamplung) sehingga jenis ini dikelompokkan sebagai HHBK penghasil minyak lemak, pati, dan buah-buahan (*Bu K U Pe G a N G a N*, n.d.). Pohon nyamplung termasuk jenis pohon yang mempunyai banyak manfaat. Beberapa keunggulannya ditinjau dari prospek pemanfaatannya adalah regenerasi tanaman

Vol. 2, No. 1 Januari 2022, Hal. 35-40
DOI: https://doi.org/10.54082/jamsi.154

nyamplung mudah dan berbuah sepanjang tahun, tahan terhadap lingkungan ekstrem, relatif mudah dibudidayakan, hampir seluruh bagian tanaman berdayaguna dan menghasilkan berbagai macam produk yang memiliki nilai ekonomis; tanaman dapat berfungsi sebagai pemecah angin (*wind breaker*) untuk tanaman pertanian dan konservasi sempadan pantai, serta pemanfaatan untuk bahan baku energi atau bahan bakar nabati (BBN). Kelebihan lain nyamplung sebagai bahan baku BBN adalah kandungan minyak dari bijinya sangat tinggi dan dalam pemanfaatannya tidak berkompetisi dengan kepentingan pangan. Selama ini biji nyamplung tidak banyak dimanfaatkan oleh masyarakat bahkan tidak mengetahui jika biji nyamplung bisa dimanfaatkan dan diproses menjadi bahan bakar.

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk membuat minyak dari biji nyamplung. Minyak nyamplung bisa diproses lebih lanjut menjadi biodiesel. Pembuatan minyak nyamplung sudah dikembangkan dengan beberapa metode. Sany dkk (2015) membuat minyak nyamplung dengan ekstraksi liquid-liquid (Industri, 2015). Peneliti lain membuat biodiesel nyamplung dengan beberapa macam katalis (Araujo, 2017). Dari penelitian-penelitian tersebut diperoleh bahwa nyamplung memiliki peluang sebagai salah satu potensi yang bisa dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif yang bisa dikembangkan oleh masyarakat secara luas. Selain sebagai bahan bakar, nyamplung juga mempunyai multifungsi (Susila, 2018), diantaranya untuk digunakan untuk bahan baku sabun padat transparan (Handayani et al., 2020), body lotion (Rakhmawati et al., 2019), dan Gel Tabir Surya (Rejeki & Wahyuningsih, 2015).

Kelebihan nyamplung sebagai bahan baku energi, yaitu bijinya mengandung kadar oktan cukup tinggi dibandingkan beberapa tanaman penghasil *biofuel* lainnya. Kandungan minyak pada biji nyamplung sebesar 40-73%, kusambi (*Scleichera oleosa*) sebesar 55-70%, dan jarak pagar (*Jatropha curcas*) sebesar 40-70% (Science & Seminar, 2007). Sebagian besar komponen dari pohon nyamplung dapat menghasilkan minyak, tetapi yang paling banyak kandungannya pada bagian buah dan getah pohon (Prasetyawati & Mangopang, 2013). Sementara limbah hasil proses pengolahan berupa kulit tempurung dan ampas biji nyamplung dapat digunakan sebagai arang aktif.

Kelurahan Kebondalem sendiri merupakan pemerintahan desa yang cukup bagus dalam menerima program pemberdayaan ekonomi masyarakat, termasuk memanfaatkan biji nyamplung yang banyak tumbuh di daerah ini. Berdasarkan hasil tanya jawab dengan apparat desa Kebondalem, selama ini masyarakat tidak ada yang mengetahui apalagi memanfaatkan biji buah nyamplung yang banyak berada di sepanjang jalan Desa Kebondalem tersebut.

Berdasarkan analisis situasi tersebut, dapat diuraikan beberapa masalah yang dihadapi oleh masyarakat Desa Kebondalem, yaitu: (1) Masih banyak masyarakat yang membutuhkan tambahan penghasilan, apalagi di era pandemi, mereka perlu banyak bekerja di rumah. (2) Belum adanya pengetahuan tentang pemanfaatan biji nyamplung sehingga hanya dibiarkan dan menjadi sampah, (3) perlunya pemahaman pemanfaatan biji nyamplung. (4) tidak adanya alat-alat yang memadai untuk pengolahan biji nyamplung menjadi produk yang bermanfaat, khususnya untuk minyak bahan bakar. Diperlukan pengenalan dan pelatihan pemanfaatan biji nyamplung yang selama ini banyak jumlahnya dan menjadi limbah lingkungan menjadi energi bahan bakar.

Tujuan kegiatan pengabdian ini adalah mengenalkan kepada masyarakat akan potensi biji nyamplung yang banyak terdapat di daerah tersebut dan bagaimana cara memanfaatkannya.

2. METODE

Kegiatan dilakukan dalam beberapa tahap. Pertama, survey lokasi. Sebelum dilakukan kegiatan ini, tim telah melakukan survey tentang persepsi masyarakat sekitar terhadap pohon dan biji nyamplung. Berdasarkan masalah yang dihadapi masyarakat desa Kebondalem, maka masalah utama yang harus diselesaikan adalah memberikan pemahaman bagaimana memanfaatkan biji nyamplung yang sebelumnya menjadi sampah dan dibiarkan berserakan menjadi minyak nyamplung. Mahasiswa Universitas Jember menawarkan kegiatan pengabdian kepada kepala desa yang diperuntukan bagi masyarakat desa Kebondalem, untuk memberikan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Vol. 2, No. 1 Januari 2022, Hal. 35-40
DOI: https://doi.org/10.54082/jamsi.154

wawasan dan pelatihan pemanfaatan potensi daerah Kebondalem dan sekitarnya yaitu pohon nyamplung menjadi energi yang bisa diproduksi dan digunakan sendiri untuk kebutuhan sehari-hari. Kepala desa setuju dan bersedia menyiapkan warga dan tempat yang akan digunakan kegiatan, yang ditunjukkan dengan surat Permohonan yang dikirim ke Univeritas Jember.

Tahap kedua pelaksanaan kegiatan yang diadakan dengan 3 acara:

1. Penyampaian materi tentang potensi pohon nyamplung di daerah Kebondalem dan sekitarnya, manfaat dan penggunaannya, cara membuat dan memproduksi, serta potensinya sebagai sumber pendapatan. Kegiatan ini didukung dengan penggunaan LCD proyektor untuk memudahkan masyarakat memahami materi yang disampaikan.
2. Praktek pembuatan minyak. Tim pengabdian telah menyiapkan bahan dan alat pengabdian. Bahan yang diperlukan adalah biji nyamplung yang diperoleh dari pemungutan biji yang sudah jatuh dari pohon di sekitar pohon nyamplung. Adapun alat pengabdian adalah blender yang biasanya digunakan untuk menggiling daging dan alat press yang dibuat oleh mahasiswa Universitas jember.
3. Diskusi dan anya jawab untuk memperdalam materi yang telah disampaikan.

Keberhasilan kegiatan ini bisa dilihat dari bagaimana respon peserta dalam acara ini terhadap materi yang disampaikan baik dari pertanyaan yang muncul, sikap dari peserta setelah mengikuti kegiatan ini, dan jangka panjang tujuan kegiatan ini adalah perubahan ekonomi masyarakat sasaran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian ini diawali dengan pembukaan oleh Kepala Desa Kebondalem yang memberikan gambaran tujuan acara ini diadakan. Kepala desa juga berharap dengan kegiatan ini bisa menggerakkan ekonomi masyarakat Desa Kobendalem. Kegiatan ini dilaksanakan di Balai Desa Kebondalem Kecamatan Bangorejo Kabupaten Banyuwangi, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pada gambar tersebut terlihat bahwa kegiatan dilakukan dengan menerapkan protokol Kesehatan, sehingga tempat duduk berjarak dan semua peserta menggunakan masker.



Gambar 1. Pelaksanaan kegiatan

Kegiatan pertama berupa pemaparan materi tentang sejarah awal mula nyamplung sampai di Indonesia, letak geografis daerah dengan potensi pohon nyamplung besar. Manfaat dari nyamplung sendiri juga dipaparkan dengan pembahasan mengarah kepada kelangkaan bahan bakar minyak bumi dan potensi besar dari pohon nyamplung sebagai alternatif pengganti bahan bakar konvensional tersebut. Setelah itu dilanjutkan dengan penjabaran terkait hal aspek ekonomis dari biji nyamplung yang sudah lama ada seperti perusahan di beberapa daerah di Indonesia yang memanfaatkan biji nyamplung menjadi minyak *biofuel* dan banyak permintaan minyak tersebut hingga sering melakukana ekspor ke manca negara.

Kegiatan kedua adalah adalah praktek proses pembuatan minyak sebagai bahan bakar dari biji nyamplung. Mekanisme dipaparkan secara mendetail karena telah disiapkan bahan contoh yang ditunjukkan, mulai dari biji nyamplung, buah nyamplung dari biji yang sudah dikupas, dan buah yang sudah diblender, seperti ditunjukkan pada Gambr 2. Pada Gambar tersebut biji nyamplung yang akan dibuat minyak harus dalam keadaan kering dan dikupas

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Vol. 2, No. 1 Januari 2022, Hal. 35-40
DOI: https://doi.org/10.54082/jamsi.154

sehingga didapatkan buah nyamplung. Buang nyamlung kemudian diblender sehinga menjadi dimensi kecil seperti ampas kelapa. Buah nyampling berdimensi seperti ini memudahkan untuk melakukan ekstraksi mekanik (press) menjadi minyak nyamplung.



Gambar 2. Buah nyamplung dari hijau hingga siap diekstraksi

Ampas buah nyamplung setelah diblender dibungkus kain kemudian diekstraksi mekanik menggunakan alat press seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Kain berfungsi sebagai filter agar ampas nyamplung tidak bercampur dengan minyak yang dihasilkan. Ekstraksi dilakukan beberapa kali untuk memberikan kesempatan terjadinya minyak nyamplung. Dari 1 kg buah nyamplung dihasilkan sekitar 300 ml minyak nyamplung. Hasil ekstraksi menghasilkan minyak nyamplung ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Proses ekstraksi biji nyamplung



Gambar 4. Hasil minyak nyamplung

Semua proses pembuatan minyak nyamplung ini diperagakan oleh mahasiswa. Peserta juga diperlihatkan bagaimana hasil dari minyak yang dihasilkan dari proses tersebut. Minyak nyamplung yang dihasilkan bisa digunakan sebagai bahan bakar kompor minyak. Jika minyak nyamplung diproses lebih lanjut dengan beberapa tahapan, bisa menghasilkan biodiesel. Ini

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Vol. 2, No. 1 Januari 2022, Hal. 35-40
DOI: https://doi.org/10.54082/jamsi.154

proses berikutny yang perlu dilakukan jika masyarakat sudah mulai menyadari pentingnya biji minyamplung ini.

Berdasarkan hasil sosialisasi yang diadakan, semua peserta nampak antuasias dari penyampaian materi potensi biji nyamplung, yang diindikasikan dengan pertanyaan yang disampaikan. Beberapa pertanyaan yang muncul terkait bagaimana masyarakat bisa mendapatkan alat-alat yang digunakan untuk memproduksi minyak nyamplung dan berapa harga jual minyak nyamplung, karena peserta optimis jika ada alat yang digunakan mereka mampu membuat minyak nyamplung sendiri. Tim pengabdian menyampaikan, harga umum di pasaran online yang ada didaerah lain. Tapi saat tim pengabdian masih melakukan penelitian tentang randemen minyak nyamplung ini dan kualitas minyak nyamplung yang dihasilkan sehingga belum bisa memberikan harga jual minyak yang dihasilkan masyarakat Kebondalem karena masih harus diketahui kualitasnya dan dibandingkan dengan kualitas minyak nyamplung dari daerah lain. Sebagai tindaklanjut kegiatan ini, masyarakat bersedia menyiapkan bahan berupa biji nyamplung sebagai bahan penelitian bagi tim pengabdian dan akan dibeli dengan harga yang pantas untuk dilakukan penelitian lebih lanjut. Harga ini akan disesuaikan jika hasil penelitian telah diketahui kualitas minyak nyamplung yang dihasilkan.

4. KESIMPULAN

Peserta pengabdian mendapatkan ilmu baru bagaimana potensi yang besar di sekitarnya bisa diproses dengan mudah menjadi minyak yang bisa digunakan sendiri maupun menjadi barang yang layak dijual secara luas. Secara umum masyarakat mudah apabila dibimbing dalam memberdayakan potensi yang ada di daerahnya. Melihat antusiasme peserta, perlu dilakukan kegiatan tindak lanjut untuk mengawal potensi ini hingga mampu membentuk masyarakat yang mandiri ekonomi dan energi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Desan Kebondalem Kecamatan Bangorejo Kabupaten Banyuwangi yang telah memberikan dukungan penuh dengan menyediakan tempat dan mengundang warga Desa Kebondalem untuk mengikuti acara ini.

DAFTAR PUSTAKA

Araujo, 2010. (2017). Инновационные подходы к обеспечению качества в здравоохраненииNo Title. *Вестник Росздравнадзора*, *6*, 5–9.

Banyuwangi, B. K. (2017). *Badan pusat statistik kabupaten banyuwangi*.

Bu K U Pe G a N G a N. (n.d.).

Handayani, S. S., Gunawan, E. R., Suhendra, D., Murniati, M., & Aditha, I. M. (2020). Karakterisasi Sifat Fisiko Kimia Minyak Nyamplung Sebagai Bahan Baku Sabun Padat Transparan. *Jurnal Pijar Mipa*, *15*(4), 411. https://doi.org/10.29303/jpm.v15i4.1328

Industri, F. T. (2015). *(Callophylum inophyllum) Dengan Proses Extraction Biodiesel Production from Nyamplung seed (CALLOPHYLUM INOPHYLLUM) using liquid-liquid extraction and process with cuttlefish shell's catalisyst*.

Prasetyawati, C. A., & Mangopang, A. D. (2013). Konservasi Kawasan Pesisir dengan Tanaman Nyamplung. *Jurnal Eboni*, *10*(1), 14–25. http://ejournal.forda-mof.org/ejournal-litbang/index.php/buleboni/article/view/5001

Rakhmawati, R., Artanti, A. N., & Afifah, N. (2019). Pengaruh Variasi Konsentrasi Tamanu Oil terhadap Uji Stabilitas Fisik Sediaan Body Lotion. *Annual Pharmacy Conference*, *4*(1), 53–65.

Rejeki, S., & Wahyuningsih, S. S. (2015). Formulasi Gel Tabir Surya Minyak Nyamplung (Tamanu Oil) Dan Uji Nilai SPF Secara In Vitro. *Jurnal Farmasi*, 97–103.

Vol. 2, No. 1 Januari 2022, Hal. 35-40
DOI: https://doi.org/10.54082/jamsi.154

Science, A., & Seminar, T. (2007). Future Biodiesel Research Asian Science and Technology Seminar. *Engineering and Technology*, *March*.

Susila, I. W. W. (2018). *Nyamplung Tanaman Multifungsi Potensi Sebaran Dan Manfaatnya Di Nusa Tenggara Barat Dan Bali*. 1–77.

PELUANG ENERGI TERBARUKAN DI INDUSTRI
Pemanfaatan Termal Surya Pada Proses pengeringan kayu

OPPORTUNITY OF RENEWABLE ENERGY IN INDUSTRY
Solar Thermal Utilization In The Wood Drying Process

Mawardi Silaban
Balai Besar Teknologi Energi (B2TE), BPPT
Kawasan PUSPIPTEK, Setu, Tangerang Selatan, Banten, 15314
E-mail : silaban90210@yahoo.com

Abstrak

Konsep perpindahan Massa dan panas dalam suatu sistem memberikan pendekatan mendasar untuk memperkirakan efisiensi termal sistem pengeringan kayu energi surya. Efisiensi termal sendiri didefinisikan sebagai rasio panas teoritis dan aktual yang diperlukan selama proses pengeringan. Perhitungan panas didasarkan pada jumlah energi yang diserap oleh sistem. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi termal yang dapat dicapai dengan sistem pengeringan kayu energi surya pada kondisi ini dijelaskan dalam makalah ini adalah 17,1% dengan rasio 25,2%.

Kata kunci : Pengeringan kayu, Efisiensi termal, Energi surya, Kolektor

Abstract

Mass and heat transfer concept in a system provide a fundamental approach for estimating thermal efficiency of solar energy wood drying system. The thermal efficiency itself is defined as ratio of theoretical and actual heat required during drying process. Heat calculation was based on amount of energy absorbed by the system. The calculation result showed that the thermal efficiency that could be achieved by this solar energy wood drying system at this condition described in this paper is 17.1% with the ratio of 25.2%.

Keywords : *Wood Dryer, Thermal Efficiency, Solar Energy, Collector*

Diterima (*received*) : 7 Januari 2013, Direvisi (*reviewed*) : 16 Januari 2013,
Disetujui (*accepted*) : 5 Pebruari 2013

PENDAHULUAN

Perpres No. 5/2006 yang dikeluarkan oleh pemerintah Indonesia ditujukan untuk mengantisipasi tantangan yang dihadapi Indonesia dalam rangka pemenuhan kebutuhan energi, dimana dalam Perpres tersebut salah satu penekanan adalah menempatkan energi terbarukan dalam formulasi *energy mix* untuk tahun 2025. Pemerintah telah menetapkan pada tahun 2025 nanti, penggunaan energi terbarukan telah mencapai 15% dari seluruh penggunaan energi nasional. Energi baru dan terbarukan lainnya seperti energi surya, tenaga angin, tenaga air dan yang lainnya lebih dari 5%, *biofuel* ditargetkan lebih dari 5%, panas bumi lebih dari 5%[1)].

Energi surya adalah energi yang bersih dan gratis. Energi surya yang dipancarkan ke bumi Indonesia selalu ada sepanjang tahun, diperkirakan potensi sinar surya yang jatuh di daratan Indonesia sebesar 0,9 x 10^8 kJ/Tahun. Untuk sebagian daerah di Jawa, Madura dan Indonesia bagian Timur banyaknya energi yang ditangkap dari matahari sekitar 3800 – 4570 Wh/m^2 per hari. Bertitik tolak dari hal tersebut, energi surya sebagai energi terbarukan sudah saatnya secara berkesinambungan diteliti dan dikembangkan pemanfaatannya.

Beberapa alat konversi energi surya telah dikembangkan, diantaranya dikenal sel surya (penyusun modul surya) untuk meghasilkan energi listrik, serta kolektor surya sebagai alat pengumpul panas surya.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dalam makalah ini pengembangan kolektor surya berbahan penyerap panas dari serat karbon, digunakan untuk proses pengeringan kayu di industri perkayuan, dimana pada siang hari panas yang dibutuhkan untuk proses pengeringan dibangkitkan dari kolektor, dan pada malam hari atau saat hujan atau mendung dengan menggunakan *boiler.* Teori perpindahan panas yang membahas proses perpindahan kalor selalu dikaitkan dengan massa dan sifat sistem yang sedang di tinjau, maka mekanisme demikian juga terjadi pada proses pengeringan suatu bahan. Pada penelitian ini, pemakaian energi pada proses pengeringan kayu di dalam ruang pengering, diperoleh dari kolektor, boiler dan energi listrik. Mekanisme pengeringannya terjadi karena adanya kontak langsung antara udara panas dengan permukaan kayu yang mempunyai suhu yang lebih rendah.

Menurut hukum kekekalan energi, seluruh kalor yang masuk ke ruang pengering dapat di pakai untuk menaikkan suhu kayu (bahan yang dikeringkan) dan menguapkan air yang dikandungnya, akan tetapi tidak semua panas yang tersedia dapat digunakan /diserap dengan sempurna oleh bahan. Dalam hal ini ada sejumlah panas yang hilang keluar dari sistem sehingga akan mengurangi efisiensi pengeringannya[2)].

Efisiensi dinyatakan sebagai perbandingan jumlah panas teoritis yang seharusnya digunakan untuk menaikkan suhu bahan (panas sensibel) serta menguapkan air (panas evaporasi) terhadap jumlah panas sesungguhnya yang dipakai selama operasi pengeringan berlangsung. Jumlah panas teoritis diperoleh dari perhitungan berdasarkan pada sifat bahan yang dikeringkan antara lain massa, kadar air awal dan akhir, panas jenis, dan suhu yang semuanya itu dikaitkan dengan kondisi pengeringan yang dipakai. Sedangkan jumlah energi sesungguhnya diperoleh dari hasil pengamatan yang besarnya di hitung dari energi yang masuk ke kolektor, energi dari bahan bakar yang diumpankan ke boiler dan energi listrik yang digunakan pada sistem.

BAHAN DAN METODE

Pengering Kayu Tenaga Surya

Secara garis besar pengering kayu tenaga surya terdiri dari 3 (tiga) bagian utama yaitu :

Kolektor

Bagian ini berfungsi untuk menyerap radiasi panas matahari yang jatuh di permukaan kolektor dan mengkonversikan-nya mejadi panas pada udara yang mengalir disekitarnya. Dengan bantuan fan tipe axial dengan laju aliran 350 m^3/min dan *static pressure* 15 mmAq pada putaran 1450 rpm, udara panas tersebut dialirkan ke ruang pengering.

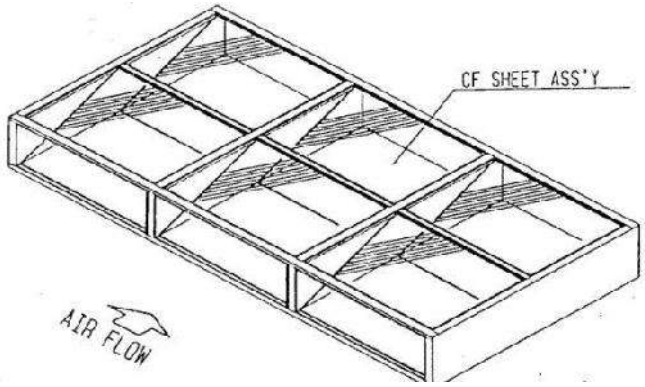
Struktur kolektor terdiri dari penutup bagian atas yang terbuat dari bahan kaca, penyerap panas di buat dari bahan serat karbon *(carbon fiber*), dan pada bagian bawahnya dilengkapi dengan sistem penahan panas. Bingkai terbuat dari besi galvanis . Jumlah kolektor yang digunakan sebanyak 32 unit, yang dirangkai sedemikian rupa menjadi empat baris dan tiap baris terdiri dari 8 unit. Luas kolektor seluruhnya 230,4 m^2. Kolektor dilengkapi dengan 2 (dua) unit *header* yang di pasang pada bagian kedua ujung kolektor. Kolektor yang digunakan dari jenis kolektor plat datar yang di pasang secara konstruktif menjadi satu dengan ruang pengering, potongan kolektor (a) gambar 3 dimensi dan (b) gambar melintang, dapat dilihat pada Gambar 1.

Ruang Pengering

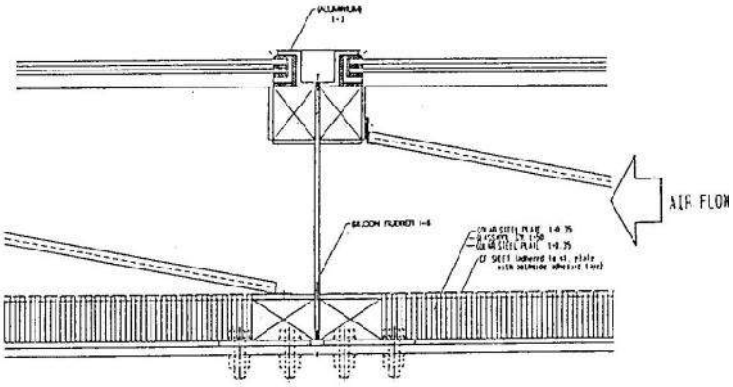
Ruang pengering berfungsi untuk tempat bahan (kayu) yang akan dikeringkan, yang mampu menampung kayu jenis papan/balok sebanyak 100 m^3. Ruang ini berbentuk kotak empat persegi panjang, sama dengan yang umum digunakan di industri pengeringan kayu. Pada bagian atas di dalam ruang pengering ditempatkan 8 unit fan sirkulasi dan 4 unit sistem penukar panas *(heat exchanger)*. Dan pada bagian belakang di pasang unit pengkondisi udara *(humidifier)* berbentuk sebuah pipa *(sprayer)*. Dinding ruang pengering terbuat dari beton, dan pada bagian dalamnya dilapisi dengan sistem penahan panas. Pintu utama di buat dari jenis pintu dorong di pasang di sepanjang ruang pengering, dan pintu kontrol dipasang pada bagian lebar ruang pengering. Seluruh pintu dilengkapi dengan sistem penahan panas.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN 1410-3680



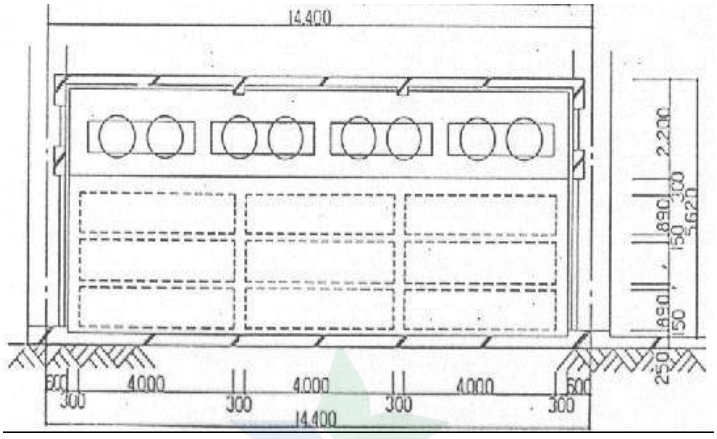
a potongan 3 dimensi



b potongan melintang

Gambar 1.
Potongan Kolektor Surya.

Ruang pengering dilengkapi dengan ventilasi yang terdiri dari dua saluran, dan keduanya dapat berfungsi sebagai saluran masuk *(intake)* dan saluran keluar *(exhaust)*. Fungsi ini dilakukan kedua saluran secara bergantian setiap dua jam, karena itu kedua saluran tersebut dilengkapi dengan kipas pembuangan *(exhaust fan).* Skema ruang pengering diperlihatkan pada Gambar 2.

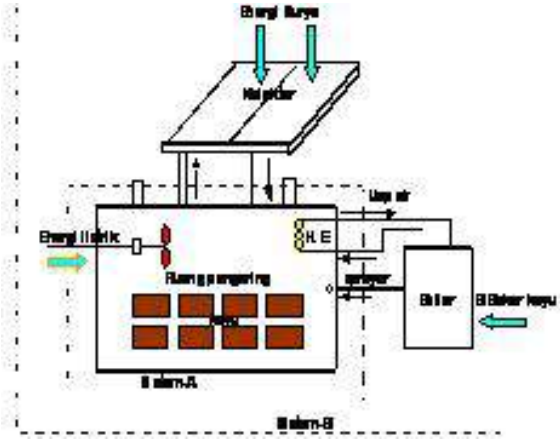


Gambar 2.
Skema Ruang Pengering

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Boiler

Boiler berfungsi sebagai pemasok energi panas ke ruang pengering apabila energi dari panas matahari tidak mencukupi, atau pada saat cuaca mendung/hujan dan pada malam hari. Uap panas yang dihasilkan dari boiler akan dialirkan keruang pengering dengan sistem perpipaan dan dilewatkan di dalam sistem penukar panas yang terletak di ruang pengering. *Boiler* yang di pakai menggunakan serbuk kayu/serpihan kayu sebagai bahan bakar. Skema pengering kayu tenaga surya diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3.
Skema Sistem Pengering Kayu Tenaga Surya

Kesetimbangan Energi Termal

Pada prinsipnya energi termal yang dibutuhkan untuk proses pengeringan digunakan untuk pemanasan bahan, pemanasan kandungan air bahan dan energi untuk menguapkan air dalam bahan yang besarnya adalah :

$$Q_r = m_k.cp_k(T_d - T_a) + w_i(T_d - T_a) + W_r.v_1 \ldots\ldots(1)$$

dengan m_k = massa kayu yang akan dikeringkan, cp_k = panas spesifik kayu, T_d = suhu pengeringan, T_a suhu rata-rata ambient, w_i kandungan air awal kayu, W_r jumlah air yang diuapkan dan v_l kalor penguapan air pada suhu T_d.

Pada saat proses pengeringan kayu di ruang pengering berlangsung, maka secara perlahan kelembaban udara di ruang pengering akan semakin meningkat yang disebabkan keluarnya air dari dalam kayu. Apabila tingkat kelembaban ini melewati dari yang ditentukan pada jadwal pengeringan (bagan pengeringan), maka udara jenuh tersebut akan di buang ke luar sistem melalui sebuah damper dengan bantuan kipas. Damper dibuat berpasangan, sehingga bila sebuah damper membuang udara jenuh maka pasangannya akan memasukkan udara segar. Pada saat pembukaan damper, akan terjadi rugi-rugi panas yang besarnya adalah[3]:

Q_x = (entalpi udara keluar) x (berat udara ke luar) - (entalpi udara masuk) x (berat udara masuk)

$$= \left[\left(\frac{7{,}536V_w}{V_x}\right)\left(0{,}24T_x + (597{,}3 + 0{,}441T_x)0{,}622\left(\frac{p_{sx}.R_x}{76000 - p_{sx}.R_x}\right)\right.\right. -$$

$$= \left[\left(\frac{7{,}536V_w}{V_t}\right)\left(0{,}24T_t + (597{,}3 + 0{,}441T_t)0{,}622\left(\frac{p_{sx}.R_t}{76000 - p_{sx}.R_t}\right)\right.\right. \quad (2)$$

dengan V_w kecepatan udara dalam *duct* (m/det), T_x temperatur udara keluar (^oC), p_{sx} tekanan parsial uap air udara keluar (mm Hg), R_x kelembaban udara keluar (%), V_x volume udara keluar (m^3/kg), V_t volume jenis udara masuk (m^3/kg), T_t temperatur udara masuk (^oC), p_{st} tekanan parsial uap air udara masuk (mm Hg), dan R_t kelembaban udara masuk (%).

Rugi-rugi panas lainnya adalah melalui dinding ruang pengering Qw (kcal/min) sebesar:

$$Q_w = (k_w.A_w + k_d.A_d + k_s.A_s).\frac{1}{60}(T_d - T_a) \ldots\ldots(3)$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN 1410-3680

dengan Aw = luas dinding (m^2), kw = koefisien hantaran panas dinding (kcal/m^2.jam ^oC), kd = koefisien hantaran panas pintu (kcal/jam ^oC), Ad = luas pintu (m^2), ks koefisien hantaran panas lantai (kcal/m^2.jam.^oC), As = luas lantai (m^2), T_d = temperatur pengeringan, dan T_a = temperatur ambient.
Berdasarkan hukum kekekalan energi, maka neraca panas menjadi :

$$Q_n = Q_r + Q_x + Q_w + Q_l \qquad (4)$$

dimana, Q_n = total energi masuk pada system-A

$$= \left(Q_c + Q_x + Q_f\right)$$

Q_l = panas tak-terukur

$$= \left(Q_n - Q_T - Q_x - Q_w\right)$$

dengan Q_l adalah panas tak terukur *(invisible heat).*

Dengan demikian efisiensi sistem-A adalah :

$$\eta_r = \frac{Q_r}{Q_n} x100\% \qquad (5)$$

Pada proses pengeringan kayu di ruang pengering (sistem-A), energi diperoleh dari panas yang dihasilkan kolektor, energi listrik dan energi uap panas dari ketel uap. Besarnya energi tersebut masing-masing di tulis dalam persamaan berikut[4)].

1. Energi panas yang dialirkan dari kolektor :

$$Q_c = \left(\frac{7{,}536V_w}{V_x}\right)\left(0{,}24 + \frac{0{,}274(p_s.R_l)}{76000 - (p_s.R_l)}\right)(T_o - T_l)x2.kcal/mt. \qquad (6)$$

dengan V_w kecepatan udara dalam duct (m/det), V_x rapat jenis udara (m^3/kg), p_s tekanan parsial uap saturasi masuk kolektor (mm Hg), R_l kelembaban udara masuk kolektor (%), T_0 temperatur udara keluar kolektor (^oC), T_l temperatur udara masuk kolektor (^oC).

2. Energi Listrik, Q_f (kcal/min) di pakai untuk menggerakkan kipas sirkulasi yang jumlah pemakaiannya di catat secara otomatis di kWh meter.

$$Q_f = (kWh)(860).kcal.....(7)$$

3. Energi uap panas, yang dialirkan melalui sistem penukar panas (heat exchanger) dan sprayer.
   Melalui sistem penukar panas :

Q_{sh} = m_u [(T_u - T_w) + 504,1] kcal

dengan m_u = banyaknya uap air yang dialirkan pada sistem penukar panas, T_u = temperatur uap air yang dialirkan, T_w = temperatur air keluar sistem penukar panas dan panas laten uap air pada tekanan 5 kg/cm^2 adalah 504,1 kcal/kg.

Melalui sprayer:

Q_s = m_s[(T_m + 504,1) - (0,441 T_d + 597,3)]

Sehingga jumlahnya menjadi :

Q_s = m_u [(T_u - T_w) + 504,1] +
m_s[(T_m + 504,1) - (0,441 T_d + 597,3)] (8)

Jika di tinjau dari keseluruhan sistem(sistem-B), maka kebutuhan energi untuk pengering kayu tenaga surya di pasok dari energi panas matahari, energi listrik dan energi dari hasil pembakaran bahan bakar di *boiler.* Besarnya masing-masing energi tersebut adalah :

1. Energi panas matahari Q_I (kcal),

$$Q_I = (I.A).860kcal \qquad (9)$$

dengan I adalah radiasi matahari (kWh/min), A luas kolektor (m^2)

2. Energi listrik Q_e merupakan konsumsi energi listrik total pada sistem pengering kayu dan termasuk pemakaian di unit *boiler.* Jumlah pemakaian di catat secara otomatis pada kWh meter.
3. Energi pembakaran bahan bakar di boiler Q_b (kcal),

$$Q_b = m.q \qquad (10)$$

dengan m adalah jumlah bahan bakar (kg), q nilai kalor bakar (kcal/kg).

Sehingga kebutuhan energi total pada sistem-B (Qg) adalah ;

$$Q_g = Q_I + Q_e + Q_b \qquad (11)$$

Dengan demikian efisiensi sistem-B adalah ;

$$\eta = \frac{Q_r}{Q_g} x100\%. \qquad (12)$$

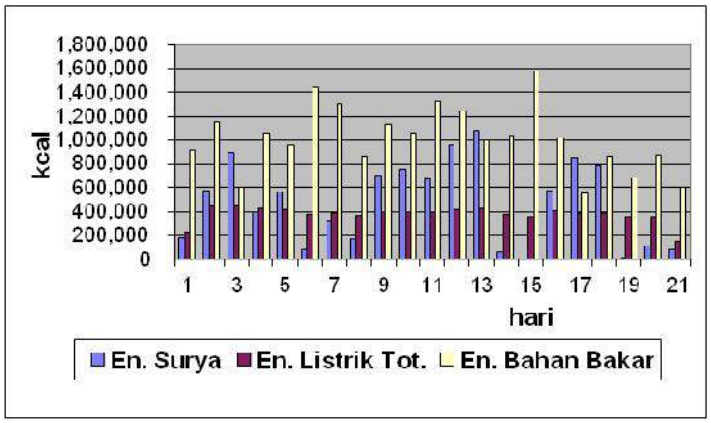
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dan rasio energi surya yaitu:

$$\eta_{iw} = \left[\frac{Q_i}{Q_g}\right] x100\% \qquad (13)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap pengering kayu tenaga surya, menunjukkan bahwa untuk mengeringkan kayu meranti dengan kapasitas 100 m^3 dari kandungan air awal rata-rata 28% menjadi kandungan akhir rata-rata 7%, membutuhkan waktu selama 21 hari. Dan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 1 jumlah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan kandungan air yang terdapat pada kayu tersebut sebesar 6.669.000 kcal. Energi tersebut diperoleh dari energi matahari, energi listrik dan energi bahan bakar. Energi Listrik digunakan untuk menggerakkan peralatan-peralatan mekanis seperti fan, sedangkan energi matahari dan energi bahan bakar digunakan untuk memanaskan udara pengering. Jumlah energi harian yang masuk ke sistem ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4.
Grafik Jumlah Energi Harian Yang Masuk Sistem Pengering

Berdasarkan Gambar 4 tersebut, terlihat bahwa energi listrik harian yang digunakan cenderung konstan, berbeda dengan energi surya dan energi bahan bakar yang selalu berfluktuasi. Hal ini terjadi karena peralatan-peralatan yang menggunakan energi listrik sejak proses pengeringan di mulai hingga pengeringan berakhir harus beroperasi secara terus menerus pada beban yang sama (seperti fan sirkulasi). Adanya perbedaan kebutuhan harian terjadi karena fan ventilasi beroperasi secara *intermiten* untuk setiap harinya.

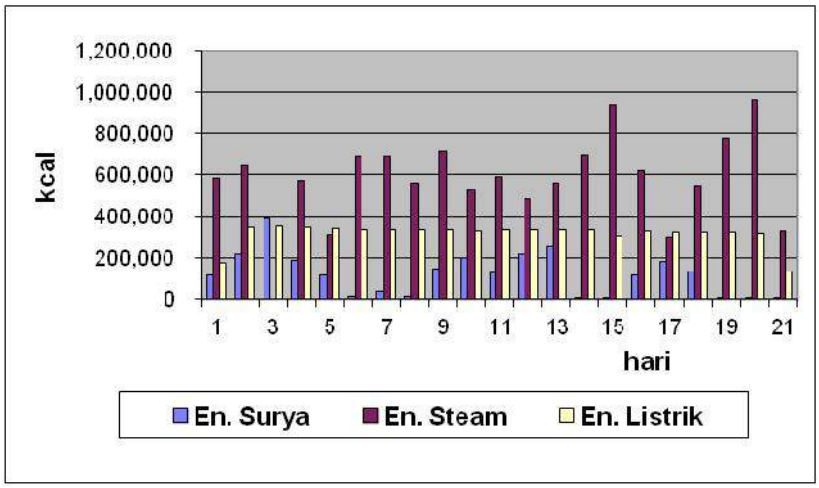
Bila diperhatikan terhadap konsumsi bahan bakar yang digunakan, terlihat bahwa pada saat pemakaian energi surya yang semakin meningkat, maka penggunaan bahan bakar cenderung menurun dan atau sebaliknya, bila pemakaian energi surya yang masuk kesistem menurun maka bahan bakar yang diperlukan di boiler semakin meningkat.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap proses pengeringan kayu meranti, jumlah energi surya yang masuk adalah (Qi) 9.812.649 kcal, energi listrik total 7.812.649 kcal dan energi bahan bakar 21.264.000 kcal. Dengan demikian efisiensi sistem pengering kayu tenaga surya (sistem-B) adalah 17,1 % dan rasio energi surya berguna adalah 25,2 %.

Penggunaan bahan bakar pada 5 hari sebelum akhir pengeringan menunjukkan kecenderungan semakin menurun, sementara pada tahap-tahap tersebut suhu udara pengering yang diinginkan semakin menigkat dan kelembaban semakin menurun sesuai dengan jadwal pengeringan/bagan pengeringan untuk jenis kayu meranti. Hal ini menggambarkan bahwa pada proses pengeringan kayu pada tahap tersebut akan semakin lambat atau proses difusi air dari dalam kayu menuju permukaan sudah semakin lambat, sehingga pengaruh terhadap naiknya kelembaban udara pengering sebagai akibat dari pembentukan uap air kayu tidak memberikan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan *setting point* pada bagan pengeringan. Dengan demikian frekwensi pembukaan atau pembuangan udara melalui damper akan semakin jarang (menurun) dibandingkan dengan hari-hari sebelumnya.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

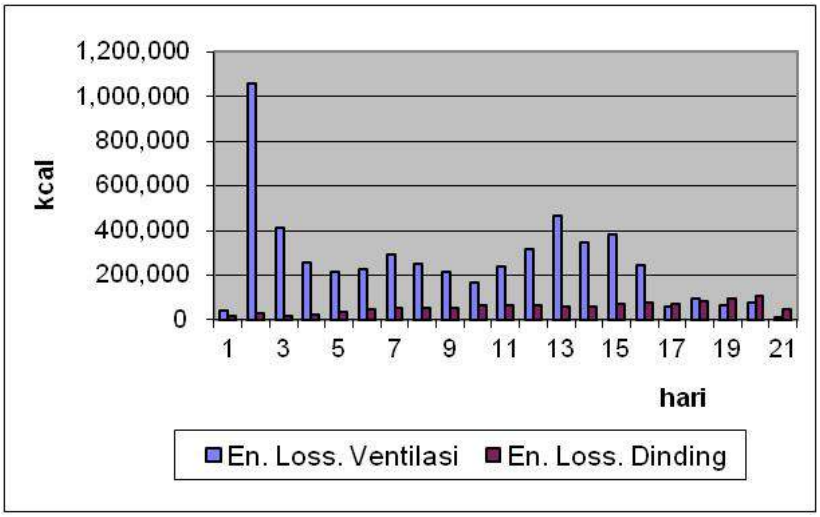
ISSN 1410-3680



Gambar 5.
Grafik Energi Berguna Pada Sistem Pengering.

Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan bahwa pemakaian energi berguna di ruang pengering mempunyai pola yang hampir sama dengan energi yang masuk ke sistem pengering. Dan dengan menggunakan persamaan 6, 7 dan 8 maka jumlah energi berguna di ruang pengering selama proses pengeringan berlangsung masing-masing adalah energi surya 2.495.818 kcal, energi uap panas 12.106.660 kcal, dan energi listrik 6.625.046 kcal. Sehingga energi yang masuk di ruang pengering selama proses pengeringan (sistem-A) sebesar 21.227.524 kcal. Atau efisiensi pengeringannya 31,4 %.

Berdasarkan pada bagan pengeringan, yaitu pengeringan untuk kayu meranti (ref. 3), proses pengeringan diawali dengan kondisi udara pengering pada suhu 50°C, kelembaban 90 % selama 24 jam, Selanjutnya secara bertahap suhu semakin meningkat dan kelembaban makin menurun, dan hingga pada akhir pengeringan suhunya menjadi 80°C, kelembaban 31 %.



Gambar 6.
Grafik Rugi-rugi Panas Pada Sistem Pengering

Dengan menggunakan bagan pengering seperti pada ref. 3 tersebut, rugi-rugi panas harian yang terjadi melalui dinding dari hari kehari berikutnya mempunyai kecenderungan semakin meningkat (lihat Gambar 6), sebagai fungsi dari kenaikan temperatur kerjanya (persamaan 3). Sementara rugi-rugi panas yang terjadi melalui ventilasi sangat berfluktuasi .

Pada awal pengeringan jumlah energi yang terbuang cukup besar, hal ini disebabkan oleh karena kandungan air kayu yang terdapat pada permukaan lebih mudah keluar meninggalkan kayu, sehingga

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mengakibatkan kelembaban disekitarnya akan meningkat[5,6]. Pada saat kondisi udara pengering melampaui kelembaban *setting point*, maka damper akan terbuka, dan udara lembab akan di buang melalui saluran pembuangan dengan bantuan kipas, dan pada saat yang sama udara segar akan ditarik melalui saluran pemasukan. Berdasarkan hasil perhitungan jumlah rugi-rugi panas yang terjadi melalui dinding selama proses pengeringan 1.190.774 kcal. Dan melalui ventilasi 5.439.602 kcal.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian terhadap pemanfaatan termal surya menunjukkan bahwa pengering kayu tenaga surya mampu mengeringkan kayu di industri perkayuan sesuai dengan bagan pengeringan dari jenis kayu yang di inginkan. Hal ini dapat memberikan salah satu peluang terhadap penggunaan energi terbarukan yang lebih luas di sektor industri. Karakteristik pengeringan kayu (bagan pengeringan) untuk berbagai jenis kayu selalu berbeda-beda, dan proses pengeringannya selalu disesuaikan dengan bagan pengering tersebut. Dengan demikian *setting point* yang terdapat pada bagan pengeringan merupakan kondisi operasional pola penggunaan energi pada proses pengeringan. Efisiensi sistem pengering kayu tenaga surya dipengaruhi oleh energi yang masuk ke sistem, sementara penggunaan energi di ruang pengering di atur berdasarkan pada jenis bagan pengeringannya. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh efisiensi sistem pengering kayu tenaga surya sebesar 17,1%, dan rasio energi surya sebesar 25,2%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan dari PT KBA Industri Manis, Tangerang dan dari ENAA Tokyo Japan atas bantuannya pada saat pengujian dilakukan serta kerja sama yang baik yang sudah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Duffie, A. J, Beckman, A. W., *Solar Energy Thermal Processes*, John Willey & Sons, New York, 1974.
2. Mulato,S., *Efisiensi Termal Rumah Asap, Perhitungan dan Masalahnya,* Jurnal Menara Perkebunan, Jakarta, 1987.
3. Mulato,S. Amir, E. J., Silaban, M. , Pass, T. and Muhlbawer, W., *Pemanfaatan Energi Matahari Untuk Pengeringan Buah Kelapa Dan Biji Kakao*, Pros. Seminar Nasional Pengeringan Komoditas Pertanian, Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian, Jakarta, Oktober 1990.
4. Santoso,B., (Pertimbangan Perbaikan Kualitas Kayu Memenuhi Standard Pasar Internasional), *(Proc. Workshop Solar Thermal Energy Utilization System Drying Technology)*, BPP Teknologi, Jakarta, 1995.
5. Yahya A., D., *Target Energi Mix Indonesia Tahun 2025,* Menurut Perpres No.5 Tahun 2006, Media Indonesia, hal..A3, Jakarta, November 2006.
6. ……,*Technology Development For Industrial Application of Solar System*, International Joint R&D Programme of Solar Thermal Energy Utilization System, ENAA- Tokyo Japan, March 1997.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN 1410-3680

Review

PEMANFAATAN BIOMASSA KAYU SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN

THE UTILIZATION OF WOOD BIOMASS AS A SOURCE RENEWABLE

Arhamsyah[*)]
[*)]***Peneliti Baristand Industri Banjarbaru***

ABSTRAK

Sejak lima tahun terakhir Indonesia mengalami penurunan produksi minyak nasional akibat menurunnya secara alamiah cadangan minyak pada sumur-sumur produksi. Untuk mengantisipasi hal tersebut salah satunya dengan cara memanfaatkan biomassa kayu sebagai sumber energi terbarukan. Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*suistainable*). Sebagai bahan bakar, biomassa perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar dapat lebih mudah dipergunakan yang dikenal sebagai konversi biomassa. Teknologi konversi biomassa tentu saja membutuhkan perbedaan pada alat yang digunakan untuk mengkonversi biomassa dan menghasilkan perbedaan bahan bakar. Beberapa teknologi konversi biomassa yang bisa diterapkan antara lain :biobriket, gasifikasi, pirolisa, liquifikation, biokimia dan karbonisasi. Metode yang paling baik untuk menghasilkan biomassa kayu adalah teknologi konversi gasifikasi.

Kata kunci : biomassa, kayu, konversi energi, gasifikasi

ABSTRACT

Since the last five years, Indonesia's national oil production had been decreased due to the declining oil reserves naturally in the production sources. For anticipation, wood biomass can be used as a source of renewable energy. The sources biomass energy have several advantage, such as a sources of renewable energy, so that can provide a sustainable source of energy.As fuels, biomass need to be processed fist in order to be used easily, know as biomass conversion. Technology of biomass conversion required a different tool to convert biomass and produce the different fuel. Several technology of biomass conversion that can be applied, such as biobriket, gasification, pirolysis, liquification, biochemical and carbonization. The best method to produce wood biomass is technology of gasification conversion.

Key word : *biomass, wood, energy conversion, gasification*

I. PENDAHULUAN

Menipisnya cadangan bahan bakar fosil dan meningkatnya populasi manusia sangat kontradiktif dengan kebutuhan energi bagi kelangsungan hidup manusia beserta aktivitas ekonomi dan sosialnya. Sejak lima tahun terakhir Indonesia mengalami penurunan produksi minyak nasional akibat menurunnya secara alamiah cadangan minyak pada sumur-sumur produksi. Padahal dengan pertambahan jumlah penduduk meningkat pula kebutuhan akan sarana transportasi dan aktivitas industri yang berakibat pada peningkatan kebutuhan dan konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM). Untuk memenuhi kebutuhan BBM tersebut, pemerintah mengimpor sebagian BBM. Melihat kondisi tersebut, pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional untuk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti BBM (Haryadi, 2009). Walaupun kebijakan tersebut menekankan penggunaan batu bara dan gas sebagai pengganti BBM, tetapi juga menetapkan sumber daya yang dapat diperbaharui seperti bahan bakar nabati sebagai alternatif pengganti BBM. Selain itu pemerintah juga telah memberikan perhatian serius untuk pengembangan bahan bakar nabati (*biofuel*) ini dengan menerbitkan Instruksi Presiden No 1 Tahun 2006 tanggal 25 Januari 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) sebagai bahan bakar lain (Wahyudi, 2009). Oleh karena itu eksplorasi dan eksploitasi terhadap sumber-sumber alternatif saat ini menjadi sebuah kebutuhan. Saat ini melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, pemerintah sedang gencar memasyaratkan penggunaan biofuel untuk penghematan energi dan penyelamatan lingkungan (BPPT, 2009).

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Pada umumnya yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya (Anonim, 2009). Di Indonesia kayu merupakan biomassa yang sudah lama dikenal oleh masyarakat dan merupakan sumber energi terbarukan. Menurut Maharjoeno (2005), potensi biomassa yang bersumber dari kayu antara lain : limbah penggergajian kayu, limbah plywood dan limbah logging. Selain ketersediaannya cukup banyak di Indonesia, biomassa kayu juga cenderung tidak menyebabkan dampak negatif pada lingkungan (Alkarami, 2007).

Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*suistainable*).



Ranting pohon



Limbah logging

Gambar 1. Beberapa bahan biomassa kayu yang sering kita jumpai

Tujuan dari penulisan ini adalah memberikan informasi singkat tentang biomassa dari kayu dan pengolahannya sebagai sumber energi terbarukan sehingga kita dapat mengembangkan Industri di Indonesia khususnya dalam rangka mengatasi krisis bahan bakar minyak.

II. BIOMASSA SEBAGAI SUMBER ENERGI

Sebelum mengenal bahan bakar fosil, manusia sudah menggunakan biomassa sebagai sumber energi, misalnya dengan menggunakan kayu untuk menyalakan api unggun. Sejak manusia beralih pada minyak, gas bumi atau batu bara untuk menghasilkan tenaga, penggunaaan biomassa tergeser dari kehidupan manusia (Welle, 2009). Namun penggunaan energi besar-besaran telah membuat manusia mengalami krisis energi. Hal ini disebabkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil seperti minyak

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

bumi dan gas alam yang sangat tinggi. Fosil merupakan sumber daya alam yang tidak terbarukan, sehingga mengatasi kritis energi masa depan perlu beberapa alternatif sumber energi dikembangkan dimana salah satunya adalah energi biomassa.

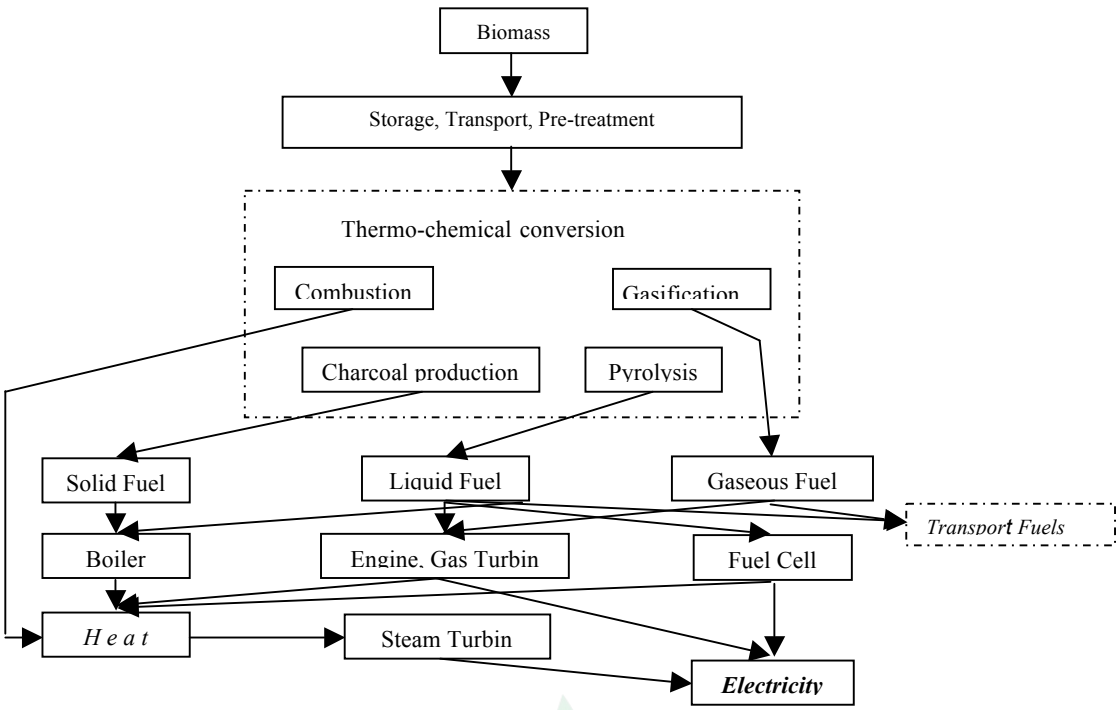
Secara umum bahan baku biomassa dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu pohon berkayu (*woody*) dan rumput-rumputan (*herbaceous*) . Saat ini material berkayu diperkirakan merupakan 50% dari total potensial bioenergi sedangkan 20% lainnya adalah jerami yang diperoleh dari hasil samping pertanian (Rohman, 2009).

Batang kayu merupakan contoh aplikasi biomassa untuk energi yang pertama kali dikenal. Bagaimanapun juga penggunaan batangan kayu untuk tujuan energi saat ini bersaing dengan penggunaan non-energi yang mempunyai nilai lebih seperti untuk produksi pulp, industri furniture, dan lain-lain sehingga menyebabkan tingginya harga bahan baku pengolahan biomassa menjadi senyawa turunan dari syinthesis gas (*Biomass To Liquid)* serta meningkatnya konsumsi terhadap pohon. Bahan baku berkayu yang dimaksud adalah bahan berkayu hasil sisa pengolahan kertas, furniture, dan lain-lain.

Sebagai bahan bakar, biomassa perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar dapat lebih mudah dipergunakan yang dikenal sebagai konversi biomassa. Teknologi konversi biomassa tentu saja membutuhkan perbedaan pada alat yang digunakan untuk mengkonversi biomassa dan menghasilkan perbedaan bahan bakar yang dihasilkan (Sulaiman, 2009).

Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu pembakaran langsung, konversi termokimia dan konversi biokimia. Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa telah dapat langsung dibakar.

Menurut Heriansyah (2005) mata rantai konversi biomassa menjadi energi panas, listrik dan bahan bakar kendaraan, dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Mata rantai konversi biomassa menjadi Energi Panas, Listrik dan bahan bakar kendaraan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Beberapa biomassa perlu dikeringkan terlebih dahulu dan didensifikasi untuk kepraktisan dalam penggunaan. Konversi termokimiawi merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar. Sedangkan konversi biokimiawi merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakar.

III. KONVERSI BIOMASSA

Sekarang ini panas hasil pembakaran akan dikonversi menjadi energi listrik melalui turbin dan generator. Panas hasil pembakaran biomassa akan menghasilkan uap dalam boiler, kemudian uap akan ditransfer kedalam turbin sehingga akan menghasilkan putaran dan menggerakan generator. Putaran dari turbin dikonversi menjadi energi listrik melalui magnet-magnet dalam generator. Pembakaran langsung terhadap biomassa memiliki kelemahan, sehingga pada penerapan saat ini mulai menerapkan beberapa teknologi untuk meningkatkan manfaat biomassa sebagai bahan bakar (Pambudi, 2008). Beberapa penerapan teknologi konversi yaitu :

1. Biobriket
   Briket adalah salah satu cara yang digunakan untuk mengkonversi sumber energi biomassa menjadi bentuk biomassa lain dengan cara dimampatkan sehingga bentuknya menjadi lebih teratur. Briket yang terkenal adalah briket batubara namun tidak hanya batubara saja yang biasa dibikin briket, biomassa lain seperti serbuk gergaji, serbuk kayu, dan limbah-limbah biomassa yang lainnya (Anonim, 2009).

2. Gasifikasi
   Gasifikasi adalah suatu proses konversi untuk merubah material baik cair maupun gas dengan menggunakan temperatur tinggi (Rohman, 2009). Proses gasifikasi menghasilkan produk bahan bakar cair yang bersih dan efisien dari pada pembakaran secara langsung, yaitu hidrogen dan karbon monoksida. Gas hasil dapat di bakar secara langsung pada internal combustion engine atau reaktor pembakaran. Melalui proses Fische-Tropsch gas hasil gasifikasi dapat di ekstrak menjadi methanol (Pambudi, 2008).
   Menurut Sulaiman (2009) gasifikasi merupakan salah satu alternatif dalam rangka program penghematan dan diversifikasi energi. Selain itu gasifikasi akan membantu mengatasi masalah penanganan dan pemanfaatan limbah dari hasil kayu.
   Menurut Rohman (2009) proses gasifikasi untuk material berkayu tidak mungkin dilakukan secara langsung, karena ukuran partikel yang terlalu besar atau terlalu berlainan, kandungan air dan kandungan kotoran-kotoran. Oleh karena itu biomassa berkayu memerlukan perlakuan pendahuluan dan transformasi menjadi bahan baku yang tepat untuk proses gasifikasi dan proses yang lebih lanjut, dimana bahan baku tersebut biasa berupa serpihan kayu, serbuk kayu atau dalam bentuk pellet. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Weir (2008). Kelebihan gasifikasi adalah gas lebih mudah dinyalakan, menimbulkan emisi lebih sedikit, nyala lebih mudah dikontrol dan untuk kebutuhan panas dan power/tenaga (Pang,2008).

3. Pirolisa
   Pirolisa atau biasa disebut thermolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa kehadiran oksigen. Proses ini sebenarnya bagian dari proses karbonisasi yaitu proses untuk memperoleh karbon atau arang, tetapi sebagian menyebut pada proses pirolisa merupakan *high temperature carbonization* (HTC), lebih dari 500°C (Pambudi, 2008). Proses pirolisis menghasilkan produk berupa bahan bakar padat yaitu karbon, cairan berupa campuran tar dan beberapa zat lainnya. Produk lain adalah gas

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

berupa karbon dioksida (CO2), metana (CH4) dan lain-lain.

4. Liquification
   Liquification merupakan proses perubahan wujud dari gas ke cairan dengan proses kondensasi, biasanya melalui pendinginan, atau perubahan dari padat ke cairan dengan peleburan, pemanasan atau penggilingan dan pencampuran dengan cairan lain untuk memutuskan ikatan. Pada bidang energi liquification terjadi pada batubara dan gas menjadi bentuk cairan untuk menghemat transportasi dan memudahkan dalam pemanfaatan (Anonim, 2009).

5. Biokimia
   Pemanfaatan energi biomassa yang lain adalah dengan cara proses biokimia. Contoh proses yang termasuk ke dalam proses biokimia adalah hidrolis, fermentasi dan an-aerobic digestion. An-aerobic digestion adalah penguraian bahan organik atau selulosa menjadi CH_4 dan gas lain melalui proses biokimia (Anonim, 2009).
   Selain anaerobic digestion, proses pembuatan etanol dari biomassa tergolong dalam konversi biokimiawi. Biomassa yang kaya dengan karbohidrat atau glukosa dapat difermentasi sehingga terurai menjadi etanol dan CO_2. Akan tetapi, karbohidrat harus mengalami penguraian (hidrolisa) terlebih dahulu menjadi glukosa. Etanol hasil fermentasi pada umumnya mempunyai kadar air yang tinggi dan tidak sesuai untuk pemanfaatannya sebagai bahan bakar pengganti bensin. Etanol ini harus didestilasi sedemikian rupa mencapai kadar etanol diatas 99,5%.

6. Karbonisasi
   Karbonisasi merupakan suatu proses untuk mengkonversi bahan orgranik menjadi arang . pada proses karbonisasi akan melepaskan zat yang mudah terbakar seperti CO, CH4, H2, formaldehid, methana, formik dan acetil acid serta zat yang tidak terbakar seperti CO2, H2O dan tar cair. Gas-gas yang dilepaskan pada proses ini mempunyai nilai kalor yang tinggi dan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan kalor pada proses karbonisasi (Pambudi, 2008).

IV. BEBERAPA PENGOLAHAN BIOMASSA KAYU UNTUK SUMBER ENERGI

Beberapa contoh hasil pengolahan biomassa dari kayu yang sering kita jumpai antara lain :

1. Biobriket
   Biobriket merupakan bahan bakar padat yang mengandung karbon, mempunyai nilai ekonomi yang tinggi dan dapat menyala dalam waktu yang lama. Biobriket ini merupakan arang yang diperoleh dengan membakar biomassa kering tanpa udara dan dimampatkan dengan bantuan perekat sehingga bentuknya menjadi lebih teratur. Dengan penggunaan biobriket sebagai bahan bakar maka kita dapat menghemat penggunaan kayu sebagai hasil utama dari hutan.Dengan memanfaatkan serbuk gergaji sebagai bahan pembuatan biobriket maka akan memanfaatkan limbah hasil hutan sekaligus mengurangi pencemaran udara, karena selama ini serbuk gergaji kayu yang ada hanya dibakar begitu saja (Anonim, 2008).

2. Briket Kayu
   Briket kayu merupakan serpihan atau serbuk kayu yang diubah bentuk, ukuran dan kerapatannya dengan cara pengempaan campuran serbuk kayu dengan bahan perekat mejadi produk yang lebih efisien dalam penggunaannya sebagai bahan bakar.

3. Arang Kayu
   Arang kayu adalah ssuatu bahan padat yang berpori-pori dan merupakan hasil pembakaran dari bahan berkayu yang mengandung unsur karbon (C) .Sebagian besar dari pori-porinya masih tertutup dengan hidrokarbon dan senyawa organik lain (Sudradjat, dkk, 2006). Komponen-komponennya terdiri

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dari fixed carbon, abu, air, nitrogen dan sulfur. Bentuknya berupa bongkahan-bongkahan berukuran kecil sekitar 5 – 10 cm dan berwarna hitam pekat.

Berdasarkan kenyataan tersebut, sangat jelas bahwa limbah kayu ini berpotensi untuk dimanfaatkan, tinggal dibutuhkan kerja keras, ketekunan dan kemauan untuk memanfaatkannya, sebab teknologinya sudah banyak tersedia. Di lain pihak, industri kita dan pemerintah harus cepat tanggap terhadap peluang ini jangan sampai didahului oleh industri asing. Dari pada terbuang sia-sia kenapa tidak dimanfaatkan?.

V. KESIMPULAN

1. Biomassa kayu dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan yaitu sumber energi yang dapat diperbaharui.
2. Sebagai bahan bakar, biomassa perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar dapat lebih mudah dipergunakan yang dikenal sebagai konversi biomassa. Teknologi konversi biomassa tentu saja membutuhkan perbedaan pada alat yang digunakan untuk mengkonversi biomassa dan menghasilkan perbedaan bahan bakar yang dihasilkan.
3. Beberapa teknologi konversi biomassa yang bisa diterapkan antara lain : biobriket, gasifikasi, pirolisa, liquification, biokimia dan karbonisasi. Teknologi konversi gasifikasi yang paling baik digunakan untuk biomassa kayu.
4. Dengan mengetahui tentang biomassa dari kayu dan pengolahannya sebagai sumber energi terbarukan maka kita dapat mengembangkan Industri di Indonesia khususnya dalam rangka mengatasi krisis bahan bakar minyak.

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. Alkarami, I. 2007. *Biomassa, Energi Masa Depan*. http://aksarabumi.org.
2. Anonim. 2009. *Biomassa Sebagai Sumber Energi*.http://wab.ipb.ac.id//-tepleta/ elearning/media/energi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
3. Anonim. 2008. *Pembuatan Briket Arang Arang Dari serbuk Gergaji.* http://arhiefstyleb7.word press.com/2008/04/10/pembuatan-briket-arang dari-serbuk-gergaji/
4. BPPT. 2009. *Pemanfaatan Energi Biomassa Sebagai Biofuel Konsep Energi Dengan Ketahanan Pangan. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi*. Jakarta
5. Haryadi, H. 2009. *Pengenalan Bahan Biomass.* Makalah Pelatihan Biomass Energi. Baristand Industri Surabaya. Surabaya.
6. Heriansyah, I. 2005. *Potensi Pengembangan Energi dari Biomassa Hutan di Indonesia*. http://io.ppi.Jepang/article.
7. Maharjoeno,E.2005. *Energi Alternatif Penggenti BBM: Potensi Limbah Biomassa Sawit Sebagai Sebagai Sumber Energi Terbarukan*. Lembaga Riset Perkebunan Indonesia. Jakarta.
8. Pambudi, NA. 2008. *Energi Alternatif itu Bernama Biomassa*.file:///G: biomassa/energy alternatif/bernama biomassaa/NetSains. Com.html.
9. Pang, S. 2008. *Overview of Up-To-Date Progresses and Challenges in Biomass Gasification.* Wood Technology Research Centre. Department of Chemical and Process Engineering. University of Canterbury. New Zeland.
10. Pramadono, B. 2007. *Pemberdayaan Energi Alternatif Berbasis Biomassa Sebagai Usaha Mengamankan Pasokan Energi Nasional.* Fakultas Teknik Kimia Universitas Diponegoro. Semarang.
11. Rochman,R. 2009. *Biomass To Liquid (kayu dan rerumputan).* Majari Magazine.http:majarimagazine.com/ 2009/02/biomasa-to-liquit-kayu-dan-rerumputan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

12. Rochman, R. 2009. *Gambut dan Gasifikasi Biomassa.* Majari Magazine.http:majarimagazine.com/2009/02/gambut-dan-gasifikasi-biomassa

13. Sudradjat, dkk. 2006. *Teknik Pembuatan dan Sifat Briket Arang dari tempurung dan Kayu Tanaman Jarak Pagar.* Jurnal Penelitian Hasil Hutan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Departemen Kehutanan. Bogor.

14. Sulaiman, S. 2009. *Biomassa Gasifikasi*. Makalah Pelatihan Biomass Energi. Baristand Industri Surabaya. Surabaya.

15. Wahyudi. 2009. *Kebijakan dan Program Konservasi Energi Nasional.* Makalah Pelatihan Biomass Energi. Baristand Industri Surabaya. Surabaya.

16. Welle, D.2008. *Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan*. Sain dan Teknologi. http:///www.dw-world.dw/article.

17. Weir, P. 2008. *Forestry & NZ'S Energy Future What will be Plantation Forests Contribution under NZ's Emmisions Trading Schreme?. Biomassa Gasification Technology & Biomass Energy Workshop.* Wood Technology Research Centre. Department of Chemical and Process Engineering. University of Canterbury. New Zeland.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Wave Volume 13 Nomor 2, Desember 2019: Hal: 61-68

PEMANFAATAN ENERGI TERBARUKAN SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK PADA DESAIN KAPAL WISATA DI KEPULAUAN RIAU

The Use of Renewable Energy as A Source of Electric Energy in Cruise Ship in Riau Islands

Sapto Wiratno Satoto[1] dan Danang Ariyanto[2]

[1]Politeknik Negeri Batam, Batam
[2]Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Surabaya

Email: sapto@polibatam.ac.id

Diterima: 5 Oktober 2019; Direvisi: 30 Oktober 2019; Disetujui: 5 Desember 2019

Abstrak

Energi terbarukan dan energi berkelanjutan adalah isu yang selalu dibahas dalam konferensi tingkat lokal dan dunia. Isu lingkungan tersebut diangkat guna menjaga bumi sebagai tempat tinggal ini terjaga dalam waktu yang lama. Penelitian ini bertujuan untuk menjawab tantangan dalam isu tersebut. Tujuan yang dicapai dalam penelitian ini yaitu melakukan pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber tenaga kapal wisata di Kepulauan Riau. Langkah penelitian yang dilakukan antara lain mempelajari penelitian mengenai bentuk kapal wisata yang pernah dilakukan, dilanjutkan dengan melakukan penyesuaian agar selaras dengan rencana penelitian yang disusun, menghitung daya listrik yang dibutuhkan oleh kapal wisata tersebut, kemudian menghitung jumlah keluaran daya yang dihasilkan dari alat pengumpul energi (sel surya) yang dipasang pada kapal. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa, terdapat perubahan bentuk dan fungsi dari atap kapal yaitu sebagai tempat diletakkannya sel surya juga sebagai tempat wisatawan menikmati pemandangan. Daya yang dibutuhkan oleh kapal sebesar kurang lebih 21.695 kWh tercukupi dengan energi yang bisa dikumpulkan yaitu sebesar 37.8 kWh. Dari penelitian ini diharapkan dapat dilakukan penelitian lanjutan untuk membuat prototipe kapal dengan energi yang bersumber dari energi terbarukan.

Kata kunci: energi terbarukan, sel surya, kapal wisata, Kepulauan Riau, wisata

Abstract

Renewable energy and sustainable energy are issues that are always discussed at local and world level conferences. The environmental issue was raised in order to protect the earth as a place to stay, for a long time. This research aims to answer the challenges in the issue. The goal achieved in this research is to use renewable energy as a source of tour boat power in the Riau Islands. The research started by reviewing the shape of the tour boat that had been carried out and then adjustments were made to align it with the research plan prepared. The next process were calculating the electrical power needed by the tour boat, then calculating the amount of power output generated from the energy collection devices (solar cells) installed on the ship. The conclusion of this research is, there is a change in the shape and function of the roof of the ship, which is the place where solar cells are placed as well as a place for tourists to enjoy the view. The power needed by the ship amounting to

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

approximately 21.695 kWh is sufficient with the energy that can be collected that is equal to 37.8 kWh. From this research it is hoped that further research can be done to make a prototype of the ship with energy sourced from renewable energy.

Keywords: *renewable energy, sustainable energy, tour boats, Riau Islands, tourism*

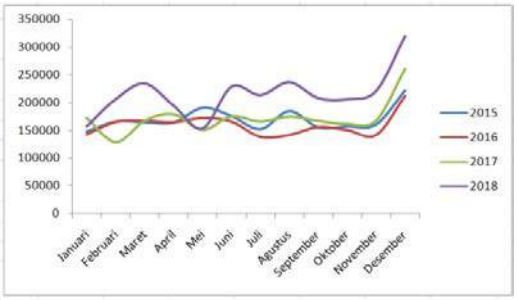
PENDAHULUAN

Kepulauan Riau adalah provinsi yang terdiri dari beberapa pulau besar dan banyak pulau kecil. Keberadaannya yang terletak berbatasan langsung dengan negara luar merupakan ancaman sekaligus memiliki potensi besar. Posisi menjadi ancaman karena perbatasan dengan daerah-daerah lain membuat banyak pengaruh eksternal yang baik dan buruk. Sedangkan salah satu potensi besarnya adalah potensi wisata dan pemandangan alam yang indah. Kekayaan alam dalam bentuk pemandangan tidak dimiliki oleh negara-negara yang berbatasan dengan Indonesia seperti Singapura dan Malaysia. Potensi yang ada dapat dimanfaatkan dengan menggunakannya secara bijak dan menjaganya dengan baik.

Wisatawan mancanegara yang berkunjung ke Batam memiliki beberapa alasan di antaranya ingin berbelanja dan menikmati budaya tradisional yang masih terjaga. Pemanfaatan energi terbarukan dapat diaplikasikan untuk mendukung fasilitas di atas selain untuk memasyarakatkan teknologi kepada masyarakat, memaksimalkan energi yang tersimpan dan memanfaatkannya untuk menghasilkan energi yang dapat memberikan keuntungan.

Faktor yang mampu menarik wisatawan ke Batam adalah fasilitas destinasi yang lengkap dan perbedaan kondisi ekonomi yang membuat harga barang di Batam lebih murah. Harga barang di Batam, meskipun biaya transportasi dari Batam ke Singapura telah ditambahkan, dalam beberapa barang harganya lebih murah. Kondisi alam di Kepulauan Riau yang masih jernih, ditambah dengan keunikan budaya yang juga menarik bagi wisatawan, meski tidak semuanya diproses dengan sempurna. Masyarakat Batam yang masih tradisional dan belum memanfaatkan teknologi secara menyeluruh membuat masyarakat masih sangat tergantung pada teknologi tersebut pada beberapa kondisi yang membuat terganggunya beberapa kegiatan.

Data pada Grafik 1 yang diperoleh dari Badan Statistik Batam menunjukkan bahwa ada peningkatan jumlah wisatawan yang mengunjungi Pulau Batam. Data ini dapat menjadi referensi untuk mengembangkan dan membangun fasilitas pariwisata di Batam. Fasilitas-fasilitas tersebut meliputi peralatan yang dapat digunakan untuk menikmati keindahan alam di sekitar Pulau Batam seperti perahu wisata. Kapal pariwisata biasanya ditenagai dengan mesin diesel yang dipasang di atasnya dan tidak ada sentuhan teknologi canggih atau mungkin teknologi biru (teknologi yang berasal dari pembangkit energi terbarukan). Dalam hal ini teknologi yang digunakan adalah sel surya atau biasa disebut dengan *photovoltaic* sebab teknologi sel surya ini membutuhkan bahan produksi yang mudah ditemukan yaitu sinar matahari. Dari permasalahan tersebut peneliti berupaya untuk mengembangkan penelitian ke arah pemanfaatannya berupa desain kapal wisata dengan menggunakan sumber tenaga terbarukan. Karena masalah ini, di sini para peneliti membuat tulisan tentang desain kapal wisata menggunakan teknologi biru, yaitu teknologi yang berasal dari energi terbarukan.



Grafik 1. Jumlah turis yang memasuki Kota Batam
(sumber: Badan Pusat Statistika Kota Batam, 2019)

TINJAUAN PUSTAKA

Perancangan kapal tenaga surya mengalami perkembangan setelah keinginan manusia untuk memanfaatkan energi terbarukan meningkat, dalam satu jurnal (Endro dkk., 2014) disebutkan bahwa:

- ✓ Jenis solar panel yang cocok dan paling efisien untuk kapal tenaga surya penyeberangan Sungai Bengawan Solo adalah menggunakan jenis *monocrystalic* karena memiliki efisien sebesar

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

± 20 persen;

- ✓ Kapal surya untuk penyeberangan Sungai Bengawan Solo ini dapat beroperasi menggunakan *solar cell* sebagai sumber energi listrik utama, dimana *solar cell* dapat menghasilkan energi listrik sebesar 15.36 kW. Sedangkan daya untuk motor listrik penggerak kapal pada *service speed* dalam hal ini adalah *break horse power* (BHP) sebesar 15.176 kW;
- ✓ *Service speed* yang dapat dihasilkan dengan daya 15.176 kW untuk kapal ini adalah 5 knot (Endro dkk., 2014).

Dari penelitian tersebut diketahui bahwa penggunaan sel surya sudah mulai direncanakan dan setelah dilakukan perhitungan, sesuai dengan kebutuhan energi yang dibutuhkan di dalam kapal. Di dalam perhitungan lain juga ditunjukkan bahwa perhitungan penggunaan biaya menunjukkan perbandingan biaya penggunaan antara *solar cell* dengan generator selama 20 tahun yaitu 1:4 (Zulkifli, 2013).

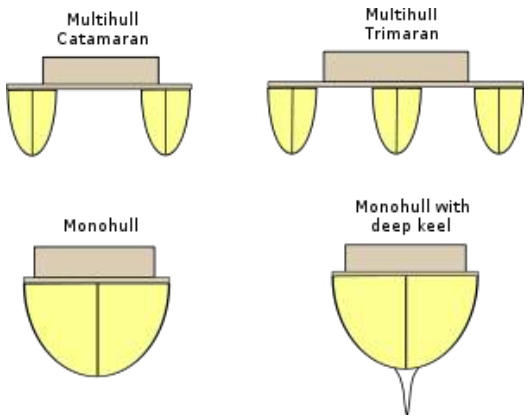
Penggunaan jenis kapal juga berpengaruh terhadap kebutuhan daya yang diperlukan di kapal. Bentuk kapal yang dimaksud adalah *monohull* maupun *multihull*. *Monohull* dapat diartikan bahwa kapal memiliki satu lambung yang digunakan. Keuntungan penggunaan satu lambung ini antara lain (Klaka, 2014):

- ✓ Hambatan yang lebih kecil;
- ✓ Kecepatan bisa lebih tinggi;
- ✓ Biaya pembuatan lebih murah.

Katamaran, *trimaran*, maupun *multihull* dapat diartikan bahwa kapal memiliki banyak lambung yang digunakan. Banyaknya lambung yang digunakan ini dapat memberikan keuntungan bagi pengguna kapal dengan banyak lambung. Keuntungan yang diperoleh dari karakter kapal dengan penggunaan banyak lambung ini antara lain (Riley, 2019):

- ✓ Stabilitas kapal lebih baik;
- ✓ Kapal tidak mudah terbalik;
- ✓ Banyak tempat atau ruangan yang bisa dimanfaatkan dikarenakan bangunan atas yang digunakan cenderung rata.

Gambar 1 merupakan gambar beberapa bentuk lambung kapal yang biasa digunakan di dalam industri perkapalan. Gambaran yang belum masuk pada Gambar 1 adalah bentuk lambung kapal lebih dari tiga lambung sebab sangat jarang sekali ditemui kapal dengan jumlah lambung lebih dari tiga.



Gambar 1. Bentuk lambung kapal (Anonim, 2019)

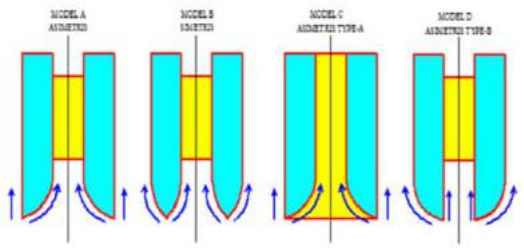
Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan lambung kapal katamaran dikarenakan lambung katamaran dianggap sesuai untuk menjawab kebutuhan dari lambung kapal wisata tersebut yaitu kapal yang memiliki stabilitas yang bagus dibandingkan dengan kapal *monohull* (Adietya dan Gustiarini, 2018). Kapal wisata yang didesain tersebut memerlukan lambung katamaran sebab:

- ✓ Membutuhkan tempat yang luas untuk orang berlalu-lalang;
- ✓ Membutuhkan stabilitas yang baik sebab mengangkut wisatawan dimana dimungkinkan banyak wisatawan yang tidak terbiasa menaiki kapal akan menyebabkan mabuk laut (mabuk karena gerakan kapal);
- ✓ Tidak membutuhkan kecepatan yang tinggi sebab kapal tersebut akan digunakan untuk berwisata melihat perairan di sekitar kapal tersebut beroperasi.

Beberapa penelitian sudah dilakukan terkait dengan kapal katamaran, antara lain kapal yang digunakan untuk SAR (*Search And Rescue*) (Hadi dkk., 2012). Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa pengujian bentuk lambung kapal tidak hanya dilakukan secara manual namun memerlukan beberapa perangkat lunak yang diperlukan untuk mendapatkan hasil yang lebih presisi. Tingkat presisi dalam membuat dan melakukan analisis sebuah model akan berpengaruh terhadap kapal yang akan dibuat sebab nilai tersebut akan menentukan kebutuhan penunjangnya. Dalam hal ini contohnya adalah perhitungan hambatan kapal akan sangat menentukan berapa daya mesin yang dibutuhkan agar kecepatan kapalnya dapat tercapai. Penelitian lain yang dilakukan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

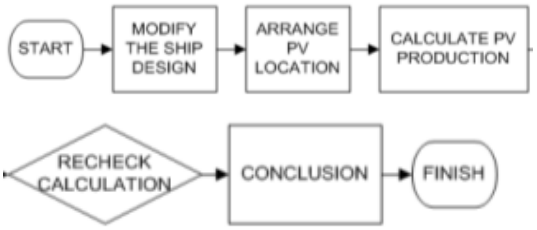
antara lain terkait kapal katamaran yang digunakan untuk wisata dan puskesmas (Manik dkk., 2012) dimana dari penelitian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa bentuk haluan lambung katamaran akan berpengaruh terhadap arah aliran fluida yang masuk ke dalam kapal sehingga akan berpengaruh terhadap besarnya hambatan kapal yang terjadi. Penjelasan mengenai hambatan dan arah aliran dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Bentuk Aliran Kapal Katamaran
(Manik dkk., 2012)

Dari Gambar 2 dapat dijelaskan bahwa model lambung katamaran memiliki pengaruh antara lambung satu dengan yang lain di dalam satu kapal. Pengaruh yang dapat dilihat antara lain bahwa arah aliran dari lambung lain akan mengganggu aliran fluida yang terjadi di bagian lambung sebelahnya (model A, B dan C). Untuk model D, tidak saling mengganggu dan arah aliran cenderung lurus searah dengan bentuk lambung kapal.

METODE PENELITIAN



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode komparatif dimana penelitian dilakukan dengan melakukan *review* terhadap kapal yang ada dan kemudian dari perhitungan diperoleh ukuran utama kapal yang antara lain terdiri dari panjang, lebar, tinggi serta data utama yang dikumpulkan dan kemudian diterapkan pada kapal yang sedang dibuat. Gambar 3 adalah gambar yang menunjukkan rencana kerja dan diagram alur yang dapat dijelaskan sebagai berikut: Modifikasi dilakukan untuk mendapatkan bentuk kapal baru yang lebih efektif dan efisien dari kapal yang ada. Dengan modifikasi ini, peralatan tambahan seperti *photovoltaic* (PV) dan peralatan pendukung lainnya dapat ditempatkan dan berfungsi. Tahap selanjutnya adalah memperkirakan lokasi sel surya yang akan digunakan. Setelah dilakukan perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sel surya, kemudian disesuaikan dengan kebutuhan daya kapal. Jika memenuhi kebutuhan yang direncanakan, maka akan dilanjutkan ke kesimpulan penelitian. Penelitian seperti ini pernah dilakukan namun dalam konteks yang berbeda serta aplikasi yang berbeda (Pamungkas dkk., 2016) dimana dalam penelitian ini dilakukan percobaan untuk pemasangan di atas kapal wisata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pertama adalah memodifikasi dan mengubah bentuk desain kapal yang ada. Desain awal kapal diperoleh dengan mencari data dan data bentuk kapal yang diperoleh dari kapal yang telah dioperasikan di Filipina di Sungai Loboc pada Gambar 4.



Gambar 4. Kapal wisata Loboc (Micolle, 2012)

Desain kapal wisata Pulau Petong pernah dibuat dan dibuat *prototype*. Kapal di desain dengan bentuk atap yang miring pada Gambar 5 dengan tujuan untuk mempermudah pembuatan dan pemasangan atap dibandingkan dengan desain kapal asli yang berbentuk melengkung (Sapto dkk., 2019).

Atap tersebut nantinya akan digunakan untuk pemasangan *solar cell* serta penambahan lokasi terbuka untuk menikmati pemandangan dari atas kapal sehingga wisatawan dapat menikmati pemandangan dengan lebih leluasa.

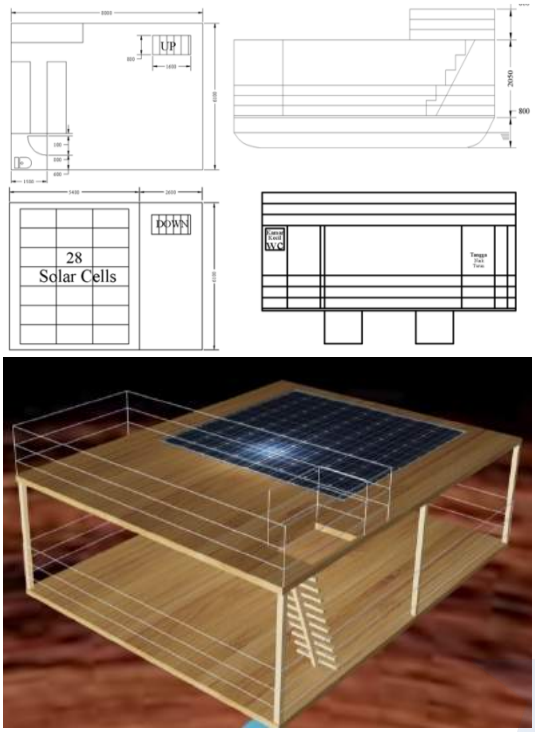
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 5. Desain awal prototipe kapal wisata

Dari bentuk awal kapal, dilakukan perubahan atap pada kapal wisata untuk mengakomodasi tujuan yang hendak dicapai. Proses desain ulang dilakukan dengan seksama dan dihasilkan ukuran ruang terbuka kapal yang dapat dimanfaatkan adalah sekitar 6100x5400 mm. Selain tempat untuk melihat pemandangan, modifikasi dilakukan untuk menempatkan sel surya sebagai pengumpul daya. Dari desain yang dibuat, ditemukan bahwa ada sekitar 28 sel surya yang bisa dipasang. Data ini didapatkan dengan membagi luas area atap dengan ukuran luas sel surya yang akan dipasang di atas kapal wisata.

Gambar 6 merupakan gambar mengenai desain kapal wisata dengan perubahan atap. Selain membuat

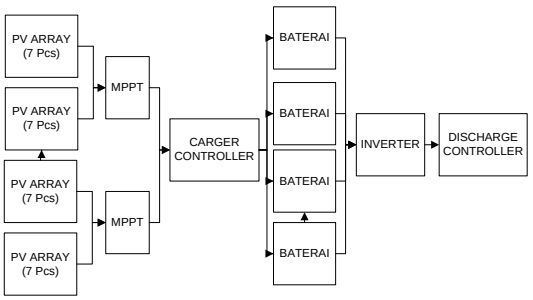


Gambar 6. 2D dan 3D desain kapal wisata

desain 2D dan 3D terdapat juga video untuk memperjelas desain di atas yang dapat dilihat pada alamat berikut https://youtu.be/09B8E4cuW2Q atau dapat dilakukan dengan melakukan *scan* pada *barcode* pada Gambar 7 berikut:



Gambar 7. *Barcode* video desain kapal



Gambar 8. Skema elektrik sistem kelistrikan kapal

Skema diagram elektrik pada Gambar 8 menunjukkan aliran pengumpulan energi yang diperoleh dari *solar cell* yang kemudian dilanjutkan ke MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) untuk kemudian dilanjutkan ke dalam *charger controller*. *Charger controller* tersebut berfungsi untuk media memasukkan daya yang terkumpul dari *solar cell* ke dalam baterai. Penggunaan *inverter* tersebut dapat digunakan sewaktu-waktu namun dengan penambahan alat *inverter* listrik. Arus yang tersimpan di dalam baterai merupakan arus searah (*direct current*) dan ketika akan dimanfaatkan, arus tersebut akan diubah menjadi arus bolak-balik (*alternating current*).

Tabel 1 merupakan tabel yang menunjukkan kebutuhan daya yang diperlukan di dalam kapal. Kebutuhan daya tersebut sepenuhnya akan dipenuhi dari daya listrik yang tersimpan di dalam baterai yang dihasilkan oleh *solar cell*. Ukuran utama kapal adalah 5400x6100 mm. Jika kita bandingkan ukuran utama kapal dengan ukuran *solar cell* kita dapat mengasumsikan bahwa luas efektif areanya adalah 36 m^2. Asumsi ini didapatkan dengan cara mengalikan panjang dan lebar atap kapal yang dapat dimanfaatkan sebagai tempat pemasangan *solar cell*. Dari luasan tersebut peneliti mengasumsikan akan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

menggunakan *solar cell* sebagai berikut: Sanyo's HIT Power 225 *solar cell* dengan ukuran 1.580×798×46 mm. Dengan maksimum voltase (Vmp) 43.4 V dan maksimal arus yang dihasilkan (Imp) 5.21.

Tabel 1. Kebutuhan daya di dalam kapal

Peralatan	Daya (Watt)	Jumlah (Packet)	Total Daya (Watt)
LED Lamp	30	4	120
Microwave	450	1	450
Sound System	1000	1	1000
Water Pump	125	1	125
Engine	10000	2	20000
		Total	**21695**

Output maksimalnya dapat menghasilkan (WPmax) 225 W dalam kondisi standar. Perhitungan yang dilakukan:

Total PV = total area atap : total area *solar cell;*
Total PV = 36 : 1.28 (matematika sederhana);
Total PV = 28 unit.

Perhitungan di atas merupakan perkiraan jumlah PV yang dapat dipasang dengan jalan membandingkan luasan area atap dengan estimasi jumlah PV terbanyak yang dapat dipasang (nilai luasan PV mendekati luasan atap kapal). Dari perhitungan, diperoleh perkiraan 28 modul yang dapat dipasang.

Untuk perhitungan daya dapat dilakukan dengan cara berikut: estimasi daya x total jumlah PV x total jam.

Total daya = 225x28x8 = 50400 Wh (50.4 kWh). Daya efektif yang bekerja dari 100% daya adalah 75% (Endro dkk., 2014) yang dapat digunakan, maka daya yang dapat dihasilkan adalah sekitar 37.8 kWh per hari.

Dari perhitungan sederhana yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kebutuhan tersebut masih dapat dipenuhi oleh baterai sehingga kapasitas baterai yang berada di dalam kapal mencukupi kebutuhan daya listrik kapal. Hasil tersebut didapatkan dari data bahwa hasil kebutuhan daya 21.695 kWh pada Tabel 1 dengan hasil daya 37.8 kWh.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa modifikasi bentuk badan kapal sudah dilakukan dan mencakup dua hal utama yang harus ada yaitu terkait dengan ruang terbuka untuk wisatawan serta ruang di atas kapal untuk pemasangan *solar cell*. Kemudian dapat disimpulkan juga bahwa daya listrik yang didapatkan dari *solar cell* yang terpasang di atas kapal dapat mengatasi kebutuhan daya listrik yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal (kebutuhan 21.695 kWh dengan hasil daya 37.8 kWh)

Untuk pemenuhan daya tersebut akan sangat tergantung dari jumlah baterai yang berada di dalam kapal. Jika jumlah baterai kapal banyak, maka daya yang dikumpulkan akan besar dan mampu mengatasi kekurangan yang ada. Namun kekurangannya, semakin banyak baterai maka akan semakin menambah berat badan kapal sehingga membutuhkan sebuah solusi lagi untuk mengatasi permasalahan tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya saya ucapkan kepada Allah SWT serta keluarga besar yang selalu mendoakan, tak lupa kepada BPPT yang telah memberikan kesempatan mengirimkan karya tulisan.

DAFTAR PUSTAKA

Adietya, B. A. dan Gustiarini, E. D. (2018). Judul Studi Perbandingan Performa Kapal Trimaran, Katamaran, dan Monohull sebagai Kapal Penyeberangan di Kepulauan Karimunjawa. KAPAL, Vol. 15(1):18–23.

Anonim. (2019). *Multihull*. Diakses pada 28 Agustus 2019. https://en.wikipedia.org/wiki/Multihull.

Badan Pusat Statistika Kota Batam. (2019). *Jumlah Wisatawan yang Datang per Bulan*. Diakses pada 28 Agustus 2019. https://batamkota.bps.go.id/site/resultTab.

Endro, C. P., Santoso, A. dan Arief, I. S. (2014). Perancangan Kapal Penumpang Tenaga Surya untuk Penyeberangan Sungai Bengawan Solo. *Jurnal Teknik Sistem Perkapalan,* Vol. 1(1): 1-6.

Hadi, E. S., Jokosisworo, S. dan Widyanto. (2012). Analisa Performa Hullform pada Pra Perancangan Speed Boat Katamaran untuk Search and Rescue (SAR) di Pantai Gunungkidul Yogyakarta Berbasis CFD. *KAPAL,* Vol. 9 (1): 6-13.

Klaka, Kim. (2014). *Catamaran V . Monohull : Myths , Perceptions and Reality*. Diakses pada 28 Agustus 2019. https://www.fsc.com.au/wp-content/uploads/2016/07/Catamaran20v20m

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

onohull.pdf.

Manik, P., Trimulyono, A. dan Wibowo, A. (2012). Studi Perancangan Kapal Katamaran Multifungsi Dikawasan Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. KAPAL, Vol. 9(1): 47-57.

Micolle, Joanne. (2012). *The Town of Loboc*. Diakses pada 28 Agustus 2019. https://micolle.wordpress.com/tag/loboc-river-cruise/.

Pamungkas, M. H. Y., Kurniawan, E. dan Ekaputri, C. (2016). Perancangan dan Implementasi Tenaga Surya sebagai Catu Daya pada Skuter Beroda Dua Seimbang Otomatis Universitas Telkom (*Design and Implementation of Solar Energy as Power Supply on Self Balanced Two-Wheeled Scooter*). *e-Proceeding of Engineering*, Vol. 3(2):1407–14015.

Riley, Chris. (2019). Monohull vs Multihull. Dikases pada 29 Agustus 2019. https://www.boatsafe.com/sailing-monohull-multihull/.

Satoto, S. W., Prasetyo, N. A. dan Saputra, H. (2019). Perbandingan Teknis Ukuran Utama dan Hambatan Kapal Pada Lambung Kapal Wisata Pulau Petong. *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan*, Vol. 1 (1): 20-26.

Zulkifli. (2013). Perencanaan Pemanfaatan Energi Surya sebagai Energi Alternatif untuk Kebutuhan Listrik pada KLM. PINISI 360 GRT. Prosiding Hasil Penelitian Fakultas Teknik UNHAS, Vol. 7: 1-10.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Halaman kosong

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PEMANFAATAN ENERGI TERBARUKAN UNTUK PERANCANGAN SISTEM *ROTARY DRYER* PADA TAHAP PENGERINGAN DAUN TEH HIJAU DI KULONPROGO

Evrita Lusiana Utari

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains & Teknologi Universitas Respati Yogyakarta
Jl. Laksda Adisucipto Km 6,3 Depok, Sleman, Yogyakarta 55281
E-mail : evrita_lusiana@yahoo.com

ABSTRACT

Indonesia receives solar energy with an average daily energy radiation per unit area per unit time of approximately 4.8 kilowatts / m2. Solar energy is one of the abundant, pollution-free, renewable energy sources and can be explored optimally. In the use of solar energy, it is necessary to develop a technology that is able to convert solar energy into the desired energy, namely electricity. The supply of electrical energy during the day can still be controlled by the solar cell, while at night it is controlled by a battery of 3600 mAH. This technology is known as solar cell or in the international world better known as solar cell or photovoltaic. Solar cell is a tool to convert solar energy into electrical energy. Photovoltaic is a technology that functions to convert or convert solar radiation into electrical energy directly. Single chip AT89S51 was used as a controller in the drying process electronically. It was an easier way to dry the clothes without having to wait for good weather. SHT sensors was used to detect room temperature and humidity in the dryer, push button switches were used as switches to determine the limits of temperature and humidity. Rotary dryer is a dryer which is shaped as a drum and rotates continuously which is heated by a heater. A rotary dryer consists of a rotating cylinder and is used to reduce or minimize moisture in the contents of the material and its handling is direct contact with the heat in the drying chamber. The design of the rotary dryer system for the drying process of tea leaves requires a setting temperature of 90^oC with a drying time of 15-25 minutes. The energy needed to supply power in the rotary dryer is 1000 WH.

Keywords : Solar Cell, Rotary Dryer, Photovoltaic.

1. PENDAHULUAN

Sumber energi listrik merupakan salah satu kebutuhan dasar dalam mendorong aktivitas kehidupan manusia. Untuk membentu peningkatan ekonomi masyarakat perlu adanya penunjang yaitu alat penerangan, fasilitas umum, keperluan rumah tangga dan keperluan industry. Pemingkatan daya listrik Indonesia mencapai 87% menurut Eko tahun 2015. Letak geografis Indonesia yang tidak semua daerah dapat terjangkau oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Tingkat ketergantungan akan sumber pembangkit listrik yang utamanya berasal dari bahan bakar fosil sehingga energi listrik makin lama akan habis. Untuk itu perlu adanya sumber energi terbarukan yang perlu dimanfaatkan dengan optimal yaitu tenaga surya, tenaga air,dan tenaga angin. Salah satu energi terbarukan yaitu sinar matahari tersebut sangat bagus dikarenakan letak geografis Indonesia yang berada didaerah khatulistiwa memiliki potensi penyinaran yang cukup memadai. Energi surya tersebiut dapat menyinari selama 12 jam per hari, untuk tiap tahunnya, dengan intensitas yang lumayan tinggi yaitu berkisar 4,8 kWH/m^2/hari.

Tingkat kebutuhan energi yang semakin tinggi inilah yang dibutuhkan untuk industri, komersial, domestik, pertanian, dan penggunaan transportasi. Dimana kebutuhan energi yang ada saat ini, sebagian besar terpenuhi oleh energi bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batubara dan gas alam. Sehingga tingkat persediaan energi yang ada saat ini semakin berkurang. Hal tersebutlah membutuhkan inovasi baru atau energi alternatife sebagai sumber daya yang tak terbatas, untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat di masa yang akan datang.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Solar Sel merupakan perangkat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan fotovoltaik. Solar Sel adalah teknologi energi yang bersifat langsung. Sumber energi listrik ini diciptakan dengan cara menerima cahaya langsung dari matahari dan memunculkan efek fotovoltaik.

Dalam perkembangannya pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia untuk menggantikan energi konvensional seperti pembangunan PLTU, PLTS dan PLTA yang menggantikan pembangkit listrik berasal dari bahan bakar minyak dan batu bara. PLTS salah satu energi yang relatif sangat sederhana dibandingkan dengan jenis pembangkit listrik lain atau konvensional, namun karena teknologi ini baru berkembang, prosesnya terlihat rumit dan asing. Tidak semua peralatan PLTS terdiri dari sistem dengan perangkat elektronik, sehingga pemasangannya bersifat plug and operate. Dalam memahami faktor penting dalam peralatan tersebut akan mempermudah dalam perencanaan suatu PLTS. Faktor - faktor yang harus direncanakan yaitu pola operasi PLTS dan terkoneksi atau tidaknya PLTS dengan jaringan listrik direncana lokasi (Cekdin,C. 2016). Faktor tersebut mempengaruhi pemilihan jenis dan kapasitas komponen utama yaitu modul surya (PV), inverter dan baterai (Djiteng, M. 2005). Tingkat kapasitas dari PLTS dinyatakan dengan kilowatt peak (kWp). Dimana kapasitas inverter dinyatakan dalam (kW) dan baterai dalam *Amperehour* (Ah) atau kWh

2. TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan penelitian (Asti, N, 2009) tentang Efek Perbedaan Teknik Pengeringan terhadap Kualitas, Fermentabilitas, dan Kecernaan Hay Daun Rami (Boehmeria nivea L Gaud). Dalam sistem pengeringannya dengan cara (*hay*) guna pengawetannya daun. Dalam teknik pengeringannya menggunakan matahari terbuka, rumah kaca, dan *oven*. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa perbedaan dalam proses pengeringan yang menyebabkan perbedaan pada kandungan nutrien *hay* daun rami. Proses pengeringan ini dengan intensitas cahaya matahari 14 jam pada RK dan 21 jam pada KM dapat menghasilkan *hay* dengan kandungan BK >86% atau KA 86% atau KA.

Pada hasil penelitian yang berjudul pengaruh suhu pengeringan dan ukuran potongan terhadap karakteristik teh kulit lidah buaya oleh (I wayan Agus dll) dalam penelitiannya lidah buaya yang merupakan bahan utama untuk pembuatan teh yang memiliki umur panen kurang lebih satu tahun, dan memiliki ukuran panjang ± 40 cm dan memiliki lebar ± 6 cm. Dalam proses pembuatan daun lidah buaya dikupas menggunakan pisau. Setelah dikupas, selanjutnya kulit lidah buaya direndam dengan larutan air garam (5%) selama 30 menit, kemudian dicuci hingga bersih dan dipotong menjadi 2 ukuran, yaitu yang memiliki luas 100 mm^3 dan 200 mm^3. Pada proses pengeringan yang dilakukan dengan *oven* pengering dengan 4 tingkatan suhu yang berbeda, yaitu 60°(±5°)°C ,70(±5°)°C, 80(±5°)°C, dan 90(±5°)°C sampai kadar airnya mencapai 8(±5)%.

Menurut penelitian yang berjudul *"Perbedaan Teknik Pengeringan terhadap Kandungan Nutrien Brachiaria humidicola, Gamal (Gliricidia sepium) dan Rumput Raja* (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum thypoides*)*"* oleh Sari N pada tahun 2012. Dalam penelitian ini memliki tujuan untuk mengevaluasi waktu dan teknik pengeringan yang efektif terhadap kandungan *nutrien* hijauan pakan *Brachiaria humidicola*, *Gamal* (*Gliricidia sepium*) dan rumput Raja (P. *purpureum* x P. *thypoides*). Hijauan pakan yang digunakan adalah *Brachiaria humidicola*, *Gamal* (*Gliricidia sepium*) dan rumput Raja (P. *purpureum* x P. *thypoides*) yang berasal dari Laboratorium Lapang Agrostologi. Dalam proses pengeringan yang dilakukan selama 7 jam hingga 21 jam dengan suhu 60 derajad. Untuk tingkat perubahan yang diamati berupa bobot kering, kehilangan bahan kering, bahan kering (BK), abu dan bahan organik (BO) serta protein kasar (PK). Hasil dari penelitian

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

menunjukkan perbedaan teknik pengeringan yang berpengaruh pada fisik dan kandungan nutrien hijauan pada pakan yang dihasilkan. Untuk perbedaan teknik pengeringan dengan memberikan pengaruh terhadap tingkat pengeringan hijau pakan yang telah dihasilkan.

Berdasarkan penelitian yang berjudul *prototype* pemanfaatan *solar cell* sebagai sumber energi pada sistem otomatisasi lampu penerangan taman oleh (W. Yossie, 2013). Dalam sistem perancangannya lampu penerangan taman otomatis terdiri memiliki beberapa komponen yaitu catu daya, *solar cell*, sistem minimum, lampu dan LCD. Dalam prinsip kerja dari lampu penerangan taman otomatis yang berfungsi untuk mendeteksi adanya tegangan yang dihasilkan *solar cell* dalam pengkonversian energi. Besar tegangan tersebut digunakan sebagai acuan untuk menyalakan atau mematikan lampu secara otomatis.

Menurut Faslucky pada tahun 2012, tingkat optimalisasi untuk keluaran tegangan dari *solar cell* menggunakan lensa pemfokus cahaya matahari. Hasil dari studi optimalisasi tegangan keluaran yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan lensa terhadap peningkatan nilai intensitas cahaya dan tegangan yang dihasilkan oleh *Sel Surya.* Sel Surya yang digunakan jenis *policrystal* dan *amorphous*. Dalam proses penelitian pengukuran nilai intensitas, tegangan dan arus listrik guna menghitung nilai daya dan efisiensi dari *sel surya.*

Menurut penelitian dari (Utari, 2017), tentang *induction heating* yang merupakan penggabungan antara teknologi *solar cell* dengan *induction heating* yang manfaatnya untuk pengolahan produksi teh. Pada alat dengan proses menginduksi *specimen* dari panas hingga mencapai titik kering mencapai 100ºC. Daya yang dibutuhkan untuk menyuplai pemanas sebesar 300 Watt.

Menurut penelitian dari Noviansyah pada tahun 2013, yang mengambil penelitian tentang pemanas induksi kapasitas 200 Watt Pada proses pemanasan induksi diperlukan suatu alat yang mampu menghasilkan energi listrik yang besar agar dapat menginduksi dengan titik cair dari specimen ini mencapai ± 660 ºC.

3. METODELOGI PENELITIAN

a. Pengambilan Data di Lokasi.
b. Mendesain Sistem Perancangan Alat.
c. Pemilihan Komponen Perancangan Alat.
d. Proses Perancangan Sistem Kendali Pada Alat *Rotary Dryer* dengan Sel Surya.
e. Analisis Hasil Pengujian Alat.

3.1. Dasar Teori

3.1.1. *Solar Cell*

Sel Surya adalah suatu perangkat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek Photovoltaic. Efek Photovoltaic merupakan suatu fenomena munculnya tegangan listrik karena adanya kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan saat mendapatkan energi cahaya. Sel Surya disebut juga dengan Sel Photovoltaic (PV). Efek Photovoltaic ini ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839.



Gambar 1. Struktur Dasar Sel Surya.
(https://teknikelektronika.com/pengertian-sel-surya-solar-cell-prinsip-kerja-sel-surya)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

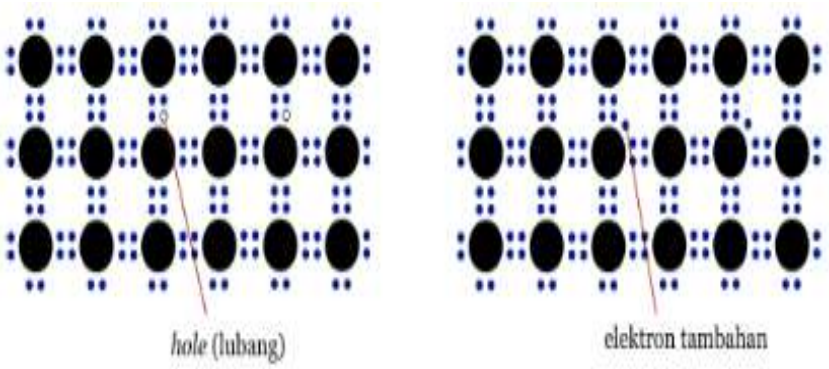
3.2. Prinsip Dasar Teknologi *Solar Cell*

Pada prinsipnya sinar matahari terdiri dari partikel sangat kecil yang disebut dengan foton. Ketika terkena sinar Matahari, foton yang merupakan partikel sinar Matahari meghantam atom semikonduktor silicon Sel Surya sehingga menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah memiliki muatan Negatif (-) akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Atom yang kehilangan Elektron tersebut akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan dengan "hole" dengan muatan Positif (+).

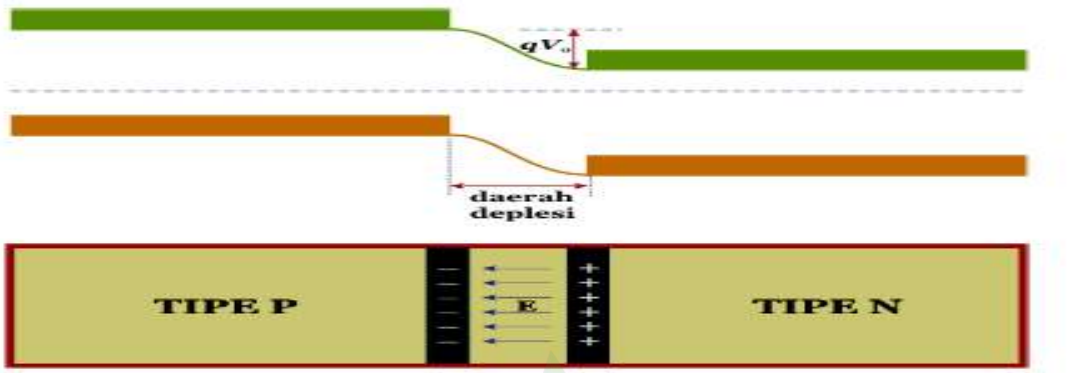
Daerah Semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif dan bertindak sebagai Pendonor elektron, daerah semikonduktor ini disebut dengan Semikonduktor tipe N (N-type). Proses tersebut dapat dilihat pada gambar 2.

3.3. Perancangan Rangkaian Seri dan Paralel Sel Surya (*Solar Cell*)

Dalam perancangannya Sel Surya dapat dirangkai secara Seri maupun Paralel. Pada umumnya, setiap Sel Surya menghasilkan Tegangan sebesar 0,45 ~ 0,5V dan arus listrik sebesar 0,1A pada saat menerima sinar cahaya yang terang. Sel Surya yang dirangkai secara Seri akan meningkatkan Tegangan (*Voltage*) sedangkan Sel Surya yang dirangkai secara Paralel akan meningkatkan Arus (*Current*).



Gambar 2. Semikonduktor Tipe-P (Kiri) dan Tipe-N (Kanan).
(Ady Iswanto, Staf Divisi Riset 102FM ITB, 2008)



Gambar 3. Diagram Energi Sambungan P-N Munculnya Daerah Deplesi
(Ady Iswanto, Staf Divisi Riset 102FM ITB, 2008)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

3.4. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)

Power Point Tracking yaitu sebuah alat yang memiliki sistem elektronik yang dioperasikan pada sebuah panel *photovoltaic* (PV). MPPT memiliki tegangan masukan baterai 12 volt hingga 48 volt. Tingkat efisiensi MPPT lebih baik dibandingkan PWM. Jenis MPPT digunakan untuk *Sel Surya* minimal 1000 WH sedangkan untuk daya dibawah 1000 WH dapat menggunakan PWM.

3.5. Inverter

Alat Inverter adalah Alat yang memiliki rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengkonversikan tegangan searah (DC) ke suatu tegangan bolak-balik (AC). Jenis – jenis inverter DC ke AC berdasarkan jumlah fasa *output* inverter dapat dibedakan dalam inverter 1 fasa, yaitu inverter dengan output 1 fasa dan Inverter 2 fasa, yaitu inverter dengan *output* 3 fasa.

3.6. Komponen Pemanas / Pengering

Komponen pemanas yang digunakan adalah jenis *Rotary dryer*. *Rotary dryer* atau bisa disebut *drum dryer* merupakan alat pengering yang berbentuk sebuah drum dan berputar secara kontinyu yang dipanaskan dengan tungku atau gasifier. Alat *rotary dryer* terdiri dari sebuah silinder yang berputar dan digunakan untuk mengurangi atau meminimalkan cairan kelembaban isi materi dan penanganannya ialah kontak langsung dengan gas panas di dalam ruang pengering.

Pada alat pengering *rotary dryer* terjadi dua jenis kontak yaitu kontak dengan bahan dengan dinding dan aliran uap panas yang masuk ke dalam drum. Pengeringan yang terjadi akibat kontak bahan dengan dinding disebut konduksi karena panas dialirkan melalui media yang berupa logam. Sedangkan pengeringan yang terjadi akibat kontak bahan dengan aliran uap disebut konveksi karena sumber panas merupakan bentuk aliran. (Mc.Cabe, 1985).



Gambar 4. Rangkaian Paralel dan Seri Sel Surya.
(https://teknikelektronika.com/pengertian-sel-surya-solar-cell-prinsip-kerja-sel-surya)



Gambar 5. MPPT

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

3.7. Jalannya / Alur Pikir Penelitian

Adapun tahapan dalam penelitian ini diilustrasikan pada gambar 7. Dalam gambar terlihat proses awal mdiambil dari pengambilan data dilokasi, pemilihan perancangan alat baik perancangan dari sumber dayanya ataupun dari perancangan sistem kendalinya. Selanjutnya dilakukan pengambilan data dari hasil pengujian alat.

3.8. Desain Perancangan Alat

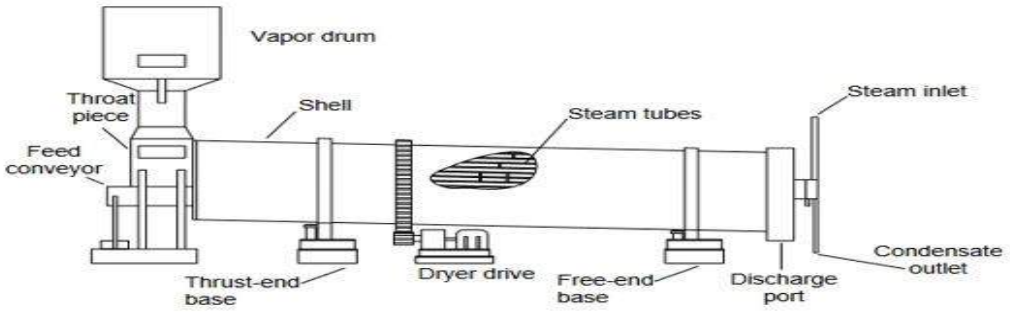
Desain perancangan alat menggunakan beberapa komponen dasar meliputi *Solar Cell*, MPPT, Aki, Inverter, Motor, Sistem Kendali, Temperatur, *Rotary Dryer*, dan LCD.

3.8.1. Perancangan SHT 11

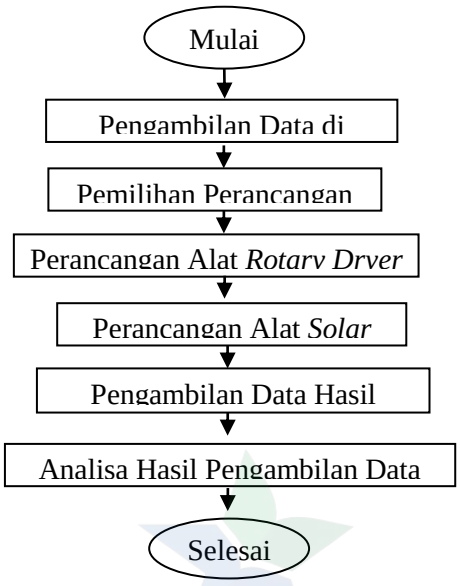
Sensor SHT11 memiliki 4 *pin* yaitu GND, Vdd (5V), DATA, SCK (*Clock*). *Pin Ground* pada kaki 1 dihubungkan dengan *ground* pada mikrokontroler, sedangkan pada DATA yang ada pada kaki 2 dihubungkan pada kaki P3.0 dan pada kaki 3 yang merupakan *Clock* dihubungkan pada kaki P3.1. Untuk kaki 4 sebagai VDD untuk sumber arus yamg dialirkan pada SHT11. Dapat dilihat pada gambar 10.

3.8.2. Perancangan Rangkaian Mikrokontroller

Dalam perancangan rangkaian Mikrokontroler seri AT89S51 menggunakan konfigurasi pin mikrokontroler Pin RST. RST ini berfungsi sebagai masukan untuk melakukan reset terhadap mikro. Pin XTAL 1 dan XTAL 2 merupakan pin masukan untuk kristal osilator. Perancangan mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 6. *Rotary Dryer*.



Gambar 7. Bagan Alur Penelitian.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

3.8.3. Perancangan Sistem Kendali

Pada perancangan sistem kendali terdapat pada gambar 9.

3.8.4. Rangkaian *Push Button*

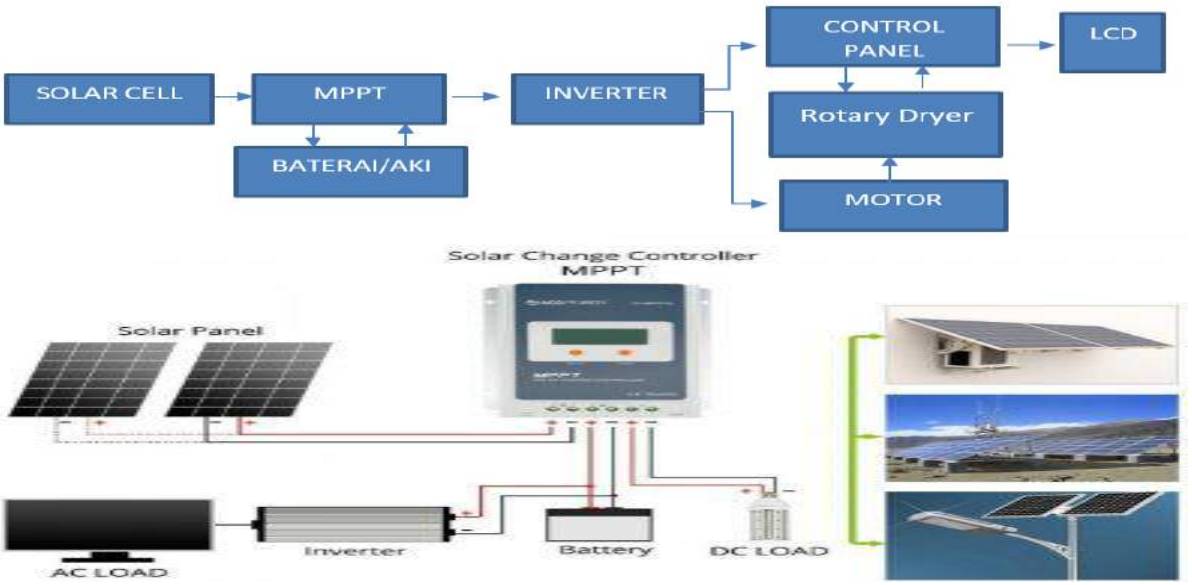
Pada rangkaian *Push Button* memiliki 3 saklar, yang mana saklar bertindak sebagai saklar program. Saklar pertama sebagai UP digunakan untuk menaikkan suhu dan kelembaban, saklar kedua sebagai DOWN untuk menurunkan suhu dan kelembaban, dan saklar yang dipilih sebagai SELECT digunakan untuk memilih tampilan. Rangkaian tersebut ditunjukkan pada gambar 12.

3.8.5. Rangkaian Kipas

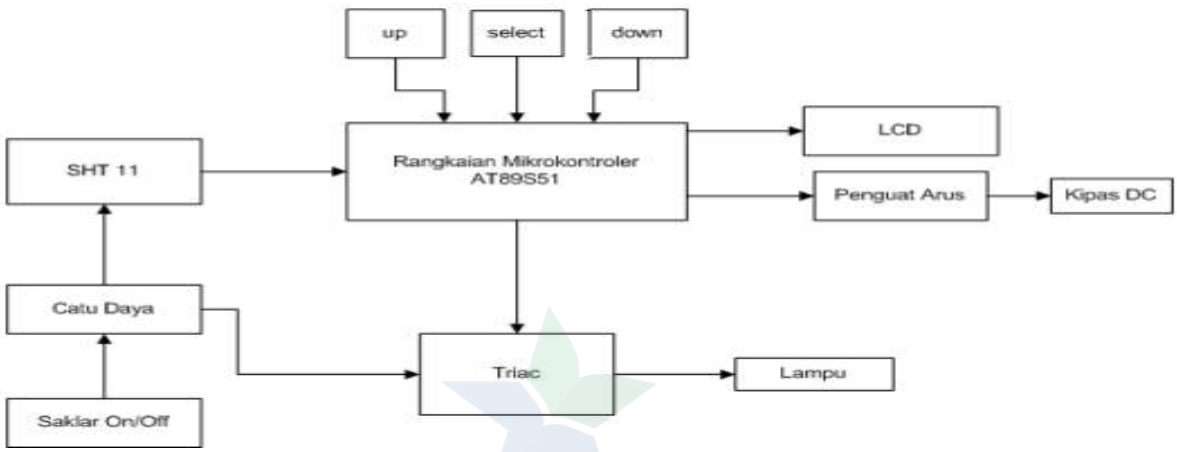
Pada perancangan rangkaian kipas berfungsi untuk memperluas sebaran panas yang dihasilkan oleh pemanas. Rangkaian kipas terhubung langsung penguat dan selanjutkan dihubungkan dengan mikrokontroler. gambar 13 menunjukkan rangkaian kipas.

3.8.6. Rangkaian LCD

Rangkaian LCD berfungsi sebagai indicator penampil untuk hasil dari proses yang berbentuk text. Perancangan pada LCD dengan ukuran 2x16. Dimana data yang rangkaian LCD terhubung dengan rangkaian mikrokokontroler yang dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 8. Desain Perancangan Alat.



Gambar 9. Desain Sistem Kendali.

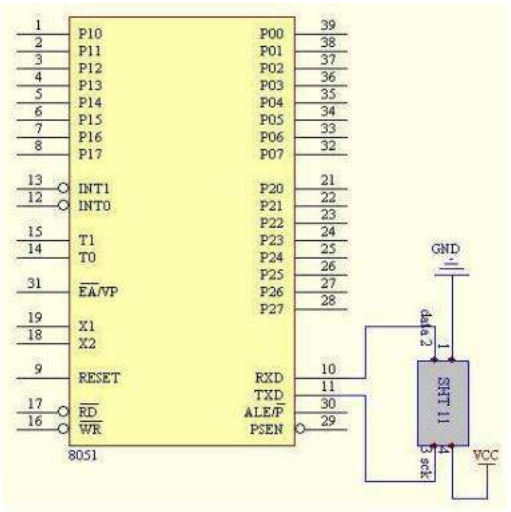
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1. Analisa Hasil Perancangan Alat

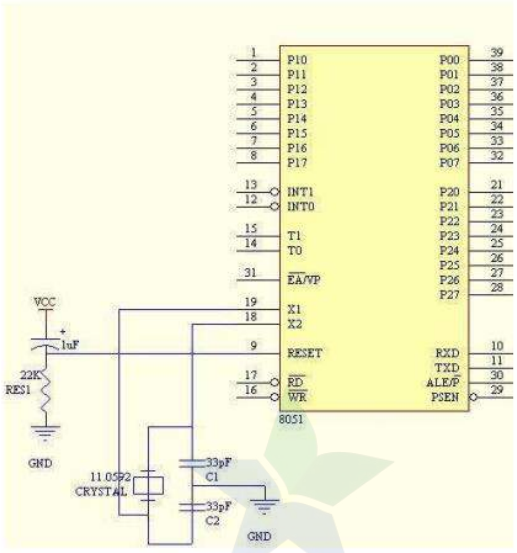
No	Tegangan Aki (V)	∑ Aki Seri (Buah)	Arus (A)	Daya Aki (WH)	Solar Panel (Watt)	Estimasi Max Pemakaian Waktu (Jam)
1	12	8	7,2	691,2	250	3
2	12	12	7.2	1036,8	500	5
3	12	16	7,2	1382,4	500	6

Tabel 2. Analisa Hasil Uji Pemanas

No	Panas Matahari					Alat Pengering				
1	35	43	29	53	24	22	21	23	21	21
2	55	57	49	72	47	37	34	38	34	40
3	91	92	95	87	75	56	44	54	65	56



Gambar 10. Rangkaian SHT 11.



Gambar 11. Rangkaian Mikrokontroler.

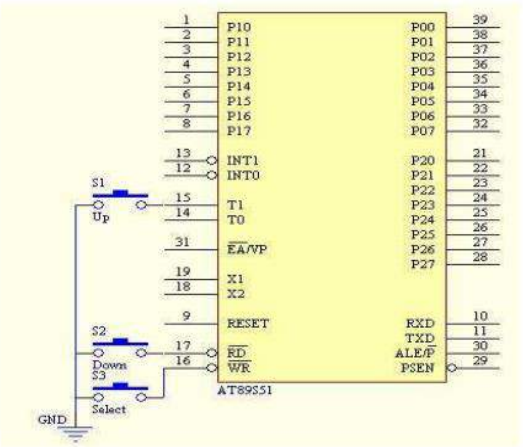
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

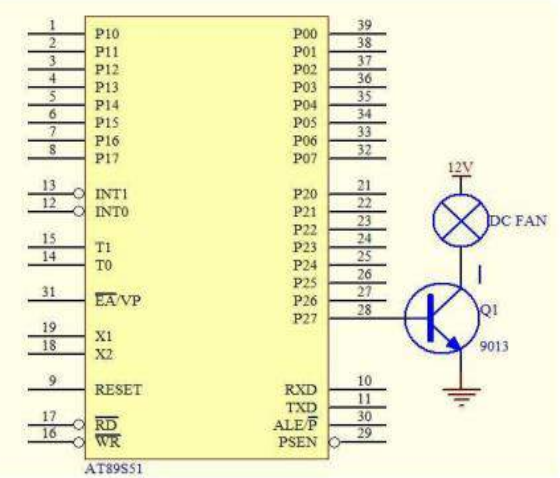
4.1. Pengolahan Data

Pada analisa data yang dilakukan adalah dengan menghitung tingkat kebutuhan daya yang dikeluarkan oleh Sel Surya yang tersimpan dalam baterai / Aki yang akan digunakan untuk menjalankan peralatan lainnya melalui proses inverter untuk komponen yang menggunakan tegangan AC sedangkan untuk DC langsung diambil melalui baterai.

Data hasil pemanasan diambil dari daya yang dihasilkan oleh Sel Surya. Dalam prosesnya melakukan uji pada proses kendali memasukkan nilai dari suhu yang diinginkan. Selanjutnya pemanas mulai bekerja. Setelah pemanas bekerja kipas mulai berputar agar suhu panasnya bias merata.

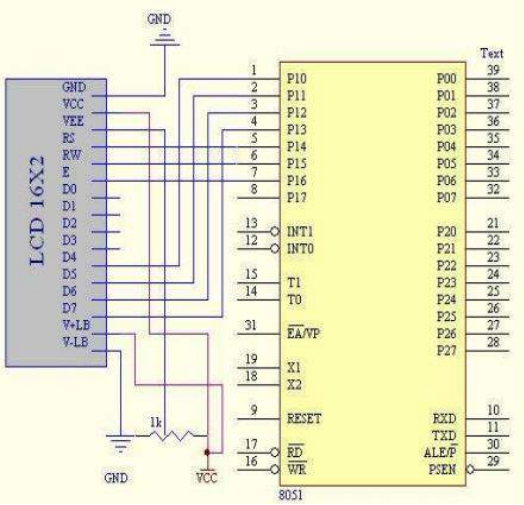


Gambar 12. Rangkaian *Push Button*.

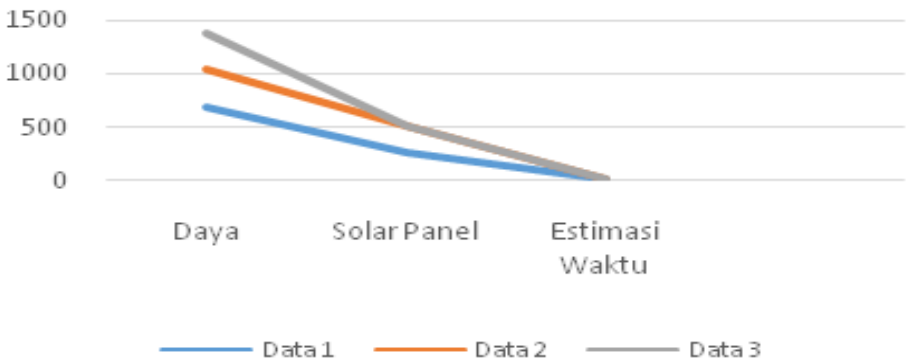


Gambar 13. Rangkaian Kipas.

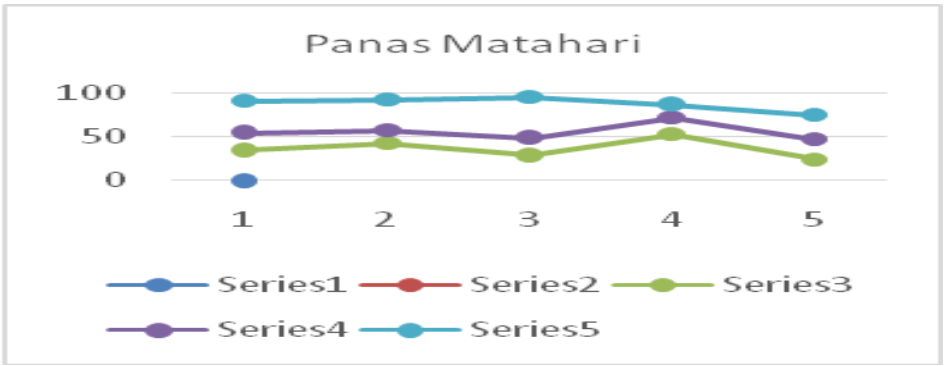
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



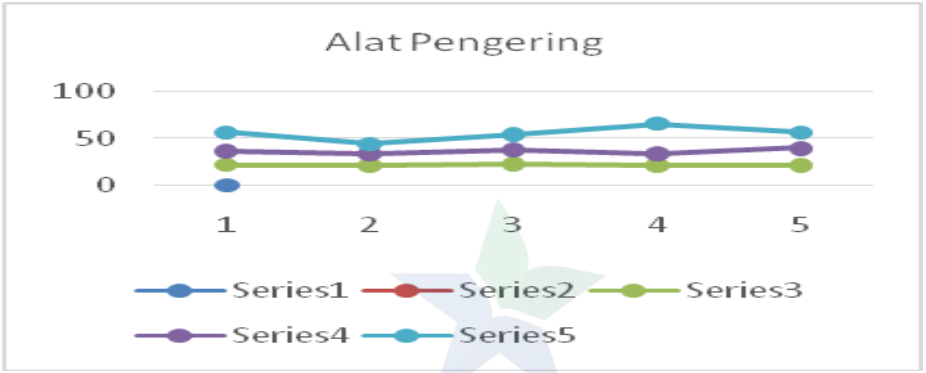
Gambar 14. Rangkaian LCD.



Gambar 15. Grafik Analisa Hasil Perancangan.



Gambar 16. Grafik Panas Matahari.



Gambar 17. Grafik Alat Pengering.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

5. KESIMPULAN

1. Komponen pemanas yang digunakan adalah jenis *Rotary dryer*. *Rotary dryer* atau bisa disebut *drum dryer* merupakan alat pengering yang berbentuk sebuah drum dan berputar secara kontinyu yang dipanaskan dengan tungku atau gasifier. Alat *rotary dryer* terdiri dari sebuah silinder yang berputar dan digunakan untuk mengurangi atau meminimalkan cairan kelembaban isi materi dan penanganannya ialah kontak langsung dengan gas panas di dalam ruang pengering. Perancangan sistem *rotary dryer* untuk proses pengeringan daun teh, dibutuhkan suhu pengaturan 90°C dengan waktu pengeringan 15 – 25 menit. Energi yang dibutuhkan untuk mensupply daya pada *rotary dryer* sebesar 1000 WH.
2. Dari hasil Analisa perancangan alat bergantung dengan tingkat kebutuhan Daya pada pemanas untuk sangrai daun teh. Suhu yang dibutuhkan antara 80 sampai dengan 100 derajad Celcius. Lama waktu pemanasan dibutuhkan kira-kira dalam waktu 3 jam.
3. Desain perancangan alat menggunakan beberapa komponen dasar meliputi *Solar Cell*, MPPT, Aki, Inverter, Motor, Sistem Kendali, Temperatur, dan *Rotary Dryer*. Dimana untuk sistem menggunakan komponen Sensor SHT 11, Mikrokontroler, kipas dan LCD.

DAFTAR PUSTAKA

Agus, Wayan I, *Pengaruh Suhu Pengeringan dan Ukuran Potongan terhadap Karakteristik Teh Kulit Lidah Buaya*, Universitas Udayana, Bali.

Asti, A., *Efek Perbedaan Teknik Pengeringan terhadap Kualitas, Fermentabilitas, dan Kecernaan Hay Daun Rami (Boehmeria nivea L Gaud)*. Skripsi. Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan. Fakultas Peternakan. Institut Pertanian Bogor., 2009.

Cekdin,C., *Teori Singkat Teknik Elektro.* Penerbit Andi Yogyakarta., 2016.

D.Q,Kern , *Process Heat Transfer,* International Student Edition ,M.C, Graw-Hill, International.

Djiteng, M., *Pembangkit Energi Listrik*. Penerbit Erlangga. Jakarta., 2005.

Faslucky., *Optimalisasi Tegangan Keluaran dari Solar Cell Menggunakan Lensa Pemfokus Cahaya Matahari*. Malang., 2012.

Grainger, dkk., *Power System Analysis*, Mc.Graw-Hill., 1994.

Holman, JP. *Mcgraw-Hill series in Mechanical Engineering,* Includes index. ISBN 978–0–07–352936–3—ISBN 0–07–352936–2.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Iswanto, Ady., *Bahan Silikon Semikonduktor Tipe P dan Tipe N*, Institut Teknologi Bandung., 2008.

Marpuah, Dwi., Pembuatan Prototipe Alat Pengering Pakaian Berbasis Mikrokontroler At89s51, Prodi D3 Ilmu Komputer, Universitas Sebelas Maret., 2010.

Mc.Cabe., *Perpindahan Panas Konveksi*, Departemen Teknik Kimia ITB., 1985.

Mentary, Dyan., *Prinsip Kerja Freeze Dryer*, Politeknik Sriwijaya, Palembang., 2015.

Novinasyah, R., *Pemanas Induksi (Induction Heating) Kapasitas 200 Watt*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Gunadarma., 2012.

Nurmala. S., *Perbedaan Teknik Pengeringan terhadap Kandungan Nutrien Brachiaria humidicola, Gamal (Gliricidia sepium) dan Rumput Raja (Pennisetum purpureum x Pennisetum thypoides).* Skripsi. Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, Institut Pertanian Bogor., 2012.

Owen, Bishop., *Understand Electronic*. Newnes, Oxford., 2004.

Purnomo & Hari M., *Konsep Dasar Teknik Elektronika Kelistrikan.* Penerbit Alfabeta. Bandung., 2014.

Putra S, dkk., *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Mandiri Untuk Rumah Tinggal.* Prosiding Seminar Naional Cendekiawan. Universitas Trisakti. Jakarta., 2016.

Ramadhan SG, dkk., *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti*. Prosiding Seminar Nasinal Cendekiawan. Universitas Trisakti.Jakarta., 2016.

Sari, N, Karakteristik Pengeringan Daun Jeruk Purut (Cytrus hystrix DC) Menggunakan Oven Microwave. Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember., 2012.

Sari, N., *Karakteristik Pengeringan Daun Jeruk Purut (Cytrus hystrix DC) Menggunakan Oven Microwave*. Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember., 2012.

Sranipur R., *Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Jurnal JETri volume 11 No 2 Februari 2014. Universitas Trisakti. Jakarta., 2014.

Sranipur R. *Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Jurnal JETri volume 11 No 2 Februari. Universitas Trisakti. Jakarta., 2014.

Utari, EL, *Perancangan Alat Inducsion Heating Pada Pengolahan Teh Sangrai Dengan Teknologi Energi Terbarukan (Solar Cell).* Jurnal Teknoin. Universitas Islam Indonesia., 2017.

Utari, EL. 2017. *Perancangan Alat Inducsion Heating Pada Pengolahan Teh Sangrai Dengan Teknologi Energi Terbarukan (Solar Cell).* Jurnal Teknoin. Universitas Islam Indonesia., 2014.

Yossie,W, Prototype Pemanfaatan Solar Cell Sebagai Sumber Energi pada Sistem Otomatisasi Lampu Penerangan Taman. Universitas Negeri Yogyakarta., 2013.

Yossie,W., *Prototype Pemanfaatan Solar Cell Sebagai Sumber Energi pada Sistem Otomatisasi Lampu Penerangan Taman*., 2013.

Zhulkarnaen,Y, *Perancangan Dan Pembuatan Pemanas Induksi Dengan Metode Pancake Coil Berbasis Mikrokontroller Atmega 8535.* Universitas Brawijaya. Malang., 2014.

Zhulkarnaen,Y., *Perancangan Dan Pembuatan Pemanas Induksi Dengan Metode Pancake Coil Berbasis Mikrokontroller Atmega 8535.* Universitas Brawijaya. Malang., 2014.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

REKAYASAMESIN
eISSN 2477-6041 artikel 10, pp. 383 – 393, 2020
V11 N3

PEMANFAATAN KOTORAN TERNAK SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN MELALUI PEMBANGUNAN BIODIGESTER KOMUNAL

Christia Meidiana
Lektor Kepala (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota
c_meideiana@ub.ac.id

Zhuniart Ayu Perdanasari
Mahasiswa S1
Universitas Brawijaya
Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota
zhuniartayu@gmail.com

Dian Dinanti
Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota
dinanti@ub.ac.id

The potentials of energy from manure waste was calculated in this study aiming to develop biogas utilization in a rural area. The calculation was conducted based on the result from clustering the non-biogas farmer households which cannot afford individual anaerobic digester (AD). Spatial cluster analysis (SCA) and superimposed technique were used to determine the size of the groups and the location of ADs respectively. Value from SCA showed that the village's settlement pattern is clustered feasible to apply communal AD for rural biogas development. Meanwhile, a superimposed technique using 3 parameters which are land availability, cow ownership, and topography, generates 43 clusters of farmer households that can supply biogas for cooking. The energy production is estimated at 8.96-39.68 m3/day/household, while the energy demand is approximately 0.65-3.48 m3/day/household. The calculation shows that there is remaining biogas that can be distributed to non-biogas farmer households. Using SCA, 75 non-biogas farmer households were identified to be potentially supplied by biogas. The total energy demand for both biogas and non-biogas farmers households is 2,147.34 MJ/day, while the total potential energy generation from all ADs is 24,560.64 MJ/day indicating a low biogas utilization rate which is only 8.7%. The percentage shows that biogas utilization for an energy source in Dusun Dresel can be more developed by enhancing the distribution network or by converting it into electricity to support rural energy security.

Keywords: *Spatial Cluster Analysis, Biogas, Overlay Technique, Livestock Manure Waste.*

1. PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia menargetkan untuk meningkatkan bauran energi terbarukan dari 6% pada tahun 2010 menjadi 25% pada tahun 2025 dimana 10,81% berasal dari biomassa dan turunannya termasuk biogas. Beberapa peraturan terkait pengembangan energi terbarukan telah disahkan untuk pencapaian target tersebut. Pemanfaatan biogas cenderung meningkat di Indonesia karena memiliki manfaat sosial, ekonomi dan lingkungan [1]. Pemanfaatan biogas akan meningkatkan kesadaran masyarakat akan energi hijau, mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK), mempromosikan pembangunan desa berkelanjutan, mempercepat pembangunan pertanian berkelanjutan, meningkatkan pendapatan rumah tangga serta meningkatkan pemerataan energi dan perbaikan kualitas [2, 3, 4].

Konsumsi energi final bergeser dari ketergantungan pada energi konvensional ke pendayagunaan energi terbarukan lokal untuk penghematan energi dan konservasi lingkungan [5, 6]. Kondisi tersebut merupakan peluang bagi pengembangan energi terbarukan, tetapi pengembangan energi terbarukan, khususnya di pedesaan, relatif lambat akibat biaya awal yang tinggi, yaitu biaya produksi, penelitian, pengembangan, dan pelaksanaan [7, 8]). Hambatan lain adalah faktor ketergantungan pada faktor geografis karena dua alasan. Pertama, penyediaan (supply) biomassa sebagai input AD dan kebutuhan (demand) biogas sering kali letaknya tersebar [9]. Kedua, terdapat persyaratan spasial dan teknis untuk menentukan lokasi pengolahan biogas, misalnya ketersediaan dan kesesuaian lahan, kedekatan lahan dengan kandang maupun rumah dengan lahan

Corresponding Author: c_meideiana@ub.ac.id Received on: March 2020 Accepted on: September 2020

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

yang membutuhkan data geografis yang lengkap dan detil [10]. Kedua faktor tersebut membutuhkan data spasial yang akurat guna perencanaan biogas pedesaan yang terpadu. Sistem informasi geografis (SIG) dapat digunakan untuk menghasilkan perencanaan spasial terkait pengembangan energi biogas di pedesaan.

Berdasarkan Outlook Energi Indonesia tahun 2015, konsumsi energi final di Indonesia meningkat dari 778 juta SBM pada tahun 2000 menjadi 1,211 juta SBM pada tahun 2013 (rata-rata peningkatan sebesar 3,46% per tahun). Angka ini akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk Indonesia setiap tahunnya sehingga berimplikasi pada jumlah permintaan energi yang berbanding terbalik dengan penawaran energi yang terbatas di Indonesia [11]. Peningkatan jumlah permintaan energi terjadi karena Indonesia masih mengandalkan penggunaan energi tak terbarukan seperti penggunaan bahan bakar fosil yang memiliki tingkat produksi jauh lebih lambat dibandingkan dengan tingkat konsumsinya, sehingga, pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan untuk dikembangkan. Hal ini seiring dengan target pemerintah dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN) melalui PP 79/2014, yaitu target optimal bauran energi baru dan terbarukan (EBT) yaitu 23% di 2025 dan 31% di 2050 [11] dimana salah satu sumber EBT yang digunakan adalah biomassa dan turunannya termasuk biogas. Penelitian terkait penggunaan biomassa sebagai EBT sudah banyak dilakukan di Indonesia, misalnya oleh [12] dan [13]. [12] mengukur nilai kalor briket ampas batang tebu dan serbuk gergaji sedangkan [13] mengukur pengaruh tekanan dan komposisi bahan briket terhadap karakteristik pembakaran. Kedua penenlitian tersebut menjukkan bahwa biomassa layak digunakan sebagai alternative pengganti energi fosil. Biomass yang diolah secara anaerobik (tanpa oksigen) akan menghasilkan biogas.

Biogas merupakan salah satu solusi energi alternatif ramah lingkungan. Biogas mudah digunakan khususnya untuk kalangan masyarakat pedesaan yang memelihara hewan ternak sapi. Berkaitan dengan permasalahan tersebut maka pemanfaatan limbah kotoran ternak dioptimalkan sehingga dapat menekan biaya tanpa mengganggu produktivitas ternak. Keuntungan atau nilai tambah terkait penggunaan biogas adalah memperkecil volume limbah yang dibuang, memperoleh bahan bakar berkualitas tinggi, dan menurunkan emisi gas metana [14, 15]. Pemanfaatan limbah ternak menjadi biogas dapat memberi nilai tambah dengan peningkatan pendapatan (keuntungan/profit) pada petani dan peternak [16, 17]. Selain itu, pengolahan kotoran ternak biogas dapat meningkatkan kebersihan dan menekan pencemaran lingkungan [18]. Konversi biogas dari limbah ternak dilakukan dengan menggunakan anaerobic digester (AD).

Desa Oro-oro Ombo salah satu desa di Kecamatan Batu, Kota Batu yang memiliki potensi ternak tertinggi dari 8 desa yang ada Kecamatan Batu. Mulai tahun 2007 Kecamatan Batu menjadi target utama program pengembangan biogas yang salah satunya diterapkan di Desa Oro-oro Ombo. Alasan pemerintah memilih program biogas di Desa Oro-oro Ombo adalah mengendalikan pencemaran akibat limbah dari usaha para peternak sapi yang terdapat di wilayah Desa Oro-Oro Ombo. Desa Oro-oro Ombo memiliki potensi ternak yang tinggi dengan jumlah ternak sapi perah sebanyak 2.184 ekor sehingga pemerintah juga menargetkan desa tersebut menjadi desa mandiri energi (DME). Dusun Dresel merupakan dusun di Desa Oro-Oro Ombo dengan populasi ternak tertinggi. Populasi ternak yang tinggi membuat Pemerintah Kota Batu memutuskan untuk memberikan hibah reaktor biogas di Dusun Dresel pada tahun 2015. Pemanfaatan biogas menjadi peluang kemandirian energi bagi peternak. Program pembangunan biogas di Dusun Dresel sudah dimulai sejak tahun 2007 sehingga pemerintah setempat mentargetkan menjadi desa mandiri energi, namun hanya 14 reaktor biogas yang dibangun dan didistribusikan ke beberapa KK hingga tahun 2019. Hal ini disebabkan beberapa kendala antara lain; biaya kontruksi yang tinggi, syarat jumlah minimal ternak, syarat luas minimal sisa lahan dan kurangnya informasi.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi reaktor biogas khususnya biogas komunal bagi KK peternak yang belum memiliki AD. Berdasarkan [19], salah satu solusi untuk meningkatkan kemampuan membayar peternak dalam membangun reaktor biogas adalah dengan pengelompokan peternak.

2. METODE DAN BAHAN

2.1 Teknik Sampling

Populasi dalam penelitian ini adalah masyarakat peternak dan non peternak di Desa Oro-oro Ombo, Dusun Dresel. Masyarakat peternak dan non peternak di kelompokkan sesuai dengan kebutuhan energi memasak tiap rumah tangga (RT). Pengelompokan tersebut menggunakan kriteria ketersediaan lahan, kepemilikan ternak, dan kondisi kontur. Berdasarkan hasil survei, jumlah RT peternak sapi perah di Dusun Dresel sebanyak 198 RT dan jumlah non peternak sebanyak 109 RT. Semua RT digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini sebagai sampel jenuh sehingga total responden adalah 307 RT.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2.2 Penggunaan SIG untuk Penentuan Lokasi AD Format dari Sub-bab.

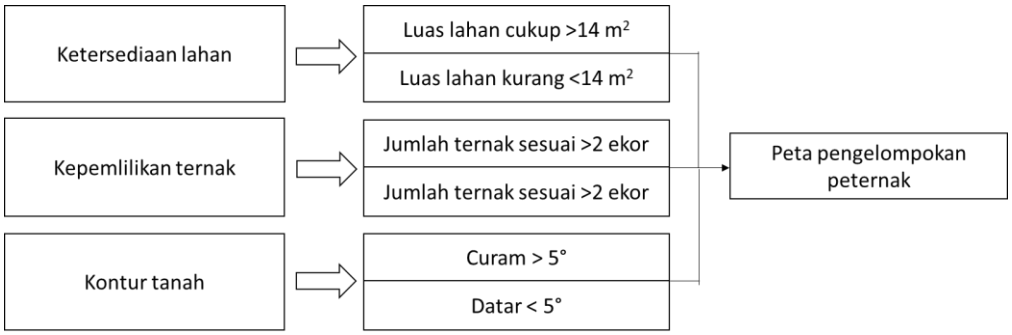
Penentuan lokasi AD menggunakan spatial cluster analysis dan teknik superimpose dengan bantuan sistem informasi geografi (SIG) menggunakan software ArcGIS. Teknik SIG telah luas digunakan untuk solusi permasalahan terkait keruangan dan juga penilaian lokasi potensi biomassasa guna produksi biogas. Teknik ini juga sudah sering digunakan untuk menentukan lokasi AD di pedesaan [20, 21]. [22] menggunakan pendekatan SIG untuk menentukan lokasi AD melalui identifikasi sumber biomassas yang potensial. Evaluasi lokasi AD yang tepat berdasarkan system pengumpulan limbah ternak telah dilakukan oleh [23] dan [24], sedangkan perangkat berbasis SIG dikembangkan oleh [25] untuk menghitung ketersediaan limbah ternak dan memperkirakan volume biogas yang tersedia. SIG juga telah dipelajari untuk memperkirakan distribusi secara regional potensi biogas berdasarkan volume limbah ternak. Negara-negara berkembang khususnya Indonesia mengalami kendala dalam pembangunan AD karena sebagian besar rumah tangga tidak mampu untuk membangun AD secara individu karena tingginya biaya pembangunan [26, 27].. Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengingkatkan keterjangkauan masyarakat pedesaan terhadap pembangunan AD adalah dengan pengelompokan [28]. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengelompokan adalah melalui teknik tumpang tindih (*overlay*) dan s*patial cluster analysis* (SCA).

2.2.1 Teknik Tumpang Tindih (Overlay)

Penelitian ini menggunakan teknik overlay yang merupakan proses penyatuan data dari lapisan layer yang berbeda. Menurut [29], Teknik Overlay proses adalah penyatuan data dari lapisan layer yang berbeda berupa peta individu yang memiliki informasi/database yang spesifik sehingga menghasilkan sistem informasi dalam bentuk grafis. Penyusunan peta dilakukan minimal dengan dua jenis peta yang berbeda. Secara teknis, pada teknik ini harus ada polygon yang terbentuk daridua jenis peta yang disusun yang jika dilihat data atributnya, maka peta akhir akan terdiri dari informasi peta pembentukya. Sebagai contoh, overlay peta topografi dengan peta penggunaan lahan akan menghasilkan peta baru yang berisi atribut topografi dan penggunaan lahan. Agregat dari kumpulan peta individu ini, atau yang biasa disebut peta komposit, mampu memberikan informasi yang lebih luas dan bervariasi. Prosedur dalam teknik *overlay* meliputi [30]:

1. Membuat peta dasar dari wilayah studi
2. Membuat peta – peta lain sesuai kebutuhan dalam studi
3. Menentukan kriteria sesuai dengan kebutuhan studi
4. Melakukan overlay antar peta yang satu dengan yang lain sesuai kebutuhan

Pada penelitian ini terdapat 3 peta tematik yang digunakan pada teknik overlay, yaitu peta ketersediaan lahan, kepemilikan ternak dan kontur tanah. Ketiga peta tersebut saling disusun menggunakan Teknik overlay dimana masing-masing peta memiliki criteria sebagai alat untuk mengidentifikasi apakah variable ketersediaan lahan, kepemilikan ternak dan kontur tanah di lokasi studi memenuhi syarat pembangunan AD. Hasil overlay adalah peta pengelompokan peternah yang digunakan untuk dasar penentuan pengelompokan peternak non-biogas. Sedangkan pengelompokan non-peternak didasarkan kepada jumlah energi yang dapat didistribusikan oleh peternak non-biogas yang membangun digester. Proses penentuan kelompok peternak dapat dilihat pada Gambar 1.



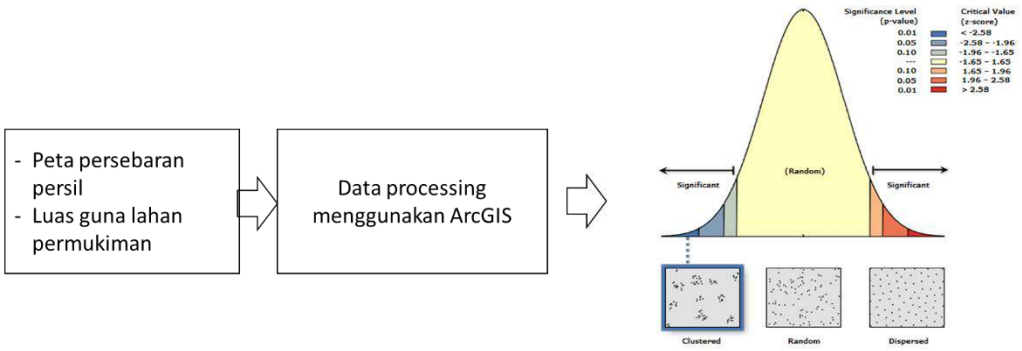
Gambar 1: Proses pada Teknik Overlay

2.2.2 Spatial Cluster Analysis (SCA)

SCA biasanya digunakan untuk menganalisis pola distribusi data obyek dengan pertimbangan kedekatan. Kedekatan tersebut menggambarkan kemiripan karakteristik obyek-obyek. Kedekatan dan batas klaster

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dihitung menggunakan K-Nearest Neighbor Method dmana nilai yang dihasilkan mengindikasikan jarak rata-rata obyek dan hasilnya bias berupa terklaster, acak atau menyebar. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah persil rumah sebagai obyek-obyek yang akan dianalisis dan luas guna lahan permukiman sebagai hamparan sebaran persil rumah. Data yang diinput dan diproses menggunakan SIG menghasilkan beberapa nilai yang akan dibandingkan dengan nilai kritis yang telah ditentukan untuk masing-masing pola permukiman sehingga pola permukiman di Dusun Dresel dapat diidentifikasi berdasarkan nilai kedekatan yang dihasilkan yang merupakan jarak rata-rata antar persil. Pola permukiman ideal untuk pembangunan AD komunal adalah terklaster. Pola permukiman terklaster harus memenuhi kriteria nilai yang kritis sebagai berikut: (i) Rasio tetangga terdekat (nearest neighbor ratio) tidak lebih dari 1, (ii) Z-score tidak lebih dari 2.58, (iii) p-value maksimal 0.01 for, z-score. Proses yang dilakukan pada SCA ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Proses pada Spatial Cluster Analysis.

2.2.3 Perhitungan Potensi Produksi dan Kebutuhan Energi Biogas

Perhitungan potensi energi biogas dari pemanfaatan limbah ternak sapi di Desa Oro-oro Ombo dilakukan karena tidak dilakukan pengukuran langsung terhadap sample kotoran ternak akibat keterbatasan alat. Oleh karena itu, perhitungan potensi energi biogas menggunakan beberapa asumsi berdasar pada hasil survei dan teori dari para ahli. Asumsi-asumsi tersebuat adalah:

1. Potensi Gas per unit kotoran sapi

Menurut [31] potensi gas yang dihasilkan per kg berat kotoran sapi atau kerbau sebesar 0,023-0,040 m^3. Nilai potensi gas sebesar 0,040 m^3/kg kotoran sapi digunakan pada penelitian ini berdasar wawancara dengan staf BIRU di Kecamatan Batu.

2. Produksi Kotoran

Rata-rata produksi kotoran ternak sapi perah di Desa oro-oro Ombo adalah 32 kg/hari berdasarkan hasil wawancara responden peternak, dimana 67% peternak menyatakan bahwa produksi kotoran sapi perah 32 kg/hari.

3. Nilai kalor biogas

Nilai kalor tipikal biogas adalah 20 – 26 MJ/m^3 biogas [32]. Nilai kalor sebesar 26 MJ/m^3 digunakan dalam penelitian ini

4. Kesetaraan nilai kalor per m^3 biogas kotoran ternak sumber energi fosil dengan

Formulasi untuk menghitung Kebutuhan energi untuk memasak yang dilihat dari karakteristik konsumsi bahan bakar masyarakat untuk memasak menggunakan standar pada Tabel 1 [33]

Tabel 1: Kesetaraan nilai kalor per m^3 biogas dengan sumber energi fosil.

SUMBER ENERGI	KESETARAAN	UNIT
LPG	0,46	kilogram (kg)
Minyak Tanah	0,00062	meter kubik (m^3)
Minyak Solar	0,00052	meter kubik (m^3)
Bensin	0,00080	meter kubik (m^3)
Kayu Bakar	3,50	kilogram (kg)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dengan menggunakan asumsi tersebut diaatas, maka total potensi produksi energi biogas di Dusun Dresel dihitung dengan rumus 1 sebagai berikut:

$$Es_{tot} = N * W * Cg * e \quad (1)$$

dimana Es_{tot} merupakan total potensi produksi energi dalam MJ , N adalah jumlah sapi perah, W merupakan berat kotoran ternak dalam kg, C_g adalah konstanta yang menunjukkan nilai potensi biogas yaitu 0,04 m^3/kg kotoran sapi dan e adalah nilai kalor biogas yaitu 26 MJ/m^3 biogas.

Sumber energi yang digunakan di lokasi studi adalah liquid petroleum gas (LPG) dan kayu bakar. Total konsumsi Kedua jenis sumber energi ini dihitung menggunakan rumus 2 berikut ini:

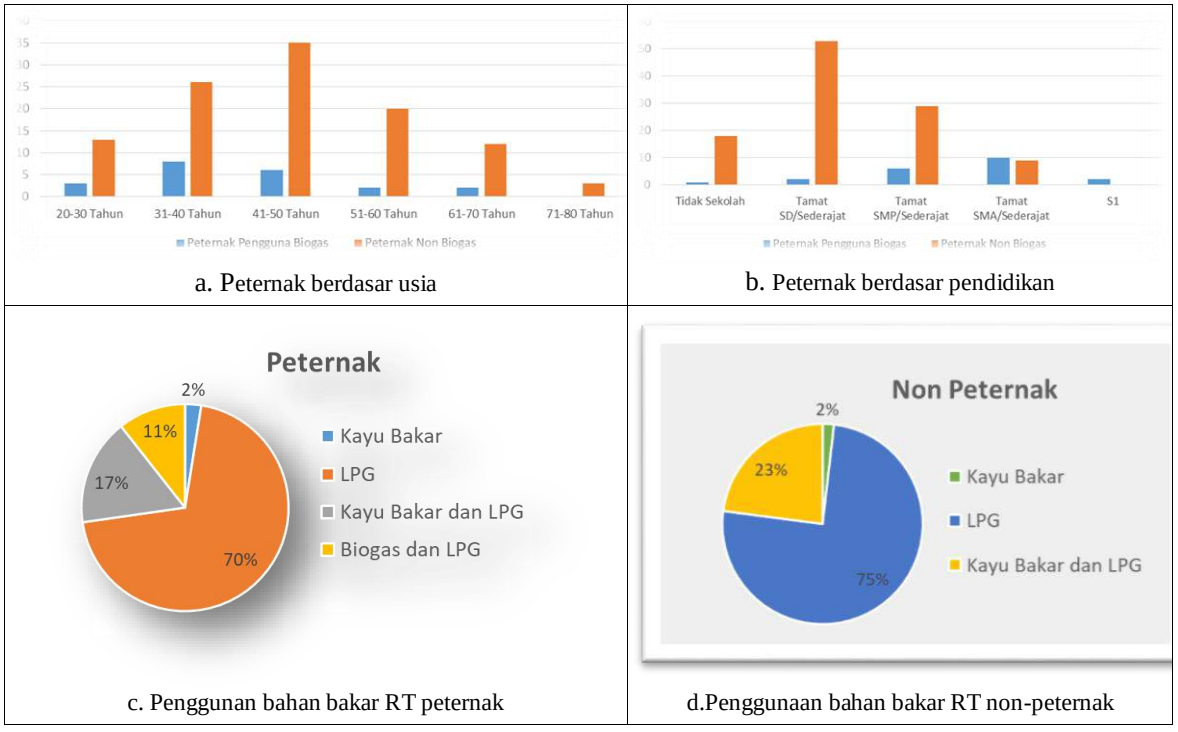
$$Ed_{tot} = \sum_{i=1}^{n} \frac{E_i}{c_i} \quad (2)$$

Dimana Ed_{tot} merupakan total kebutuhan energi dalam MJ, Ei adalah kebutuhan energi per jenis sumber energi dan c adalah konstanta yang menunjukkan Kesetaraan nilai kalor per m^3 biogas dengan LPG atau kayu bakar berdasarkan Tabel 1.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Gambaran Umum wilayah Studi.

Jumlah rumah peternak di Dusun Dresel adalah 177 dengan jumlah total sapi perah sebanyak 873 ekor. Dari jumlah tersebut, sebanyak 118 ekor sudah diolah kotorannya sebagai sumber energi biogas, sedangkan sisanya belum dan sekedar dimanfaatkan sebagian untuk pupuk kandang. Hal ini menunjukkan baru sekitar 11,9% rumah tangga peternak yang mengolah limbah ternak menjadi sumber energi biogas. Sebagian besar peternak non-biogas menyatakan minatnya untuk mengolah limbah ternak namun terkendala minimnya pengetahuan dan tingginya biaya konstruksi. Hasil survei menunjukkan bahwa LPG merupakan sumber energi utama di Dusun Dresel walaupun masih terdapat RT yang menggunakan kayu bakar. Pengeluaran untuk konsumsi energi masyarakat Dusun Dresel berkisar antara Rp 17.000-Rp 60.000 per bulan. Kondisi umum di Dusun Dresel terkait dengan pemanfaatan kotoran ternak dapat dlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



a. Peternak berdasar usia

b. Peternak berdasar pendidikan

c. Penggunan bahan bakar RT peternak

d.Penggunaan bahan bakar RT non-peternak

Gambar 3: karakteristik peternak di Dusun Dresel

3.2 Pengelompokan Peternak Non-Biogas dan Non-peternak

Pengelompokkan peternak di Dusun Dresel dilakukan berdasarkan hasil CSA dan Teknik overlay. Hasil dari CSA menunjukkan bahwa pola permukiman di Dusun Dresel adalah clustered atau mengelompok sehingga kondisi ini layak untuk pembangunan instalasi biogas komunal. Hasil ini menjadi dasar untuk langkap

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

berikutnya yaitu teknik overlay dengan menggunakan 3 peta tematik yaitu kepemilikan ternak, ketersediaan lahan dan kontur tanah.

Data kepemilikan ternak menjukkan bahwa terdapat 20 RT yang memiliki maksimal 2 ekor sapi sedangkan jumlah minimal ternak yang harus dimiliki oleh peternak sebanyak 3 ekor. Namun dalam penelitian ini, output yang dihasilkan adalah instalasi biogas (biodigester) komunal sehingga 20 RT ini dapat digabungkan dengan anggota peternak yang lainnya.

Unit pengolahan biogas yang dikembangkan di Indonesia adalah dengan tipe kubah tetap yang berasal dari beton dengan kapasitas pengolahan 4 m^3 – 12 m^3. Luas lahan minimal yang dibutuhkan untuk membangun biogas dengan kapasitas 4 m^3 adalah 14 m^2 sehingga ketersediaan lahan dinilai berdasarkan luas lahan minimal. Dari total 177 RT peternak non-biogas, sebanyak 80 (44%) peternak tidak memiliki lahan yang cukup, sedangkan sebanyak 97 (56%) peternak memiliki lahan yang cukup. Peternak dengan lahan cukup kemudian di nilai kelayakannya berdasarkan kontur tanah. Analisis baik menggunakan peta maupun pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa tidak ada satu pun dari lahan-lahan tersebut yang memiliki kontur melebihi 5 derajat dan terletak lebih tinggi dari kandang sapi sehingga semua lahan tersebut dapat digunakan sebagai lokasi pembangunan biodigester. Hasil overlay menghasilkan 43 kelompok dengan parameter masing-masing seperti dapat dilihat pada Tabel 2

Table 2: Hasil Pengelompokkan Peternak Non-Biogas.

PARAMETER							
Kepemilikan Ternak	**3-4**	**5-6**	**7-8**	**9-10**	**11-12**	**>12**	**Keterangan**
Jumlah ternak kelompok	0	0	7	2	8	25	Berdasarkan jumlah total ternak yang dimiliki kelompok peternak 100% mencukupi untuk pembangunan reaktor biogas.
Ketersediaan Lahan Minimal (m^2)	**14-17**	**18-25**	**26-35**	**36-48**	**49**	**>49**	Berdasarkan jumlah sisa lahan yang dimiliki kelompok peternak 100% mencukupi untuk pembangunan reaktor biogas.
Luasan lahan kelompok	19	15	9	0	0	0	

3.3 Penentuan Ukuran dan Lokasi Biodigester

Tabel 3 menjadi acuan dalam menentukan ukuran dan lokasi pembangunan biodigester di Dusun Dresel. Setelah melalui observasi di lapangan guna validasi hasil perhitungan, maka didapatkan hasil seperti tercantum pada Tabel 3 .

Table 3: Hasil Pengelompokkan Peternak Non-Biogas.

UKURAN BIODIGESTER (m^3)	**JUMLAH KELOMPOK**	**PROSENTASE**
4	18	42 %
6	15	35 %
8	10	23 %
10	0	0 %
12	0	0 %
Total	**43**	**100%**

3.4 Ketersediaan dan Kebutuhan Biogas

Perhitungan ketersediaan energi biogas dilakukan berdasarkan dimensi biodigester komunal kelompok peternak non-biogas, sedangkan kebutuhan energi biogas dihitung sesuai dengan konsumsi energi tiap anggota kelompok baik peternak mauppun non-peternak. Tabel 4 menunjukkan Penentuan RT non-peternak dan distribusi energi dimana hasil perhitungan produksi dan penggunaan biogas kelompok peternak menghasilkan sisa energi yang dapat didistribusikan kepada 75 RT non-peternak dari total 109 RT.

Tabel 4: Distribusi Sisa Energi dari Kelompok Peternak kepada Rumah Tangga Non Peternak

KELOMPOK PETERNAK				**NON PETERNAK**				
Klaster	Nama Ketua Kelompok	Sisa Energi (m^3/hari)	Keterangan	No. Persil	Nama	Kebutuhan Bahan Bakar (m3/hari)	Sisa Energi (m^3/hari)	Kecu-kupan
1	Choirul	35,41	Berlebih	266	Pranoto	0,50	15,86	Cukup

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

KELOMPOK PETERNAK				NON PETERNAK				
Klaster	Nama Ketua Kelompok	Sisa Energi (m^3/hari)	Keterangan	No. Persil	Nama	Kebutuhan Bahan Bakar (m3/hari)	Sisa Energi (m^3/hari)	Kecu-kupan
2	Taru	32,63	Berlebih	262	Bardi	0,43	14,51	Cukup
3	Sunarto	33,23	Berlebih	254	Liayah	0,43	13,76	Cukup
4	Slamet	17,24	Berlebih	250	Yasemat	0,43	6,61	Cukup
5	Misiadi	23,21	Berlebih	243	Tarmun	0,22	9,39	Cukup
7	Wanaji	22,73	Berlebih	294	Budi	1,08	10,87	Cukup
8	Badri	26,23	Berlebih	298	Deden	0,43	4,66	Cukup
				300	Indah Harto	0,43		
9	Paidi	14,49	Berlebih	307	Iwan	0,22	6,11	Cukup
10	Tamat	37,73	Berlebih	80	Okky	0,86	15,70	Cukup
11	Pi'i	9,15	Berlebih	88	Edi	0,43	3,28	Cukup
12	Arif Setiawan	30,46	Berlebih	74	Rusmiati	0,65	12,13	Cukup
13	Murti	8,02	Berlebih	287	Apandi	0,22	3,04	Cukup
14	Dewi	37,75	Berlebih	289	Harmanu	0,43	16,70	Cukup
				284	Hidayatul	0,22		
16	R. Hidayat	23,67	Berlebih	64	Munawir	0,22	10,53	Cukup
17	Dulasim	21,11	Berlebih	60	Leksono	0,43	8,25	Cukup
				56	Nurcholis	0,22		
				55	Wikuh	0,65		
18	Herman	22,58	Berlebih	36	H. Wariadi	0,86	6,14	Cukup
				29	Franky	0,72		
				28	Andri	0,43		
				33	Juliawan	0,43		
				32	Anang	1,08		
19	Henni	37,53	Berlebih	14	Sigit	0,43	15,18	Cukup
				17	Wijayanto	0,22		
				19	Atma	0,22		
				21	Budi	0,43		
				22	Kusnanto	0,43		
				23	Ansor	0,22		
20	Wandi	13,65	Berlebih	49	Fakih	0,87	4,00	Cukup
				47	Nuriyanto	0,65		
				46	noryanto	0,22		
				43	Tarmin	0,43		
21	Said	19,30	Berlebih	44	Nur Rochim	0,65	6,23	Cukup
					Yunarko	0,43		
					Subagio	0,43		
23	Yudi	15,14	Berlebih	84	Luluk W	0,65	9,18	Cukup
24	Kusen	19,74	Berlebih	95	Friyadi	0,65	7,11	Cukup
					Sumitro	0,43		
25	Kartini	39,03	Berlebih	183	Yayuk	0,86	15,15	Cukup
				182	Luluk	0,65		
				189	Efendi	0,43		
				191	Siti	0,86		
26	Sulkan	25,14	Berlebih	197	Heru	0,86	8,70	Cukup
				195	Nurrochim	0,65		

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

KELOMPOK PETERNAK				NON PETERNAK				
Klaster	Nama Ketua Kelompok	Sisa Energi (m^3/hari)	Keterangan	No. Persil	Nama	Kebutuhan Bahan Bakar (m3/hari)	Sisa Energi (m^3/hari)	Kecu-kupan
				193	Widodo	0,65		
27	Sunarsih	28,79	Berlebih	202	Dwi Ratno	0,50	12,42	Cukup
				199	Ruyat	0,22		
28	Sukinem	20,30	Berlebih	210	Endri	0,22	7,34	Cukup
				176	Suliamat	0,65		
				173	Hariono	0,22		
				171	Jumari	0,50		
30	Sutrino	36,22	Berlebih	109	Mustapa	0,22	14,95	Cukup
				106	Luluk	0,65		
31	syahputra	30,89	Berlebih	114	Susilo	0,86	12,13	Cukup
				110	Sukari	0,22		
33	Purnomo	15,56	Berlebih	125	Burhan	0,65	6,07	Cukup
34	Edwin	19,18	Berlebih	124	Iwan	0,43	7,65	Cukup
				119	Munawaroh	0,22		
37	Wisnu	12,55	Berlebih	100	Suratih	0,43	3,96	Cukup
38	Murti	23,43	Berlebih	205	Budiono	0,22	9,10	Cukup
				203	Suparman	0,50		
39	Miskan	9,16	Berlebih	159	Sahrodi	0,43	1,35	Cukup
				160	Firman	0,43		
				161	Mugi	1,08		
				163	Riwan	0,43		
40	Supriyono	7,87	Berlebih	73	Maryono	0,50	2,01	Cukup
				71	Suparman	0,6		
41	Jiarno	8,72	Berlebih	6	Wahyu	0,43	2,63	Cukup
				4	Najib	0,22		
42	Supadi	12,35	Berlebih	275	Nariyo	0,22	4,05	Cukup
				273	Sutrino	0,6		
43	Darto	10,22	Berlebih	52	Sujoko	0,43	2,73	Cukup
				51	Yendra	0,94		
Total		883,75				40,73	843,02	

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total, biogas yang dihasilkan oleh masing-masing kelompok beragam, yaitu berkisar antara 8,966 dan 39,68 m3/hari tergantng dari kapasitas biodigester yang digunakan berdasarkan data pada Tabel 3. Konsumsi energi masing-masing rumah tangga (RT) peternak berkisar mulai 0,65 hingga 3,48 m3/hari. Total potensi biogas yang dihasilkan dari pemanfaatan kotoran ternak oleh 43 kelompok adalah sebesar 944,64 m^3/hari dengan nilai energi setara dengan 24.560,64 MJ. Total potensi kebutuhan energi RT dalam 43 kelompok peternak sebesar 82,59 m^3/hari. Nilai ini jika dikonversi ke dalam satuan energi, maka setara dengan 2.147,34 MJ/hari sehingga masih terdapat sisa energi sebesar 889,13 m^3/hari (23.117,38 MJ/hari) yang dapat didistribusikan kepada RT non-peternak. Tingginya sisa energi disebabkan kebutuhan energi yang ada sebatas untuk memasak saja dan berdasarkan survei, rata-rata kebutuhan energi di Dusun Dresel sekitar LPG rata-rata 2 tabung seberat 3 kg dan kayu bakar sebanyak 5 ikat dengan berat 15 kg/ ikat. Penentuan RT penerima distribusi biogas didasarkan pada jarak kedekatan dari hasil SCA sehingga 75 RT dari total 109 RT non-peternak dapat bergabung ke dalam 43 kelompok peternak yang kemudian disebut sebagai kelompok pengguna biogas. Tidak semua RT non-peternak dapat bergabung karena letak rumah melebihi 12 m yang merupakan jarak rata-rata antar rumah di Dusun Dresel serta lokasinya di seberang jalan sehingga jaringan distribusi tidak bisa mencapai lokasi tersebut tanpa membongkar jalan. Total kebutuhan energi RT kelompok pengguna biogas yang terdiri dari peternak dan non-peternak sejumlah 199 RT adalah sebesar 123,32 m3 biogas/hari atau setara 3206,32.MJ/hari yang dihitung berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan yaitu LPG dan kayu bakar.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4. KESIMPULAN

Penelitian tentang pemanfaatan limbah ternak sebagai energi biogas di Dusun Dresel menghasilkan keluaran sebagai berikut:

1. Pengelompokkan peternak di Dusun Dresel berdasarkan minimal ketersediaan lahan (14 m^2), kepemilikan peternak (minimal 2 sapi) dan kontur (maksimal 5 derajat) menghasilkan 43 kelompok.
2. Semua kelompok memiliki lahan cukup untuk membangun biodigester. Biodigester kapasitas 4 m^3 dapat dibangun oleh 18 kelompok, biodigester kapasitas 6 m^3 mampu dibangun oleh 15 kelompok dan 10 kelompok dapat membangun biodigester dengan kapasitas 8 m3.
3. Total potensi produksi biogas yng dapat dihasilkan adalah sebesar 8,96-39,68 m^3/hari dan kebutuhan energi sebesar 0,65-3,48 m^3/hari. Perbandingan antara sediaan dan kebutuhan biogas di Dusun Dresel menunjukan bahwa jika peternak dalam semua kelompok beralih ke biogas, maka tingkat pemakaian hanya sebesar 8.7% sehingga masih terdapat sisa energi yang dapat didistribusikan ke keluarga non-peternak.
4. Sisa energi biogas kelompok peternak mampu menyuplai 69% atau sebanyak 75 KK non peternak
5. Total potensi energi yang dihasilkan adalah 24.560,64 MJ/hari dan mampu menYuplai kebutuhan biogas peternak sebesar 2.147,34 MJ/hari sehingga masih terdapat 23.117,38 MJ/hari untuk didistribusikan kepada RT non-peternak
6. Dari total 109 RT, 75 RT non-peternak dapat bergabung ke dalam 43 kelompok peternak sehingga total kebutuhan biogas di Dusun Dresel adalah 3206,32.MJ/hari.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] YUANA, X., ZUO, J., "Pricing and affordability of renewable energy in China –A case study of Shandong Province", *Renewable Energy*, v. 36, n. 3, pp. 1111-1117, March 2011

[2] HAMID, R.G., BLANCHARD, R.E., "An assessment of biogas as a domestic energy source in rural Kenya: Developing a sustainable business model", *Renewable Energy*, v. 121, pp. 368-376, June 2018

[3] WANG, C., ZHANG Y., ZHANG, L., PANG, M., "Alternative policies to subsidize rural household biogas digesters", *Energy Policy* v. 93, pp. 187-195, June 2016

[4] ZHANG, L.X., WANG, C.B., SONG, B., "Carbon emission reduction potential of a typical household biogas system in rural China", *Journal of Cleaner Production*, v. 47, pp. 415–421, May 2013.

[5] RAO, V.P., BARAL, S.S., DEY, R., MUTNURI, S., "Biogas generation potential by anaerobic digestion for sustainable energy development in India", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, n. 7, pp. 2086–2094, September 2010.

[6] KHAN, U.K., MAINALI, B., MARTIN, A., SILVIERA, S., "Techno-economic analysis of small scale biogas based polygeneration systems: Bangladesh case study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 7, pp. 68 – 78, September 2014

[7] ANTHONY, D.O., "Renewable energy: externality costs as market barriers", *Energy Policy*v, v. 34, n. 5, pp. 632–642, March 2006

[8] ANNA, P., "Renewable energy in South Africa: potentials, barriers and options for support", *Energy Policy* v. 38, n. 9, pp. 4945–4954, September 2010.

[9] IGONI, A.H., AYOTAMUNO, M.J., EZE, C.L., OGAJI, S.O.T., PROBET, S.D., "Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste", *Applied Energy*, v. 85, n. 6, pp. 430–438, June 2008.

[10] ZUBARYEVA, A., ZACCARELLI, N., DEL GIUDICE, C., ZURLINI, G., "Spatially explicit assessment of local biomassas availability for distributed biogas production via anaerobic co-digestion – Mediterranean case study" *Renewable Energy*, v. 39, pp. 261–270, March 2012.

[11] SUGIYONO, A., FITRIANA, I., ANINDHITA, FNU., WAHID, LOMA., ADIARSO. 2018. *Outlook Energi Indonesia 2017. Inisiatif pengembangan teknologi energi bersih*, Jakarta. Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), 2017

[12] WIBOWO, R., "Analisis Thermal Nilai Kalor Briket Ampas Batang Tebu dan Serbuk Gergaji", *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 10, n. 1, pp. 9 – 15, 2019

[13] NUGRAHA, A., WIDODO, A., WAHYUDI, S., "Pengaruh Tekanan Pembriketan dan Persentase Briket Capuran Gambut dan Arang Pelepah Daun Kelapa Sawit terhadap Karaketeristik Pembakaran Briket",

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Rekayasa Mesin, v. 8, n. 1, pp. 29 – 36, 2017

[14] MORERO, B., GROPPELLI, E., CAMPANELLA, E.A., "Life cycle assessment of biomethane use in Argentina", *Bioresource Technology*, v. 182, pp. 208 – 216, April 2015.

[15] HUTTUNEN, S., MANNINEN, K., LESKINEN, P., "Combining biogas LCA reviews withstakeholder interviews to analyse life cycle impacts at a practical level", *Journal of Cleaner Production*, v. 80, pp. 5 – 16, October 2014.

[16] SILVA, S., ALCADA-ALMEIDA, L., DIAS, L.C., "Biogas Plants Site Selection. Integrating Multi Criteria Decision Aid methods and GIS techniques: A case study in a Portuguese region", *Biomassas and Bioenergy*, v. 71, pp. 58 – 68, December 2014.

[17] LYBAEK, R., KJAER T., "Pre-assessment of the circular economic benefits and challenges of biogas production in Denmark when utilizing sand bedding in dairy cow stables", *Journal of Cleaner Production* v. 219, pp. 268-277, May 2019.

[18] LOPEZ-VAZQUEZ, C.M., MITHAIWALA, M., MOUSSA, M.S., BRDJANOVIC, D., "Coupling ASM3 and ADM1 for wastewater treatment process optimisation and biogas production in a developing country: Case-study Surat, India", *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, v. 3, n. 1, pp. 12-25, March 2013.

[19] MEIDIANA, C., SELVIA, S.I., DINANTI, D. (2018) "Increasing Farmers' Affordability for Anaerobic Digester Construction in Rural Area Using Spatial Cluster Analysis", In: McLellan, B. (eds), *Sustainable Future for Human Security*, Part III, Singapore, Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018

[20] KURKA., T., JEFFERIES, C., BLACKWOOD, D., "GIS-based location suitability of decentralized, `medium scale bioenergy developments to estimate transport CO2 emissions and cost", *Biomassas Bioenergy*, v. 46, pp. 366–379, November 2012.

[21] SUTANA, A., KUMAR, A., "Optimal siting and size of bioenergy facilities using geographic information system", *Applied Energy*, v. 94, pp. 193–201, June 2012.

[22] CHUKWUMA, E.C., "Facility location allocation modelling for bio-energy system in Anambra State of Nigeria: Integration of GIS and location model", *Renewable Energy*, v. 141, pp. 193–201pp.460-467, October 2019.

[23] DAGNALL S, HILL J, PEGG, D., "Resource mapping and analysis of farm livestock manures–assessing the opportunities for biomass-to-energy schemes", *Bioresource Technology*, v. 71, pp. 225–234, February 2000

[24] SCARLAT, N., FAHL, F., DALLEMAN, J., MONFORTI, MOTOLA, V., "A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 94, pp. 915–930, October 2018.

[25] ALI, M.M., NDONGO, M., BILAL, B., YETILMEZSOYC, K., YOUM, I., BAHRAMIANC, M., "Mapping of biogas production potential from livestock manures and slaughterhouse waste: A case study for African countries", *Journal of Cleaner Production*, v. 256, pp. 1-17, May 2020.

[26] GURUNG, A., KARKI, R., CHO, J.S., PARK, K.W., OH, SE., "Roles of renewable energy technologies in improving the rural energy situation in Nepal: Gaps and opportunities". *Energy Policy*, v. 62, pp. 1104-1109, November 2013.

[27] MULDER P, TEMBE J (2008) "Rural electrification in an imperfect world: a case study from Mozambique", *Energy Policy*, v. 36, pp. 2785–2794, August 2008

[28] VAISSI, S., SHARIFI, M., "Integrating multi-criteria decision analysis with a GIS-based siting procedure to select a protected area for the Kaiser's mountain newt, Neurergus kaiseri (Caudata: Salamandridae)", *Global Ecology and Conservation*, v. 20, pp. 1-15, October 2019

[29] STESSENS, P., CANTERS, F., HUYSMANS, M., KHAN, A.Z., "Urban green space qualities: An integrated approach towards GIS-based assessment reflecting user perception", *Land Use Policy*, v. 91, pp. 1-15, February 2020

[30] MONTEIRO, E, MANTHA, V, ROUBOA, A., "Prospective application of farm cattle manure for bioenergy production in Portugal", *Renewable Energy*", v. 36, n. 2, pp. 627-631, February 2011.

[31] WAHYUNI, S., *Biogas Energi Alternatif Pengganti BBM, Gas, dan Listrik*, Jakarta, PT. Agro Media Pustaka., 2013.

[32] LPELC (Livestock and Poultry Environmental Learning Community), https://lpelc.org/biogas-utilization-and-cleanup). Diakses: Agustus.2019

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

[33] DEPARTEMEN PERTANIAN, *Program Bio Energi Pedesaan-Biogas Skala Rumah Tangga*. Jakarta, Ditjen PPHP – Departemen Pertanian, 2006.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Laut atau Angin Laut dengan Pengendali Gravitasi Bumi

Wintazon[1], Anang Setyo Pramudianto[2], Eko Nur Hidayat[3*]

[1]Jl Bukit Anyelir 5 No 312 Perum Sendang Mulyo Kec, Tembalang Semarang
wintazonmath93@gmail.com

[2] *PT. Wijaya Karya, Tbk*
Jl. DI. Panjaitan No.Kav 9-10, RT.1/RW.11, Cipinang Cempedak, Jatinegara, Jakarta Timur 13340
setyop.anang98@yahoo.com

[3] *Program Studi Teknika AKPELNI*
Jln. Pawiyatan Luhur II/17 Bendan Dhuwur Semarang 60235 INDONESIA
[3*]ekonurhidayat@akpelni.ac.id

Abstrak

Intisari - Kebutuhan energi bagi kehidupan manusia di dunia adalah termasuk kebutuhan terpenting dan pokok, dimana energi selalu dibutuhkan dalam kehidupan manusia. Pertumbuhan penduduk dunia yang semakin pesat membutuhkan ketersediaan energi dan yang sangat besar, sehingga di butuhkan penyediaan energi yang besar atau penyediaan energi yang terbarukan (*renewable*) dan Energi yang ramah lingkungan (*Eco-Friendly*). Alternatif Penyediaan Energi yang di tawarkan adalah Pemanfaatan Tenaga Ombak Laut atau Angin Laut dengan memanfaatkan gravitasi Bumi sebagai Pembangkit Tenaga Listrik.
Kata Kunci : Energi, Energi terbarukan dan Energi ramah lingkungan

Abstract - Energy needs for human life in the world include the most important and essential needs, where energy is always needed in human life. The rapid growth of world population requires the availability of energy and very large, so that it requires a large supply of energy or the provision of renewable energy and environment-friendly energy. Alternative Energy Supply that is offered is Sea Wave Power Utilization or Sea Wind by utilizing Earth's gravity as a Power Plant.
Key Words: Energy, Renewable Energy and Eco-Friendly Energy

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang .

Kebutuhan energi bagi kehidupan manusia di dunia adalah termasuk kebutuhan terpenting dan pokok, dimana energi selalu dibutuhkan dalam kehidupan. Dalam perkembangan kehidupan manusia sumber energi yang dimanfaatkan bermacam-macam antara lain: energi matahari, minyak bumi, batubara, angin, gelombang laut, kayu bakar atau material yang bisa di bakar, energi nuklir, energi hasil proses reaksi kimia, dll.

Dalam perkembangannya penggunaan energi alam diatas mengalami berbagai kendala dan dampak atau efek pencemaran lingkungan. Begitu juga keterbatasan energi alam tersebut. Pertumbuhan penduduk dunia yang semakin pesat membutuhkan ketersediaan energi dan yang sangat besar. Peradaban manusia di zaman

PERPUSTAKAAN NASIONAL

modern membuat exploitasi energi yang sangat besar yang mengakibatkan kerusakan lingkungan. Dari fenomena alam tersebut disimpulkan agar kita mengatur energi dan memanfaatkan energi yang ada di alam yang ramah lingkungan sehingga dibutuhkan penelitian dan penemuan yang dapat mengkonversi energi yang dilakukan secara komperhensif. Dalam Hal ini penulis mengambil Energi altenatif yaitu pemanfaatan energi ombak laut atau angin laut adalah salah satu solusi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi yang dibutuhkan manusia. Hal yang mendasari Pemilihan sumber energi terbarukan dari tenaga ombak laut atau angin laut adalah letak geografis Indonesia. Dengan kondisi Geografis Indonesia yang terletak di antara 2 Benua dan 2 Samudra menyebabkan Indonesia dikelilingi oleh lautan yang luas dengan Ombak yang besar di perairan laut sebelah selatan, sehingga sangat relevan untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Laut atau Angin Laut.

B. Tinjauan Pustaka

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva atau grafik sinusoida [6]. Pemanfaatan gelombang laut sebagai pembangkit listrik terbarukan yang hemat energi dan ramah lingkungan telah dilakukan beberapa peneliti sebelumnya. Sistem konverter yang pernah dikembangkan di Eropa sangat beragam [4]. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut secara umum bekerja dengan mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi mekanik, kemudian energi mekanik tersebut selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik. Permasalahan utama dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut adalah fluktuatifnya gelombang laut yang dapat menyebabkan tidak optimalnya sistem ini pada saat gelombang memberi gaya dorong yang kecil. Pada saat gaya dorong yang bersumber dari gelombang besar maka sistem dapat bekerja secara optimal tetapi proses ini tidak terjadi secara kontinu [1]. Gelombang laut memiliki energi potensial dan kinetik yang dapat dihitung dengan persamaan dari Kim Neilsen. Dengan menggunakan persamaan persamaan tersebut maka dapat diperoleh berapa energi yang terdapat di dalam gelombang tersebut [3]. Diperkirakan potensi laut mampu memenuhi empat kali kebutuhan listrik dunia, sehingga tidak mengherankan apabila berbagai negara maju telah berlomba memanfaatkan energi ini .

C. Maksud dan Tujuan

Penelitian ini dimaksudkan untuk memanfaatkan sumber daya ombak atau angin laut sebagai energi alternative yang ramah lingkungan dengan tujuan mengoptimalkan hasil energi listrik dengan konversi energi ombak atau angin laut sebagai tenaga penggerak generator untuk mencukupi kebutuhan energi listrik nasional.

.

II. METODOLOGI

Metodologi penelitian merupakan sebuah cara untuk mengetahui hasil dari sebuah permasalahan yang spesifik, dimana permasalahan tersebut disebut juga dengan permasalahan penelitian. Dalam Metodologi, peneliti selalu berusaha untuk mencari pertanyaan yang diberikan dengan cara-cara yang sistematis yang digunakan dan berupaya untuk mengetahui semua jawaban sampai dapat mengambil

kesimpulan. Jika penelitian tidak dilakukan secara sistematis pada masalah, akan lebih sedikit kemungkinannya untuk dapat mengetahui hasil akhir. Untuk menemukan atau menjelajahi pertanyaan penelitian, peneliti akan menghadapi berbagai permasalahan, dimana semua itu baru dapat diselesaikan secara efektif jika menggunakan metodologi penelitian yang benar (Industrial Research Institute, 2010).

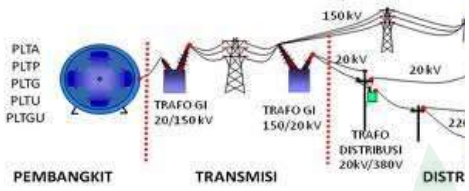
Metodologi Penelitian yang digunakan:

1. Pengamatan
2. Menyimpulkan obyek masalah
3. Mengambil data
4. Mengolah data
5. Membuat model
6. Eksperimen
7. Evaluasi
8. Kesimpulan

Dan Dilakukan Dengan PDCA : Plan-Do-Check-Action sampai didapatkan hasil yang diharapkan.

III HASIL DAN PEMBAHASAN

Definisi dari Pembangkit Listrik adalah adalah salah satu bagian dari sistem tenaga listrik, pada Pembangkit Tenaga Listrik terdapat peralatan elektrikal, mekanikal, dan bangunan kerja. Terdapat juga komponen-komponen utama pembangkitan yaitu generator, turbin yang berfungsi untuk mengkonversi energi (potensi) mekanik menjadi energi (potensi) listrik.



Gambar 3.1 Distribusi Listrik

Pada gambar 3.1 diatas diilustrasikan bahwa listrik yang dihasilkan dari pusat pembangkitan yang menggunakan energi potensi mekanik (air, uap, minyak bumi, gas alam, panas bumi, angin,nuklir, dll) untuk menggerakkan turbin yang porosnya dikopel/digandeng dengan generator. dari generator yang berputar menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan disalurkan ke gardu induk melalui jaringan transmisi, kemudian langsung di distribusikan ke konsumen melalui jaringan distribusi.

A. Bagian-bagian Pembangkit Tenaga Listrik

1). Penggerak utama (prime mover)

- Mesin diesel
- Turbin (air, gas, uap,angin)
- Beserta komponen dan perlengkapan lainnya (kondenser, boiler, dll)

2). Komponen listrik

- Generator dan perlengkapannya
- Transformator
- Peralatan proteksi
- Saluran kabel, busbar, dll

3). Komponen sipil

- Prasarana dan sarana sipil (pondasi peralatan, jalan, cable dutch, dll)
- Gedung kontrol

4). komponen mekanis

- Peralatan bantu, peralatan pendingin, peralatan proteksi, dll.

B. Skema Pembangkit Tenaga Angin Laut atau Ombak Laut dengan Pengendali Gravitasi Bumi



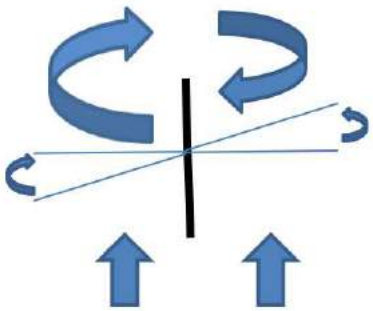
Gambar 3.2 : Skema Pembangkit Listrik Tenaga Angin Laut atau Ombak Laut dengan Pengendali Gravitasi Bumi

Sistem Pengendali Gravitasi Bumi adalah Sebuah Model Mesin yang merubah (mengkonversi) Energi gerak Kinetik dari Turbine di simpan menjadi Energi Potensial. Dengan menggunakan sistem hidrolik yang memindahkan/ memompa Fluida cair untuk menggerakkan beban sehingga didapatkan beda ketinggian yang menyimpan energi potensial. Setelah Energi potensial maksimum di rubah kembali menjadi Energi Mekanik dari Generator.

C. Alur Proses Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Laut atau Angin Laut dengan Sistem Pengendali Gravitasi Bumi :

1). Turbine :

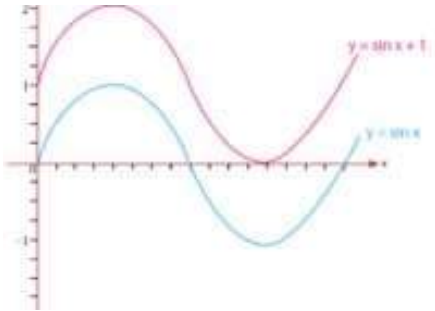
Merubah gerak kinetik dari gerak angin atau ombak yang arahnya dan kecepatannya berubah-ubah menjadi gerak lurus berubah beraturan.



Gambar 3.3 konsep turbin

Turbin yang paling sederhana terdiri dari sebuah bagian yang berputar disebut rotor, yang terdiri atas sebuah poros/*shaft* dengan sudu-sudu atau *blade* yang terpasang disekelilingnya. Rotor tersebut berputar akibat dari tumbukan aliran fluida atau berputar sebagai reaksi dari aliran fluida tersebut. Putaran rotor akan diarahkan untuk menggerakkan hidrolik.

Menurut [2] model perambatan gelombang mengikuti pola grafik sinus.



Gambar 3.4 : grafik perambatan gelombang

Menurut [5] aliran fluida akan berlaku :

1). Debit fluida

Debit adalah jumlah aliran per-satuan waktu.

Dalam persamaan dinyatakan dengan :

$$Q = \frac{V}{t} \qquad (1)$$

dimana

Q = Kapasitas/Debit (m^3/dt).
V = Volume Fluida (m^3).
t = Waktu (dt).

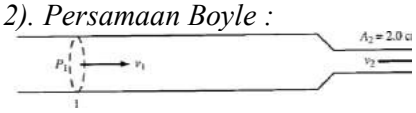
Atau

$$Q = A \times V \qquad (2)$$

dimana

A = Luas (meter^2).
V = Kecepatan Fluida (m/dt).

2). Persamaan Boyle :



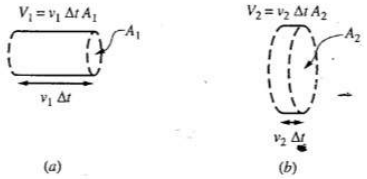
Gambar 3.5 : Aliran fluida pada pipa yang berbeda diameter

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 \qquad (3)$$

dimana

P = Tekanan
V = Volume

3).Persamaan Kontinuitas :



Gambar 3.6 : Aliran fluida pada luas penampang yang berbeda dan kecepatan berbeda

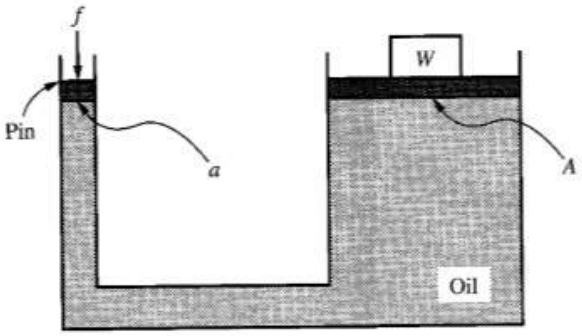
$$Q_1 = Q_2 \qquad (4)$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

2). Sistem Pengendali Gravitasi Bumi :

adalah Sebuah Model Mesin yang merubah (mengkonversi) Energi gerak Kinetik dari Turbine di simpan menjadi Energi Potensial. Dengan menggunakan sistem hidrolik yang memindahkan/ memompa Fluida cair untuk menggerakkan beban sehingga didapatkan beda ketinggian yang menyimpan energi potensial. Setelah Energi potensial maksimum di rubah kembali menjadi Energi Mekanik dari Generator.

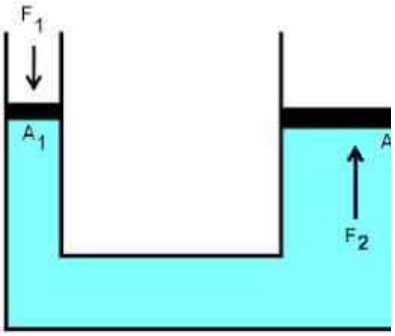
Persamaan / rumus dasar fluida hidrolis :



Gambar 3.7 : konsep hidrolis mengangkat beban

$$f = W\left(\frac{a}{A}\right) \qquad (5)$$

atau



Gambar 3.8 : konsep gaya hidrolis

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} \quad (6)$$

Tekanan adalah gaya per-satuan luas penampang.
Dalam persamaan dinyatakan dengan :

$$P = \frac{F}{A} \quad (7)$$

dimana
P = Pressure/ Tekanan (Pascal).
F = Force/gaya (Newton).
A = Area/luas (Meter^2)

Tekanan pada F_1 bersumber dari putaran turbin, digunakan untuk mengangkat beban W sesuai gambar 3.7.

Konversi satuan :

1 Pascal = 1 Newton/ Meter2 (Pa = N/M2)
1 Bar = 105 Pa
= 100 kPa
= 14.7 Psi (Lbf/ in2)
= 1 Kgf/ Cm2
1 M3/dt = 60 M3/menit
1 M3/menit = 1000 LPM (liter/menit)

Hukum Pascal menyatakan bahwa tekanan yang diberikan kepada fluida di dalam ruang tertutup akan diteruskan ke segala arah [7]. Hukum Pascal diterapkan dalam dongkrak hidrolik, pompa hidrolik, mesin pengepres hidrolik, kursi pasien dokter gigi, dan rem piringan hidrolik pada mobil. Hukum Pascal berdasarkan gambar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_1 = P_2 \quad (8)$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (9)$$

Keterangan :

F1, F2 = gaya yang bekerja pada penampang 1 dan 2 (N)
A1, A2 = luas penampang 1 dan 2 (m2)
r1, r2 = jari-jari penampang 1 dan 2 (m)
d1, d2 = diameter penampang 1 dan 2 (m)

Potaran rotor turbin akan menggerakkan hidrolik mengangkat beban W, setelah dicapai ketinggian maksimal yang dibutuhkan berlaku hukum Energi potensial :

EM = EP + EK (10)

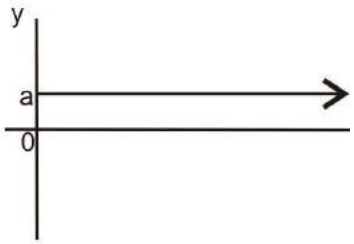
EM1 = EM 2 (11)

Dimana :
EM : energi mekanik
EK : energi kinetic
EP : energi potensial

Pada saat Ep Maksimum, Ek=0 sehingga didapat persamaan

Em= Ep (12)

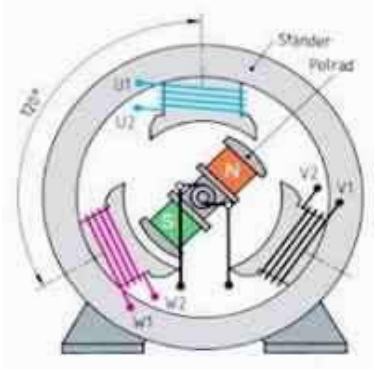
Setelah melewati hidrolik, maka grafik energinya akan menjadi linier, dalam bentuk grafik fungsi y = ax :



Gambar 3.9 : grafik energi setelah melewati pengendali grafitasi bumi

3). Generator:

Generator akan digerakkan dengan pully Transmisi ketika Ep dalam keadaan Maksimum, dimana Em = Ep akan dikonversikan dari Ep = EL



Gambar 3.10 : Generator

4). Simulasi perhitungan :

Untuk menghitung berapa beban Sistem Pengendali Gravitasi Bumi yang dibutuhkan untuk turun dalam ketinggian 10 meter dalam 10 menit untuk menggerakkan generator 1 M Watt selama 10 menit.

EM = EP + EK
EM1 = EM2

Ketika EP max,
Maka EP = EL
EL = 1000.000 x 10 menit
EL= 10.000.000 Watt Menit

Ep = m x g x h
= EL
m x 10 $\frac{m}{dt^2}$x 10 m = 10.000.000 watt menit
100m = 10.000.000
m = 100.000
m = 100 Ton
P = 1 Mega watt
= 1.000.000 Joule/detik
Membutuhkan putaran 1500Rpm
= 1500/60 Rad/detik
1500 Rpm = 25 Rad/detik

Daya (P) = 1.000.000 Joule/detik
= Torsi x 25 Rad /detik
Torsi = 1.000.000 Joule/detik/ 25 Rad/detik
Torsi = 40.000 Joule/ Rad
Dengan 1 Joule = 1 N dan 1 N= 0,1 Kg
Torsi = 4.000 kg/Rad
= 4 Ton/ Rad
Dari
4 Ton : 100 Ton = 1 : 25

IV. KESIMPULAN

Energi yang dihasilkan dari energi alam mengikuti pola grafik fungsi Y= Sin a X, setelah melewati system pengendali grafitasi bumi, maka energi yang dihasilkan mengikuti grafik gerak lurus berubah beraturan dan akan disimpan dalam sistem pengendali gravitasi bumi. Energi tersebut dapat diatur sesuai dengan kebutuhan dan dengan biaya yang sangat murah karena mengurangi kehilangan energi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktur AKPELNI yang telah memberikan kesempatan melakukan penelitian ini sekaligus menyediakan anggaran pelaksanaan penelitian. Terima kasih juga kami ucapkan kepada pimpinan PT Wijaya Karya tbk. yang telah mengijinkan salah satu karyawannya terlibat dalam penelitian ini. Kepada panitia Seminar Nasional dan Mechanical Expo Fakultas Teknik UKI yang telah memberikan kesempatan menyampaikan gagasan kami dalam seminar nasional. Tidak lupa ucapan terima kasih juga kami ucapkan kepada semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan baik data, moral maupun finansial sehingga penelitian ini dapat terlaksanan.

REFERENSI

[1]. Abdullatif R.F, J. Aminuddin, dan A.N. Aziz.2013. Pengembangan Sistem Komputasi dan Instrumentasi Fisis dalam Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Pendulum. Seminar Nasional Pengembangan Pedesaan, LPPM-UNSOED September 2013.

[2] Aminuddin J, Sehah, and Sunardi.2011. Pemodelan Gelombang Laut untuk Menunjang Pelestarian Pulau Nusakambangan. Proc. Seminar Nasional Pengembangan Sumber Daya Pedesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan, Nopember 17-18. UNSOED, Purwokerto: 70-82.

[3] Budi Murdani, 2008, "Analisa Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Sustem Oscillating Water Column di Pantai Baron Yogyakarta." Jakarta, 2008.

[4] Drew B, A.R. Plummer, and M.N. Sahinkaya.2009. A Review of Wave Energy Converter Technology, Journal of Power and Energy, Vol 223, No 782. 887-902.

[5] Halpern, Alvin. 1995. Theory and Problems of Beginning Phisycs I : Mecanics and Heat. Schaum's Outline Series. Mc Graw Hill

[6] Kurniawan. R., Habibie.M. N., dan Suratno., 2011. Variasi Bulanan Gelombang Laut di Indonesia. Jurnal Meteorologi dan Geofisika, 12 (3), pp. 221232.

[7] Walker, Jearl.Fundamentals of Phisycs. 8th edition. . pp. 462

Agrokreatif
Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat

November 2015, Vol 1 (2): 136–141
ISSN 2460-8572, EISSN 2461-095X

Pemberdayaan Masyarakat dengan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan pada Tambak Udang

(Community Empowerment through Application of Renewable Energy Sources in the Shrimp Pond)

Jalaluddin[1*], Abdul Rasyid Jalil[2], Rustan Tarakka[1], Wardi[3]
[1] Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10, Tamalanrea, Makassar 90245.
[2] Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10, Tamalanrea,Makassar 90245.
[3] Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10, Tamalanrea, Makassar 90245.
[*] Penulis Korespondensi: jalaluddin_had@yahoo.com

ABSTRAK

Udang merupakan komoditas ekspor Indonesia yang sangat menjanjikan. Salah satu tempat pembudidayaan udang adalah tambak yang merupakan tempat budi daya perairan yang letaknya dekat dengan pantai. Pemanfaatan sumber energi terbarukan dengan penerapan teknologi sel photovoltaik untuk suplai energi secara terintegrasi dilakukan untuk membantu penyediaan energi yang diperlukan pada areal tambak di Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan. Energi tersebut digunakan untuk pengoperasian beberapa peralatan pendukung, antara lain: kincir aerator, penerangan, pompa air, dan lain-lain. Kegiatan pemberdayaan masyarakat dilakukan dengan tujuan untuk memberdayakan masyarakat dalam mendukung pemanfaatan sumber energi terbarukan pada tambak udang di Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan. Pelaksanaan kegiatan dilakukan dalam skema Kuliah Kerja Nyata–Program Pemberdayaan Masyarakat (KKN-PPM) DIKTI dalam konsep Mandiri Energi pada tambak udang. Pembuatan prototipe peralatan sel photovoltaik sebagai sumber energi listrik untuk menjalankan kincir aerator dan penerangan pada tambak udang milik masyarakat telah dilakukan. Beberapa kelompok masyarakat petani tambak udang telah dilatih dalam pembuatan dan pengoperasian peralatan tersebut.

Kata kunci: kincir aerator, penerapan sel photovoltaik, sumber energi terbarukan

ABSTRACT

Shrimp is very promising commodity of the Indonesian export commodities. One of shrimp cultivation fields is pond which is a place of aquaculture located near the beach. Application of renewable energy sources such as photovoltaic cell technology has been prepared to provide energy supply integratedly in the shrimp ponds in Pinrang District of South Sulawesi. Energy needed in the shrimp ponds is to provide energy supply for some supporting equipments such as aerator water mill, lighting, water pump, and others. Community empowerment activity was carried out in order to empower communities in Pinrang District of South Sulawesi in application of renewable energy resources in their shrimp ponds. This activity was arranged in self supporting energy concept in the shrimp pond and supported by a program of *Kuliah Kerja Nyata–Program Pemberdayaan Masyarakat* (KKN-PPM) DIKTI. Equipment manufacture of photovoltaic cell prototype as energy sources of aerator waterwheel and lighting in the shrimp pond has been completed. Some community groups of shrimp farmers have been trained in the manufacture and operation of the photovoltaic cell equipment.

Keywords: aerator waterwheel, photovoltaic cell application, renewable energy source

PENDAHULUAN

Pengelolaan tambak udang merupakan kegiatan yang sangat menjanjikan karena komoditas udang mempunyai pangsa pasar yang luas dengan harga jual yang relatif stabil di pasaran dunia. Oleh karena itu, usaha budi daya udang yang umumnya dilakukan di tambak merupakan kegiatan yang sangat menjanjikan. Kegagalan budi daya udang terutama disebabkan oleh padat penebaran tidak sesuai dengan daya dukung tambak dan teknologi yang diterapkan, sehingga memunculkan persoalan lingkungan, yakni penurunan kualitas air terutama kandungan ok-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sigen dan penyebaran penyakit. Teknologi yang diterapkan diperoleh secara turun-temurun dan masih sederhana, dengan memanfaatkan tambak yang kontruksinya juga sederhana. Peranan kelompok-kelompok tani tambak dalam mengatur sistem budi daya udang yang benar dan berkelanjutan juga masih kurang berfungsi. Permasalahan ini juga dialami oleh petani budi daya tambak udang di Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan, sehingga proses produksi masih lemah (Mahmud *et al*. 2007).

Untuk menciptakan sistem budi daya tambak udang yang lebih baik perlu didukung upaya-upaya untuk mempertahankan kualitas air dalam kondisi baik, yaitu melalui peningkatan oksigen terlarut dalam air serta penerangan yang memadai, dengan menggunakan beberapa peralatan pendukung seperti kincir aerator, pompa air, dan lampu. Peralatan ini membutuhkan sumber energi listrik, penyediaan energi listrik di Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan dikembangkan dengan penggunaan sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan, terintegrasi pada tambak udang, dan terbarukan, yaitu dengan penerapan teknologi sel photovoltaik dalam memanfaatkan energi matahari. Keuntungan energi matahari dibandingkan dengan energi alternatif lain adalah sebagai sumber energi bebas polusi, berlimpah, terbarukan, dan dapat digunakan secara langsung maupun tidak langsung. Indonesia merupakan negara tropis yang mana daerahnya dilalui oleh garis khatulistiwa sehingga memiliki potensi penerimaan panas matahari yang lebih baik dan banyak dibandingkan dengan negara lain.

Teknologi sel photovoltaik telah banyak digunakan sebagai sumber energi untuk berbagai peralatan dan penerangan. Beberapa penelitian tentang sel photovoltaik dan aplikasinya telah dilakukan di Laboratorium Energi Termal dan Terbarukan, Jurusan Mesin, Universitas Hasanuddin (UNHAS). Penelitian tersebut antara lain: pemanfaatan sel photovoltaik untuk penggerak pompa air dengan variasi daya angkat (Himran *et al*. 2013), penggerak pompa tambak (Shiddiq & Multazam 2015), penggerak prototipe kincir aerator (Azhar & Nasri 2015). Selain itu, analisis unjuk kerja sel photovoltaik dengan penggunaan air pendingin di bawah panel (Hasbi 2014) dan dengan pengarah matahari (Jalaluddin & Mire 2015) juga telah dilakukan.

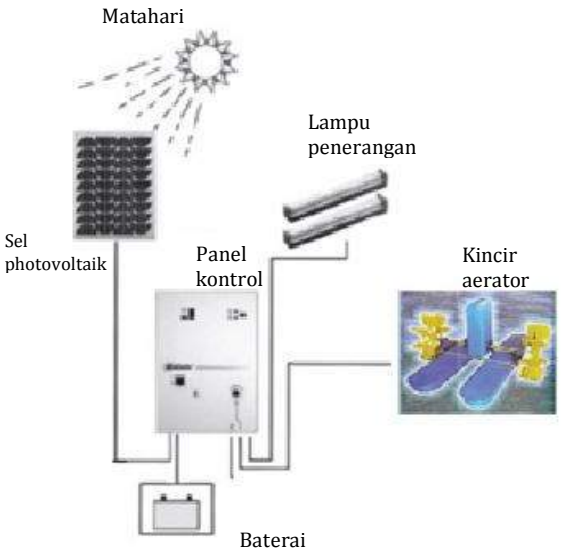
Dari uraian di atas, konsep usaha pengelolaan tambak udang dengan konsep Mandiri Energi di Kelurahan Lanrisang, Kecamatan Lanrisang, Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan, disusun melalui program Kuliah Kerja Nyata-Program Pemberdayaan Masyarakat (KKN-PPM) Pendidikan Tinggi (DIKTI) tahun 2015. Konsep Mandiri Energi tersebut untuk usaha pengelolaan tambak udang dengan pemanfaatan sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan dapat dilihat pada Gambar 1.

Kegiatan ini bertujuan untuk mengaplikasikan teknologi sel photovoltaik dalam penyediaan sumber energi listrik untuk menjalankan kincir aerator pada tambak udang dan untuk penerangan pada malam hari di areal tambak udang. Target yang diharapkan dari kegiatan ini adalah peningkatan pengetahuan dan keterampilan masyarakat/petani tambak dalam pemanfaatan energi terbarukan dengan penerapan teknologi sel photovolaik sebagai sumber energi untuk kincir aerator dan penerangan pada malam hari.

METODE PELAKSANAAN

Program KKN-PPM

Kegiatan KKN-PPM DIKTI 2015 dilakukan dengan kegiatan yang terintegrasi program KKN UNHAS. Kegiatan dilaksanakan pada Mei–Juli 2015 yang berlokasi di Kelurahan Lanrisang, Kecamatan Lanrisang, Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan. Tahapan pelaksanaan program KKN-PPM untuk tambak udang Mandiri Energi, yaitu persiapan, pembekalan mahasiswa, dan pelaksanaan kegiatan.



Gambar 1 Pemanfaatan sumber energi terbarukan dengan teknologi sel photovoltaik untuk kincir aerator dan penerangan.

Persiapan

Koordinasi antara unit Pengembangan dan Pengelolaan Kuliah Kerja Nyata (P2KKN), UNHAS dan pemerintah daerah Kabupaten Pinrang khususnya Kecamatan Lanrisang dilakukan pada tahap ini. Selain itu, perekrutan/pendaftaran mahasiswa dilakukan melalui skema program Unit Pelaksana Teknis Pengelolaan Kuliah Kerja Nyata (UPT-P2KKN), Universitas Hasanuddin (UNHAS).

Pembekalan Mahasiswa

Pembekalan mahasiswa/peserta KKN-PPM dilakukan dengan pelatihan intensif selama 12 hari, yaitu tanggal 25 Mei–12 Juni 2015 terkait proses pembuatan, perakitan, dan pengoperasian prototipe peralatan. Kegiatan ini dilaksanakan di laboratorium Energi Termal dan Terbarukan, Jurusan Mesin, UNHAS.

Pelaksanaan Kegiatan

Pelaksanaan kegiatan lapangan dilakukan pada tanggal 15 Juni–15 Juli 2015 di Kecamatan Lanrisang, Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan. Mahasiswa yang terlibat dalam kegiatan ini sebanyak 30 orang dengan 4 orang dosen pendamping lapangan. Program kerja utama adalah penerapan teknologi sel photovoltaik untuk suplai energi pada kincir aerator dan penerangan di areal tambak udang. Beberapa aktivitas yang dilakukan terkait dengan program kerja utama antara lain: 1) Aktivitas bersama mahasiswa dan masyarakat untuk pemasangan sel photovoltaik beserta sistem penyimpanan energi dan pendistribusiannya dengan renovasi bangunan kecil di pinggir tambak; dan 2) Pelatihan petani tambak tentang pemasangan sel photovoltaik beserta sistem penyimpanan energi dan pendistribusiannya. Program kerja tambahan juga dilakukan untuk lebih bersosialisasi dengan masyarakat dan mengakomodasi keinginan masyarakat.

Program kerja KKN-PPM ini dapat diuraikan secara detail sebagai berikut :

- Program kerja utama terdiri dari: a) Sosialisasi dan pelatihan pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber energi kincir aerator tambak dengan menggunakan sel photovoltaik; dan b) Sosialisasi dan pelatihan penggunaan sel photovoltaik untuk penerangan.
- Program kerja tambahan terdiri dari: a) Lomba gema Ramadhan tingkat SD se Kelurahan Lanrisang; b) Pembuatan marka jalan; c) Perbaikan jembatan penyeberangan petambak di Dusun Sumpang Saddang, Kelurahan Lanrisang; d) Pembuatan bingkai peta kelurahan; dan e) Perbaikan lampu jalan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Program KKN-PPM dilaksanakan dengan pemanfaatan energi terbarukan menggunakan teknologi sel photovoltaik sebagai sumber energi untuk kincir aerator dan penerangan pada malam hari di areal tambak udang. Untuk mencapai target yang diinginkan dari program KKN-PPM ini, persiapan dan pembekalan mahasiswa dilakukan sebelum pelaksanaan kegiatan lapangan. Persiapan dilakukan dengan pembuatan dan pengujian prototipe peralatan. Sementara itu, pembekalan mahasiswa dilakukan dengan pelatihan intensif tentang pembuatan, perakitan, dan pengoperasian prototipe peralatan.

Pembuatan prototipe peralatan terlebih dahulu dilakukan di Laboratorium Energi Termal dan Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, UNHAS seperti terlihat pada Gambar 2. Beberapa mahasiswa dan staf laboran dilibatkan dalam pembuatan prototipe ini. Pengujian prototipe peralatan dilakukan untuk memastikan peralatan dapat bekerja dengan baik seperti terlihat pada Gambar 3. Peralatan ini terdiri dari: modul



Gambar 2 Pembuatan prototipe peralatan.



Gambar 3 Pengujian prototipe peralatan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

sel photovoltaik sebanyak 3 buah masing-masing berkapasitas 50 WP, motor DC 12 v sebagai penggerak kincir sebanyak 2 buah, baterai 50 Ah, dan lampu LED 5 w sebanyak 2 buah. Selanjutnya, pelatihan intensif bagi mahasiswa/peserta KKN-PPM tentang pembuatan, perakitan, dan pengoperasian peralatan dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Tujuan kegiatan untuk memberi bekal pengetahuan dan keterampilan terkait kepada mahasiswa sehingga dapat melakukan sosialisasi dan pelatihan kepada masyarakat dalam pembuatan, perakitan, dan pengoperasian peralatan pembangkit energi menggunakan teknologi sel photovoltaik tersebut.

Pelaksanaan program kerja diawali dengan seminar yang dihadiri masyarakat dan pemerintah setempat. Tujuan seminar adalah membahas program kerja dan sosialisasi penerapan teknologi sel photovoltaik untuk kincir aerator dan penerangan di areal tambak, serta peningkatan pengetahuan terkait pembuatan, perakitan, dan pengoperasian teknologi ini. Beberapa program kerja tambahan juga dilakukan untuk lebih memudahkan dalam pendekatan kepada masyarakat dan pemerintah setempat.

Pemanfaatan teknologi sel photovoltaik sebagai sumber energi kincir aerator dan penerangan dilakukan secara langsung di areal tambak masyarakat. Energi matahari yang disimpan pada baterai digunakan juga untuk menyalakan lampu penerangan pada malam hari. Selanjutnya, pelatihan pembuatan, perakitan, dan pengoperasian peralatan kepada beberapa kelompok masyarakat dilakukan secara bergantian sesuai dengan ketersedian waktu masing-masing kelompok untuk hadir di lokasi pemasangan peralatan tersebut. Setiap kelompok masyarakat terdiri dari 10–15 orang dilatih secara langsung di lokasi sebanyak 1 kali. Pelatihan untuk kelompok masyarakat ini dilakukan sebanyak 3 kali selama 3 minggu. Semua mahasiswa dan dosen pendamping bertugas untuk memberikan sosialisasi dan pelatihan. Aktivitas sosialisasi dan pelatihan ini dapat dilihat pada Gambar 5. Kegiatan sosialisasi dan pelatihan pada hari lainnya dilakukan untuk kelompok-kelompok kecil masyarakat yang terdiri dari sekurang-kurangnya 3 orang. 30 orang mahasiswa dibagi menjadi 10 kelompok sehingga masing-masing kelompok terdiri dari 3 orang. Setiap kelompok mahasiswa berkewajiban melakukan sosialisasi dan pelatihan sebanyak 2 kali untuk 2 kelompok kecil masya-



Gambar 4 Pelatihan intensif bagi mahasiswa/ peserta KKN-PPM tentang pembuatan, perakitan, dan pengoperasian peralatan.







Gambar 5 Sosialisasi dan pelatihan kepada masyarakat tentang pembuatan, perakitan, dan pengoperasian peralatan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

rakat yang berbeda tanpa didampingi dosen pendamping.

Penerapan teknologi sel photovoltaik sebagai sumber energi kincir aerator dapat dilihat pada Gambar 6 dan penerangan di areal tambak dapat dilihat pada Gambar 7. Kincir aerator yang digunakan dirakit dengan menggunakan 2 buah motor DC 12 v sebagai penggerak kincir. Motor tersebut dihubungkan ke modul sel photovoltaik sebagai penangkap sumber energi matahari. Kincir aerator ini merupakan prototipe yang telah diaplikasikan pada tambak udang. Prototipe peralatan ini sudah dapat memenuhi kebutuhan aerasi untuk kolam pembibitan udang sekitar 2 x 3 m. Penggunaan alat ini tentu akan membantu penyediaan energi pada saat sumber energi matahari tersedia. Sebagian energi yang dihasilkan dari modul sel photovoltaik digunakan untuk mengisi baterai yang akan digunakan untuk menyalakan lampu penerangan pada malam hari.

Dalam kegiatan ini, prototipe kincir aerator yang digunakan berfungsi hanya pada siang hari di mana sumber energi matahari tersedia. Untuk menjalankan kincir tersebut pada malam hari diperlukan penambahan modul sel photovoltaik dan peningkatan kapasitas baterai penyimpan. Selain itu, pengembangan kapasitas kincir untuk kebutuhan yang lebih besar dapat dilakukan dengan penggunaan motor berkapasitas lebih besar atau penambahan jumlah kincir. Penambahan jumlah modul sel photovoltaik juga disesuaikan dengan kapasitas motor dan baterai penyimpan tersebut. Permasalahan lain yang timbul dalam aplikasi adalah penyediaan suku cadang yang masih terbatas di daerah ini meliputi ketersediaan modul sel photovoltaik dan baterai *charge* regulator (BCR).

Kegiatan ini mendapatkan tanggapan yang sangat baik dari masyarakat karena memperkenalkan pemanfaatan sumber energi terbarukan, yaitu energi matahari. Penerapan teknologi sel photovoltaik sebagai sumber energi untuk kincir aerator telah berhasil diaplikasikan. Walaupun demikian, kincir aerator ini masih berkapasitas kecil yang hanya dapat diaplikasikan untuk kolam pembibitan udang. Selain itu, penerapan teknologi sel photovoltaik untuk penerangan sudah memenuhi harapan dengan dua balon lampu yang dipasang, yaitu di rumah tambak dan sekitar tambak.

Rencana Kegiatan Selanjutnya

Untuk peningkatan kualitas konsep Mandiri Energi pada tambak udang maka kegiatan selanjutnya adalah peningkatan kapasitas dari kincir aerator. Untuk tujuan tersebut diperlukan peningkatan kapasitas motor, penambahan modul sel photovoltaik, dan peningkatan kapasitas penyimpanan baterai. Selain itu, perluasan pemanfaatan teknologi sel photovoltaik untuk pemompaan air juga akan membantu petani tambak dalam memenuhi kebutuhan air pada tambak.



Gambar 6 Penerapan teknologi sel photovoltaik sebagai sumber energi kincir aerator.



Gambar 7 Penerapan teknologi sel photovoltaik untuk penerangan.

SIMPULAN

Pengembangan sumber energi pada tambak udang di Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan telah dilaksanakan melalui konsep Mandiri Energi dengan penerapan teknologi sel pho-

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

tovoltaik dalam skema KKN-PPM DIKTI 2015. Teknologi ini menyediakan sumber energi listrik untuk menjalankan kincir aerator dan penerangan pada malam hari di areal tambak udang. Peningkatan pengetahuan dan keterampilan masyarakat dalam upaya pemberdayaan masyarakat dalam pemanfaatan energi terbarukan dengan penerapan teknologi sel photovoltaik tersebut dilakukan melalui kegiatan sosialisasi dan pelatihan.

Penyediaan sumber energi alternatif untuk menjalankan peralatan pendukung pada tambak udang seperti kincir aerator dan penerangan telah tersedia. Beberapa kelompok masyarakat telah dilatih dalam pembuatan dan pengoperasian peralatan tersebut. Pengetahuan dan keterampilan yang telah dimiliki tersebut diharapkan dapat dikembangkan secara mandiri oleh masyarakat. Pemerintah setempat dapat menyusun program pemberdayaan kelompok masyarakat tersebut secara lebih sistematis untuk kemajuan daerah tersebut. Kegiatan ini diharapkan dapat terus ditingkatkan dalam berbagai program kemitraan pendampingan yang lebih luas dengan melibatkan institusi terkait.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada: 1) UPT-P2KKN UNHAS atas kerjasamanya dalam pelaksanaan program KKN; dan 2) DIKTI Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas dukungan dana dalam skema KKN-PPM 2015. Program kerja dalam kegiatan KKN-PPM ini disetujui dan dibiayai melalui program kompetitif nasional Ditjen DIKTI Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi tahun 2015 serta didukung oleh Unit Pelaksana Teknis (UPT) Pengembangan dan Pengelolaan Kuliah Kerja Nyata (P2KKN) UNHAS.

DAFTAR PUSTAKA

Azhar F, Nasri MZ. 2015. Analisis unjuk kerja sistem prototipe kincir aerator tambak udang tenaga matahari. [Skripsi]. Makassar (ID): Universitas Hasanuddin.

Hasbi HS. 2014. Analisis peningkatan efisiensi sel surya dengan aliran air pendingin di bawah panel. [Tesis]. Makassar (ID): Universitas Hasanuddin.

Himran S, Mire B, Salam N, Sule L. 2013. The best efficiency point of the performance of solar cell panel system for pumping water at variouslifting heads using 100 W motor-pump unit. *World Academy of Science. Engineering and Technology*. 7(6): 1127–1130.

Jalaluddin, Mire B. 2015. Performance Investigation of Photovoltaic Module with Solar Tracking. *Proceeding of The 2nd International Symposium on Smart Material and Mechatronics.* Makassar-Gowa (ID): 26–29 October 2015.

Mahmud U, Sumantadinata K, Pandjaitan NH. 2007. Pengkajian usaha tambak udang windu tradisional di Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan. *Jurnal MPI*. 2(1): 70–85.

Shiddiq A, Multazam. 2015. Pemanfaatan energi matahari sebagai penggerak pompa tambak. [Skripsi]. Makassar (ID): Universitas Hasanuddin.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PEMBUATAN DAN PEMASANGAN LAMPU TENAGA SURYA DI DESA NALUK KECAMATAN CIMALAKA KABUPATEN SUMEDANG

Mohammad Taufik, Dessy Novita, Emilliano
Departemen Teknik Elektro FMIPA Universitas Padjadjaran
E-mail: m.taufik@unpad.ac.id

ABSTRAK,
Permasalahan yang dihadapi masyarakat Desa Naluk adalah ruas jalan desa yang belum terpasang lampu penerangan jalan, sehingga berpotensi rawan kecelakaan dan rawan tindak kriminal. Sebagai solusinya telah dibuat dan dipasang 2 unit lampu penerangan jalan tenaga surya di ruas jalan desa tersebut.

Kata kunci: lampu tenaga surya, energi terbarukan

ABSTRACT,
The problem of Desa Naluk peoples is the road has not yet installed street lighting, so it is potentially to accidents and to criminal acts. As a solution, 2 units of solar lighting were installed on the road.

Key words: *solar lighting, renewable energy*

PENDAHULUAN

Desa Naluk berjarak 5 km dari kantor Kecamatan Cimalaka dan 10 km dari kantor Kabupaten Sumedang. Desa Naluk berbatasan sebelah Utara dengan Desa Padasari, sebelah Selatan dengan Desa Nyalindung dan Trunamanggala, sebelah Timur dengan Desa Citimun, dan sebelah Barat dengan Desa Cipanas Kecamatan Tanjungkerta.

Data tahun 2016 menunjukkan bahwa potensi Sumber Daya Manusia Desa Naluk, sebagai berikut :

Jumlah Laki-laki : 1.599 orang
Jumlah Perempuan : 1.661 orang
Jumlah Total : 3.260 orang
Jumlah Kepala Keluarga : 1.089 KK
Kepadatan Penduduk : 1.108 per KM^2

Secara geografi, Desa Naluk memiliki luas 294 Ha yang terdiri atas tanah sawah 115 Ha, tanah kering 136,24 Ha, tanah perkebunan 6,21 Ha, fasilitas umum 36,55 Ha. Berada 600 meter dari permukaan laut, dengan topografi tanah yang berbukit-bukit. Jumlah sungai yang melalui sebanyak 1 buah. Sumber air bersih diperoleh dari mata air sebanyak 3 buah yang dimanfaatkan oleh 215 KK, dan sumur gali sebanyak 162 buah yang dimanfaatkan oleh 456 KK.

Permasalahan yang dihadapi masyarakat Desa Naluk adalah ruas jalan Desa Naluk yang masih gelap karena belum terpasang lampu penerangan jalan umum, sehingga pada ruas jalan tersebut rawan kecelakaan dan rawan tindak kriminal

Kegiatan ini bertujuan untuk membuat dan memasang lampu tenaga surya sebagai lampu penerangan jalan umum dan mengedukasi masyarakat agar mampu mengoperasikan dan memelihara lampu tenaga surya.

METODE

Metode pelaksanaan kegiatan sebagai berikut :

1 Identifikasi masalah : memperoleh data faktual tentang potensi energi matahari, kondisi sosial ekonomi budaya masyarakat, dan kondisi lingkungan.
2 Analisis Kebutuhan: menghitung kebutuhan lampu penerangan jalan dan menentukan lokasi tempat pemasangannya.
3 Penyusunan Program: mempersiapkan komponen lampu tenaga surya yang diperlukan, mengujicoba, dan menginstalasinya.
4 Pelaksanaan Program: (a) memasang lampu penerangan jalan tenaga surya di lokasi, dan (b) memberikan pelatihan tentang cara mengoperasikan dan memelihara dengan baik lampu penerangan jalan tenaga surya.
5 Monitoring dan Evaluasi: melakukan kunjungan periodik untuk mengukur tingkat keandalan sistem dan kemampuan operasional masyarakat.
6 Pelaporan : menyusun laporan akhir kegiatan.

Tahapan Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1. Tahapan Kegiatan

No	Rencana Kegiatan	Keterlibatan dalam kegiatan		
		Dosen	Mahasiswa	Masyarakat
1	Pembuatan	Membuat lamputenaga surya	Membantu membuat lampu tenaga surya	Membuat tiang besi untuk lampu tenaga surya
2	Pemasangan	Memasang lampu tenaga surya	Memasang lampu tenaga surya	Memasang lampu tenaga surya
3	Pelatihan	Sebagai Instruktur	Sebagai Asisten Instruktur	Sebagai Peserta

Indikator keberhasilan kegiatan diperlihatkan pada tabel 2.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 2. Indikator Keberhasilan Kegiatan

No	Indikator	*Base Line* (sebelum kegiatan)	Pencapaian Setelah Kegiatan
1	Penerangan Jalan Umum	Tidak ada Lampu Penerangan Jalan Umum	Ada dan Terpasang Lampu Penerangan Jalan Umum

HASIL DAN PEMBAHASAN

Solusi yang berhasil diimplementasikan di Desa Naluk ini berupa Lampu Tenaga Surya yang berfungsi sebagai Lampu Penerangan Jalan Umum. Jumlah lampu tenaga surya yang dipasang sebanyak 2unit, masing-masing berdaya 65 watt bertegangan 12 VDC.

Potensi energi terbarukan yang dimiliki Desa Naluk diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3. Potensi Energi Terbarukan di Desa Naluk

No	Potensi Energi	Keterangan
1.	Matahari	Sangat berpotensi, dengan intensitas cahaya matahari terik (selama tidak hujan) dari jam 07.00 sampai dengan 16.00 waktu setempat
2.	Angin	Cukup berpotensi, karena Desa Naluk berada di lembah gunung Tampomas.
3.	Air	Kurang berpotensi karena sumber air Desa Naluk ini cukup jauh dan tidak terlalu besar.

Permasalahan lain yang muncul adalah masih sedikit masyarakat yang memahami tentang pemanfaatan energi terbarukan, terutama mengenai instalasi dan perawatan lampu penerangan jalan tenaga surya. Pemecahan masalah tersebut dilakukan dengan mengedukasi masyarakat dalam hal pengoperasian dan perawatan lampu penerangan jalan tenaga surya.

SIMPULAN

Kegiatan ini telah berhasil membuat dan memasang lampu penerangan jalan tenaga surya sebanyak 2unit berdaya masing-masing 65 watt. Pemasangan lampu tenaga surya dilakukan secara bersama-sama dengan masyarakat selama dua hari. Kegiatan selanjutnya adalah mengedukasi masyarakat agar mampu mengoperasikan dan memelihara dengan baik lampu penerangan jalan tenaga surya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pelaksana mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Padjadjaran yang telah memberikan hibah Pengabdian kepada Masyarakat sesuai kontrak nomor 2364/UN6.D/KS/2018 tanggal 16 Maret 2018

DAFTAR PUSTAKA

Messenger Roger A. 2005. Photovoltaics Systems Engineering. London : CRC Press.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PENELITIAN POTENSI ENERGI ARUS LAUT SEBAGAI SUMBER ENERGI BARU TERBARUKAN DI PERAIRAN TOYAPAKEH NUSA PENIDA BALI

Oleh :

A.Yuningsih, A. Masduki, B. Rachmat

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjunan No. 236, Bandung 40174

Diterima : 15-07-2010; Disetujui : 24-11-2010

SARI

Metode penelitian potensi energi arus yang diterapkan adalah pengukuran arus, pengamatan pasang surut, pengamatan parameter meteorologi dan kondisi morfologi pesisir dan dasar laut daerah penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lokasi penempatan turbin arus laut cukup memenuhi syarat dengan morfologi relatif landai pada kedalaman ± 20 meter dan dekat dari pemukiman penduduk. Kecepatan arus rata-rata di perairan Toyapakeh mencapai kecepatan 2,5 – 3,0 m/detik dengan durasi 9 – 18 jam/hari untuk kecepatan diatas 0,5 m/detik. Dengan demikian, perairan di Toyapakeh merupakan lokasi yang cukup potensial untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi baru terbarukan, khususnya pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL).

Kata Kunci : energi arus laut, turbin arus laut, energi baru terbarukan, Selat Toyapakeh

ABSTRACT

The methods of current energy potential study are current measurements, tidal and meteorological parameter observations, condition of coastal morphology and seafloor of the study area. The results show that, the location for turbine position is in area with relatively gentle slope morphology at a 20 meters water depth and it is close to local community. Based on the analysis of flow water conditions at Toyapakeh Strait, the average current velocity is about 2,5m/s to 3,0 m/s and within 24 hours, the flow velocity is greater than 0.5 m/s occurs for approximately 9 to 18 hours. Therefore, the results of the ocean current energy analysis indicate that the study area is very potential for using reneawable energy resource as a power plant location.

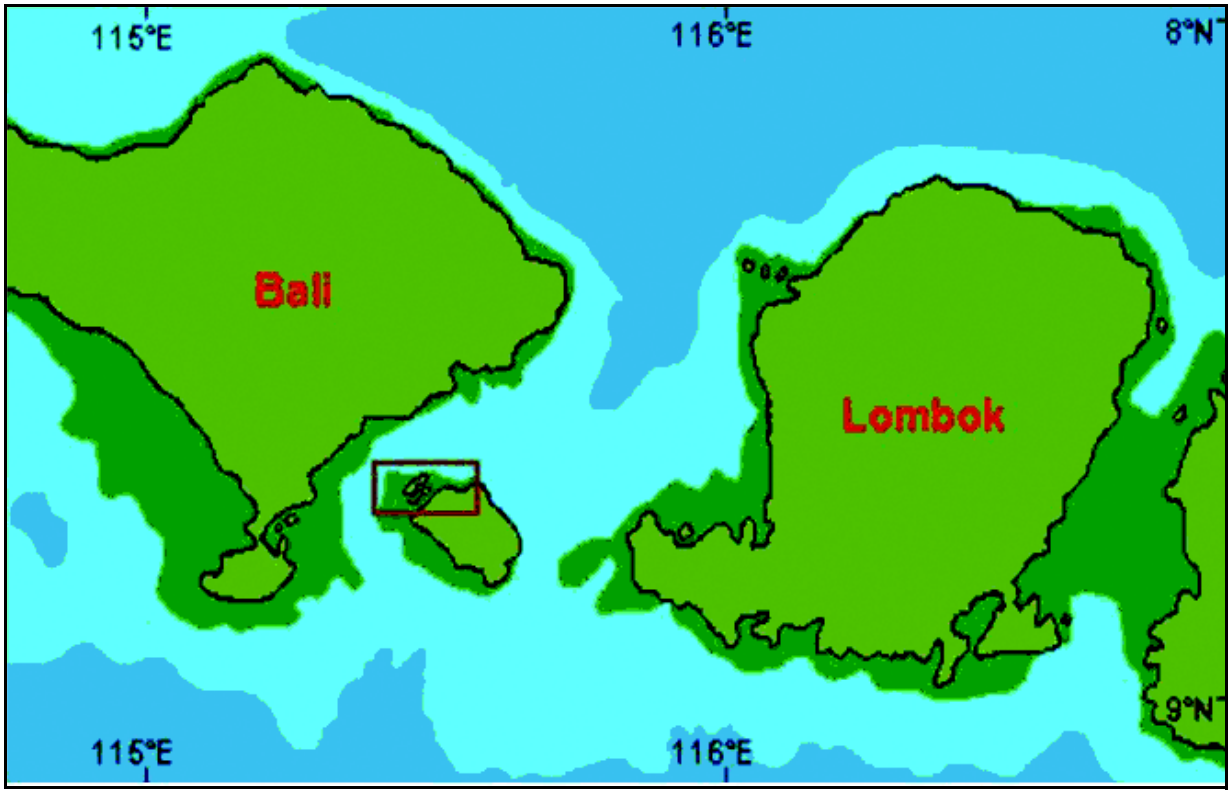
Keywords: ocean currents energy, Sea Current Turbin, renewable energy, Toyapakeh Strait.

PENDAHULUAN

Penelitian dan pemetaan potensi energi arus laut merupakan salah satu upaya penting dalam mengekplorasi sumber energi non konvesional dari laut. Energi arus laut sebagai energi terbarukan adalah energi yang cukup potensial di wilayah pesisir terutama pulau-pulau kecil di kawasan timur (Suprijo, dkk., 2006). Kawasan timur Indonesia seperti Bali dan Nusatenggara umumnya berupa selat-selat sempit diantara dua gugusan pulau, serta penduduknya mayoritas hidup dari hasil laut yang memerlukan energi.

Lokasi penelitian yang sudah dipilih yaitu Selat Toyapakeh (Gambar 1), Nusa Penida – Propinsi Bali. Berdasarkan data sekunder dari daftar arus pasang surut (Hadi, 2006) hasil analisis perbedaan waktu pasang surut, batimetri regional dan pola arus lintas Indonesia regional (ARLINDO) di daerah ini dilalui arus dengan kecepatan yang memenuhi syarat sebagai pembangkit listrik tenaga arus.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 1. Lokasi penelitian di Selat Toyopakeh, Nusa Penida

Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui morfologi dasar laut dan sifat-sifat hidro-oseanografi sehingga dari data tersebut dapat diketahui nilai energi kinetik arus laut yang dikonversikan ke dalam energi listrik dan referensi lokasi yang memenuhi syarat yang dibutuhkan sebagai data masukan dasar dalam pemanfaatan energi arus laut untuk pembangkit listrik di kawasan tersebut.

Geologi Regional daerah penelitian mengacu pada Peta Geologi Bersistem Indonesia Lembar Bali, Nusatenggara (Purbo Hadiwidjojo, dkk., 1989) Skala 1 : 250.000 yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung. Pulau Nusa Penida, Pulau Lembongan dan Pulau Ceningan merupakan kepulauan yang terdapat di tenggara Pulau Bali. Ketiga pulau tersebut tersusun dari batugamping terumbu, setempat dolomit berwarna putih dan lunak. Di bagian selatan pulau Nusa Penida, batugamping ini memiliki perlapisan, terhablur ulang dan lapuk. Morfologi kars merupakan ciri dari bentang alam pulau ini, akan tetapi telah mengalami erosi dan pelapukan, membentuk bukit-bukit yang ditutupi oleh padang rumput dan ladang kering, hanya pada bagian jejak torehan-torehan sungai kering dan tebing-tebing yang agak curam ditumbuhi beragam vegetasi. Morfologi ini tampak jelas pada puncak Mundi kearah selatan dan barat. Satuan batugamping terumbu tersebut berumur Pliosen Akhir yang juga tersebar luas di selatan pulau Bali, disebut sebagai Formasi Selatan.

METODE

Dalam pemilihan lokasi penempatan turbin arus laut di suatu daerah diperlukan berbagai pertimbangan dari fenomena badan air dan dasar perairan. Dinamika badan air yang disebut dalam definisi di atas meliputi: pasang surut (muka air) dan arus, sedangkan fenomena dasar perairan yang disebut dalam definisi di atas meliputi: morfologi dasar laut, batimetri atau'topografi' dasar laut, dan jenis material dasar laut .

Untuk menghasilkan informasi hidrooseanografi dan informasi geologi yang maksimal maka dilakukan penelitian dengan beberapa tahapan pekerjaan sebagai berikut:

Studi data sekunder diperlukan untuk pemahaman tentang kondisi daerah penelitian secara regional untuk selanjutnya menjadi acuan dalam kegiatan lapangan. Data sekunder yang diperlukan berupa data batimetri regional,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

geologi regional, arus regional dan data prediksi pasang surut dari stasiun terdekat.

Metode penentuan posisi menggunakan *peralatan Global Positioning System (GPS Receiver)* tipe Trimble DSM132 dilakukan untuk mengetahui posisi pengambilan data pada saat sounding, pengukuran arus, pengukuran pasang surut, pengukuran paramater klimatologi dan pemetaan karakteristik pantai

Pengukuran arus dimaksudkan untuk mengetahui pola arus yang terjadi di daerah penelitian yang sangat erat kaitannya dengan data potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dari energi arus. Pengukuran arus bergerak menggunakan ADCP *(Acoutic Doppler Current Profiler)* mobile untuk mendapatkan jangkauan lokasi yang luas untuk mengetahui lokasi potensial dengan kecepatan arus yang memenuhi syarat, dipasang di kapal dan dioperasikan bersamaan dengan pengukuran batimetri. Sedangkan pengukuran arus stasioner menggunakan ADCP *(Acoutic Doppler Current Profiler)* statis merk Nortek Continental di satu titik dimaksudkan untuk mendapatkan data arah dan kecepatan arus absolut baik saat kondisi air tunggang kecil maupun saat kondisi air tunggang besar pada berbagai kedalaman.

Pengukuran batimetri detail skala 1 : 10.000 menggunakan *Echosounder 200 KHz Single Beam* tipe Reason Navisound 210 dan side scan sonar untuk mengetahui morfologi dasar laut sehingga didapat lokasi yang refresentatif untuk menempatkan alat pembangkit listrik tenaga arus, karena berdasarkan penelitian terdahulu alat pembangkit harus dipasang pada daerah dengan morfologi landai agar kuat menanam penyangga turbin arus.

Pengukuran pasang surut menggunakan Automatic Tide Gauge Valeport 740 sebagai koreksi harian serta penentuan konstanta harmonis selama 15 hari

Pengukuran kecepatan angin dengan *Weather Station II* dilakukan untuk mengetahui kecepatan angin pada saat pengambilan data arus dan pasang surut. Data ini juga dapat digunakan untuk mendapatkan pola angin beserta besaran gelombang yang berpotensi di daerah penelitian.

Pengamatan kondisi geologi berupa pengamatan karakteristik pantai untuk mengetahui kondisi morfologi pantai pada lokasi yang akan digunakan untuk menempatkan turbin pembangkit.

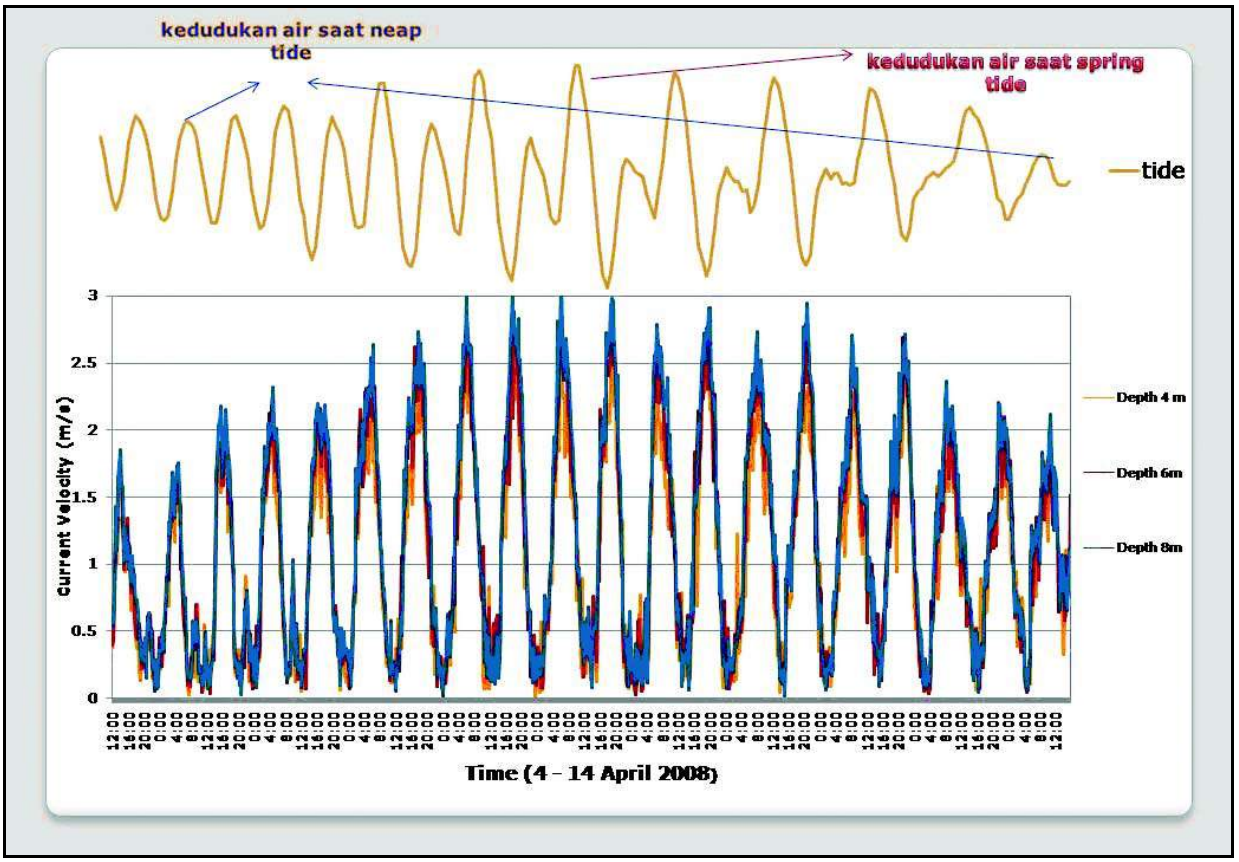
Data yang diperoleh dari aktivitas-aktivitas tersebut di atas disajikan sebagai informasi dalam bentuk peta dan non-peta serta disusun dalam bentuk basis data kelautan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

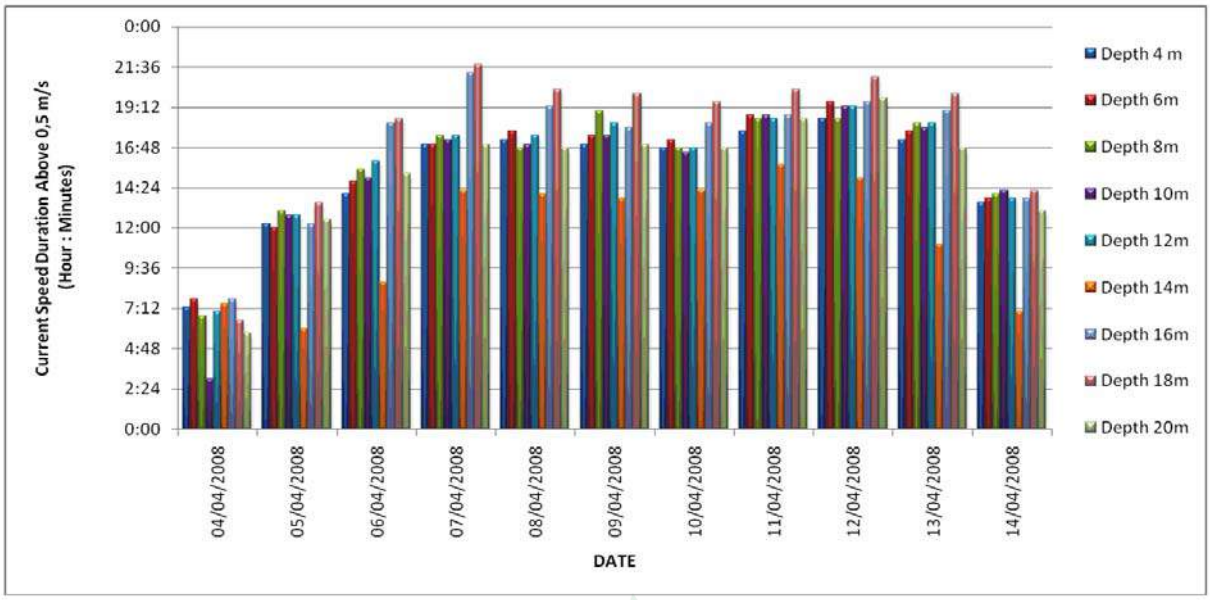
Hasil penelitian pola arus laut di daerah Selat Toyapakeh,Nusa Penida (Gambar 2) dari tanggal 4 – 14 April 2008 memperlihatkan bahwa kecepatan arus pasut di atas 0.5 m/detik mempunyai durasi waktu antara 5 jam sampai 20 jam dalam waktu 24 jam dengan kecepatan antara 0.5 m/det – 3.28 m/det (Yuningsih, dkk., 2008). Saat kondisi Neap Tide (surut perbani) durasi waktu kecepatan arus di atas 0.5 m/det berkisar antara 5 – 8 jam sedangkan saat Spring Tide (pasang purnama) mempunyai durasi waktu berkisar antara 12 – 20 jam. Kondisi ini erat kaitannya dengan tipe pasang surut di lokasi ini, yaitu tipe semi diurnal (dua kali kejadian pasang dan dua kali kejadian surut dalam waktu 24 jam). Grafik durasi waktu kecepatan arus di atas 0.5 m/det di perairan Selat Toyopakeh dapat dilihat pada Gambar 3. Kecepatan arus maksimum pada saat neap tide 2.46 m/det dan saat spring tide 3.29 m/det. Dengan memasukan nilai kecepatan tersebut pada rumus rapat daya, maka nilai rapat daya maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 8.08 kW/m2 pada saat kondisi neap tide dan 19.32 kW/m2 pada saat kondisi spring tide. Dengan asumsi penampang turbin 40 m2 dan koefisien 0.5 maka daya listrik yang dihasilkan berkisar antara 150 kW – 350 kW.

Kondisi arus di sekitar perairan Nusa Penida sangat dipengaruhi oleh kondisi dasar lautnya, dimana dari peta batimetri (Gambar 4) dan morfologi dasar laut di bagian Selat Toyopakeh (Gambar 5) relatif curam terutama di bagian sisi kiri dan kanan selat dekat garis pantai dengan pola kontur yang sangat rapat sejajar garis pantai dan semakin dalam ke bagian tengah selat membentuk morfologi lembah curam mencapai kedalaman 200 meter sampai ke selatan (Yuningsih, dkk., 2008). Pola kontur dipengaruhi oleh adanya cekungan-cekungan dasar laut di bagian tengah selat ditunjukkan dengan pola kontur melingkar tertutup sehingga membentuk morfologi lembah berupa alur memanjang berarah timur laut – baratdaya. Morfologi terjal di kedua sisi Selat Toyopakeh dengan lereng yang tererosi disebabkan oleh pergerakan secara periodik arus pasang surut

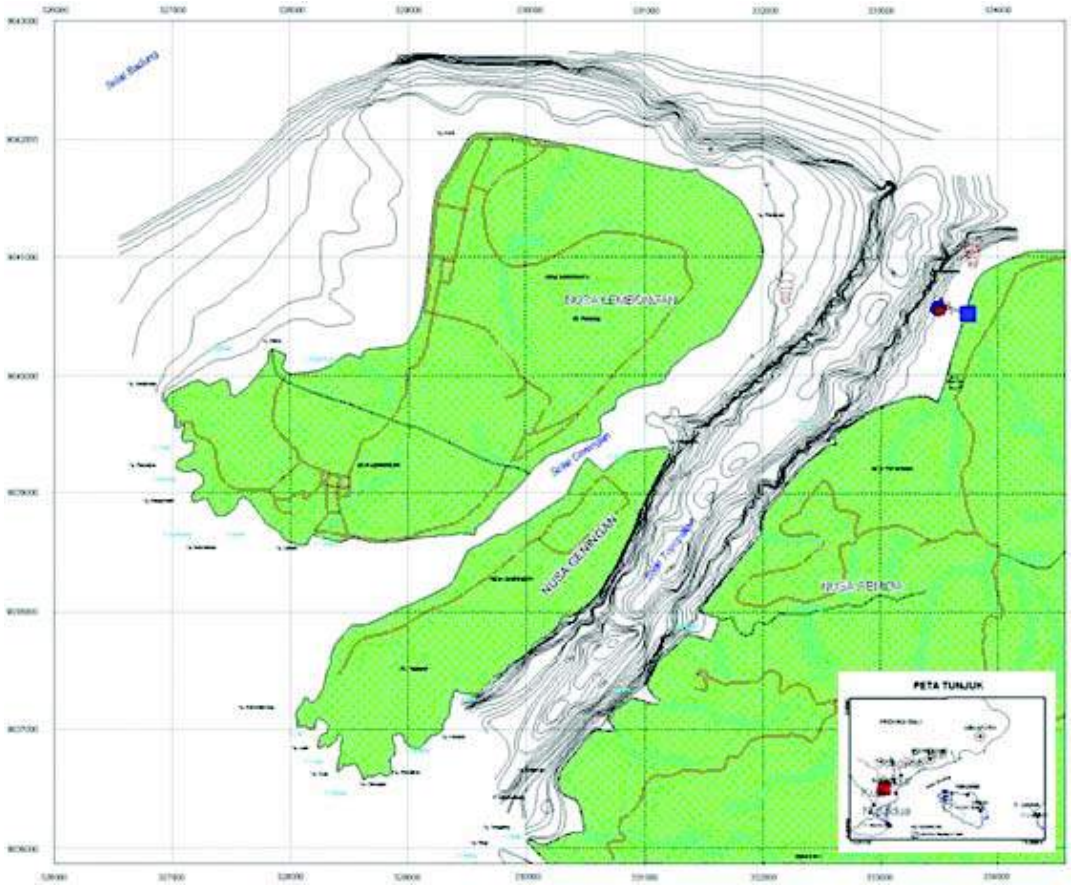
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



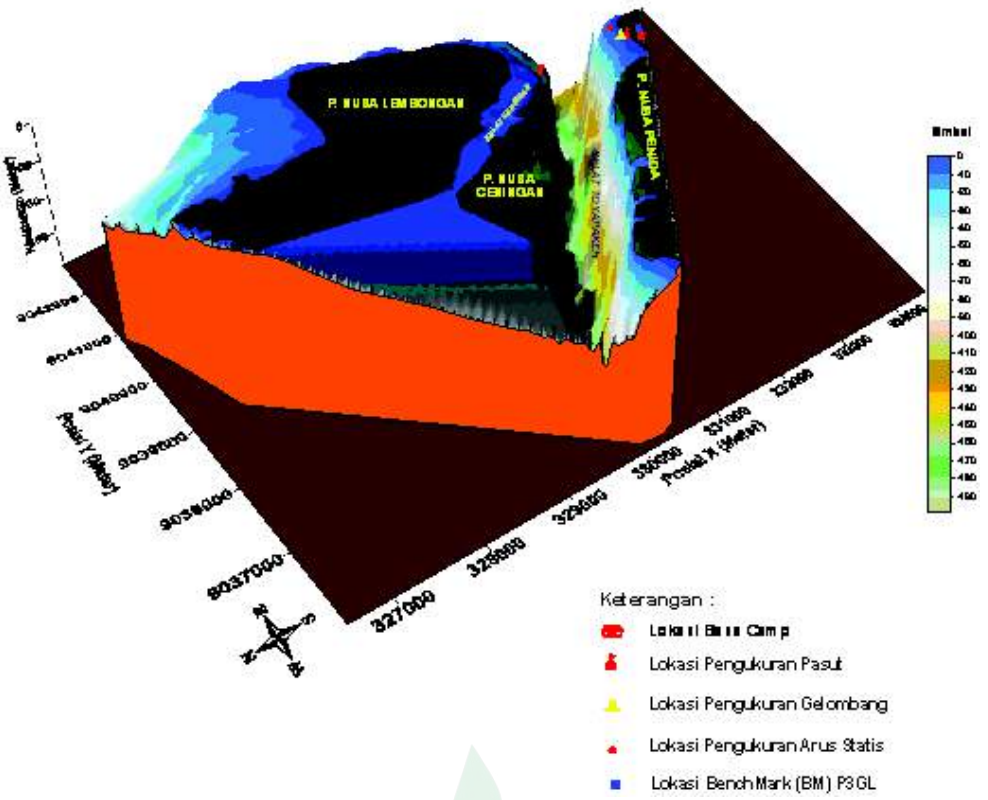
Gambar 2. Kecepatan arus pada kedalaman 4, 6 dan 8 meter dalam kondisi pasang purnama (spring tide) dan surut perbani (neap tide), hasil pengukuran arus di Selat Toyapakeh, Nusa Penida (Yuningsih, dkk, 2008).



Gambar 3. Grafik durasi kecepatan arus di atas 0.5 m/det (Yuningsih, dkk.,2008

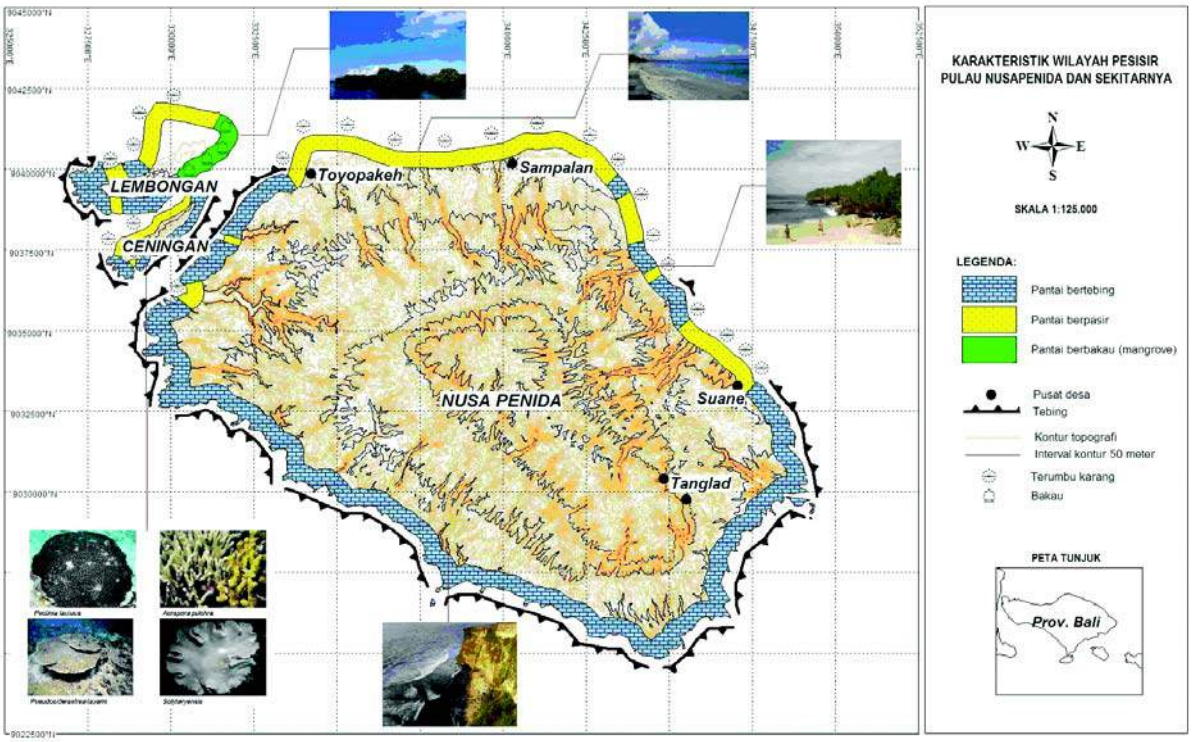


Gambar 4. Peta batimetri Selat Toyopakeh, Nusa Penida



Gambar 5. Gambaran 3 dimensi morfologi dasar laut di Selat Toyopakeh - Nusa Penida, Bali

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 6. Peta karakteristik wilayah pesisir Pulau Nusa Penida dan sekitarnya

dan arus global (Arlindo) yang sangat kuat melalui selat, sedangkan morfologi lembah memanjang selat menunjukkan bahwa tatanan geologi bawah dasar laut sangat berkaitan dengan periode aktifitas tektonik yang berkembang di daerah penelitian.

Secara umum morfologi kawasan pesisir di pulau Nusa Penida, Nusa Lembongan dan Nusa Ceningan adalah pantai bertebing, karakter pantai ini menempati hampir 70 % dari ketiga pulau tersebut (Gambar 6). Khususnya di kawasan pesisir selatan Nusa Penida, selatan Nusa Lembongan dan tenggara Nusa Ceningan. Sedangkan kawasan pantai berpasir dengan morfologi landai ditemukan tersebar di kawasan pesisir utara, di kawasan dermaga desa Toyapakeh memanjang hingga ke kawasan pesisir timur Desa Suane menerus hingga Desa Semaye dan di kawasan pantai timur Pulau Lembongan. Bentuk kawasan pantai dengan morfologi landai dengan sudut antara 2° hingga 3° dimanfaatkan masyarakat sebagai kawasan pemukiman dan budidaya rumput laut.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian potensi energi arus laut sebagai pembangkit energi baru terbarukan di daerah Selat Toyopakeh dapat disimpulkan bahwa daerah ini cukup potensial dan memenuhi syarat untuk penempatan turbin pembangkit listrik tenaga arus laut.

Kecepatan arus pasang-surut di perairan Toyopakeh umumnya lebih kecil dari 1,5 m/det. Tapi pada kondisi tertentu kecepatannya bisa mencapai 2,5 – 3,0 m/det bahkan lebih besar dari 3,0 m/det. Kecepatan arus maksimum umumnya terjadi pada kondisi air pasang purnama dengan arah relatif ke utara, sedangkan kondisi kecepatan arus minimum biasanya pada saat surut perbani dengan arah relatif ke selatan.

Lokasi arus maksimum hasil pemodelan dengan validitas data lapangan umumnya terletak pada selat menyempit dan mendangkal.

Berdasarkan kondisi morfologi pesisir dan dasar laut di daerah penelitian maka pemilihan lokasi penempatan turbin arus umumnya pada lokasi dengan morfologi relatif landai dengan kedalaman ±20 meter, jarak dari lokasi ke

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

perumahan penduduk tidak terlalu jauh dan masih dilalui arus cukup kuat.

Hasil perhitungan konversi energi arus laut menjadi energi listrik berdasarkan data arus di selat Toyopakeh sebesar 150 - 350 kw.

ACUAN

Purbo Hadiwidjojo, M.M., Samodra, H., dan Amin,T.C., 1989. *Peta Geologi Bersistem Indonesia Lembar Bali, Nusatenggara, Skala 1 : 250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung

Hadi, S., 2006. *Studi dan Pemetaan Potensi Energi Bayu dan Arus Laut untuk Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan di Indonesia.* Laporan Akhir Riset Unggulan, LP3M ITB, Bandung

Supriyo, T. , Rachmayani, R., Atmanagara, G., Nining, S., Ningsih. 2006. *Marine Current Potential Energi for Environmental Friendly Electricity Generation in Bali, Lombok and Makassar Straits*. Oceanography Study Program, ITB, Bandung

Yuningsih, A,. Masduki, A., Rachmat, B., Prijantono, A., 2008. *Penelitian Potensi Energi Arus Laut sebagai Pembangkit Listrik bagi Masyarakat Pesisir di Selat Badung, Nusa Penida Bali,* Puslitbang Geologi Kelautan Bandung, Tidak dipublikasi.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Penerapan Algoritma SMARTER-ROC untuk *Scoring* Wilayah Potensial Pengembangan Energi Terbarukan dari Limbah Kelapa Sawit

Puji Herwina Noprita[1], Mustakim[2], Rahmatul Annisa[3], Said Thaufik Rizaldi[4]
[1,2,3,4]Puzzle Research Data Technology (Predatech), Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
[1,2,3,4]Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Tampan. Pekanbaru, Riau – Indonesia 28293
e-mail: pujiherwina@gmail.com, arahmatulannisa12@gmail.com, mustakim@uin-suska.ac.id

Abstrak

Produktivitas kelapa sawit setiap tahunnya mengalami peningkatan yang pesat sehingga menghasilkan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. PT Perkebunan Nusantara V mengupayakan teknologi yang lebih bersih dan ramah lingkungan pada setiap kegiatan produksi. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah yang berkaitan dengan limbah kelapa sawit adalah melakukan pengembangan energi terbarukan dari limbah tersebut, maka dibutuhkan sebuah teknik yang tepat untuk menentukan wilayah yang paling berpotensi. Teknik pendukung keputusan yang dapat digunakan pada kasus ini adalah Simple Multi Attribute Rating Technique Exploiting Ranks (SMARTER) dengan pembobotan Rank Order Centroid (ROC) yaitu teknik yang didasarkan pada teori bahwa setiap alternatif dari sejumlah kriteria memiliki bobot yang menggambarkan seberapa penting akan dibandingkan dengan kriteria lain. Kriteria yang digunakan yaitu Jumlah Pabrik Kelapa Sawit (0.37), Kapasitas Pabrik Kelapa Sawit (0.23), Hasil Produksi Perkebunan (0.16), Luas Sektor Perkebunan (0.11), Kepadatan Penduduk (0.07), Jumlah Penduduk (0.04), dan Jumlah Desa (0.02), sehingga dihasilkan alternatif terbaik yaitu Kecamatan Tapung Hulu Kabupaten Kampar (0.5708) sebagai wilayah potensial pengembangan energi terbarukan dari limbah kelapa sawit.

Kata kunci: *SMARTER-ROC, Energi Terbarukan, Limbah Pabrik Kelapa Sawit*

Abstract

Palm oil productivity has increased rapidly every year to produce waste that has the potential to pollute the environment. PT Perkebunan Nusantara V strives for cleaner and more environmentally friendly technology in every production activity. One way that can be used to overcome problems related to palm oil mill effluents is to develop renewable energy from these wastes, so an appropriate technique is needed to determine the most potential areas. The decision support technique that can be used in this case is the Simple Multi Attribute Rating Technique Exploiting Ranks (SMARTER) with a Rank Order Centroid (ROC) weighting, a technique based on the theory that each alternative of a number of criteria has a weight that illustrates how important it will be compared to the criteria other. The criteria used are the Number of Palm Oil Mill (0.37), Palm Oil Mill Capacity (0.23), Plantation Production Results (0.16), Plantation Sector Area (0.11), Population Density (0.07), Number of Population (0.04), and Number of Villages (0.02), so that the best alternative is produced, Tapung Hulu District, Kampar Regency (0.5708) as a potential area for renewable energy development from palm oil mill effluents.

Keywords*: SMARTER-ROC, Renewable Energy, Palm Oil Mill Effluent*

1. Pendahuluan

Sumber energi memiliki dampak penting pada kebijakan strategis negara terutama untuk layanan kehidupan sehari-hari [1]. Indonesia sampai saat ini masih bergantung kepada bahan bakar minyak sebagai kebutuhan energi masyarakat, sedangkan penyediaan dan konsumsi energi nasional seperti minyak bumi, gas alam dan batubara termasuk dalam kelompok energi fosil yang tidak dapat diperbaharui dan suatu saat akan habis terkuras sehingga perlu dilakukan usaha untuk mencari dan mengembangkan energi alternatif yang dapat diperbaharui, ramah lingkungan dan bernilai ekonomis. Energi alternatif tersebut dapat bersumber dari potensi alam seperti air, angin, dan sinar matahari atau energi yang dapat diciptakan melalui keluaran-keluaran hasil pertanian atau perkebunan, baik berupa tanaman budidaya maupun yang bersumber dari sisa hasil produksi (limbah) yang memiliki nilai berkelanjutan (*sustainable*) yang cukup tinggi [2].

Salah satu jenis tanaman yang menduduki posisi penting pada sektor perkebunan adalah tanaman kelapa sawit, karena kelapa sawit menghasilkan nilai ekonomi terbesar per hektarnya di dunia dari sekian banyaknya tanaman yang menghasilkan minyak atau lemak [3]. Indonesia merupakan negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia, hal ini disebabkan karena salah satu

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN (Printed) : 2579-727
ISSN (Online) : 2579-5406

komoditi ekspor Indonesia yang cukup penting sebagai penghasil devisa negara selain minyak dan gas adalah kelapa sawit [3].

Perkebunan kelapa sawit di Indonesia tersebar dibeberapa wilayah dengan pengembangan terbesar berada di Kalimantan, sedangkan produsen kelapa sawit terbesar adalah Pulau Sumatera salah satunya di Provinsi Riau, yang mana produksi kelapa sawit di Riau mencapai 24,40 persen dari total kelapa sawit Indonesia pada tahun 2008 [7]. Pada tahun 2016, Riau memiliki perkebunan kelapa sawit seluas 2.425.138 hektar dengan hasil produksi 7.777.069 ton, sehingga berpotensi sebagai penghasil kelapa sawit terbesar di Indonesia [8].

Produktivitas kelapa sawit setiap tahunnya mengalami peningkatan yang cukup pesat sehingga menghasilkan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan, untuk mengatasi masalah-masalah yang berkaitan dengan limbah kelapa sawit mengharuskan Pemerintah Nasional maupun Daerah mengambil keputusan yang tepat dalam pengembangan energi terbarukan dari limbah kelapa sawit tersebut. PT Perkebunan Nusantara V bekerja sama dengan pemerintah dalam mengupayakan teknologi yang lebih bersih dan ramah lingkungan pada setiap kegiatan produksi, salah satunya dalam pengembangan energi terbarukan dari limbah kelapa sawit, sehingga kebutuhan masyarakat terpenuhi tetapi tetap tidak mencemari lingkungan, maka dibutuhkan sebuah teknik yang tepat dalam pengambilan keputusan tersebut.

Salah satu teknik pendukung keputusan yang dapat digunakan pada studi kasus ini adalah *Simple Multi Attribute Rating Technique Exploiting Ranks* (SMARTER) dengan pembobotan menggunakan *Rank Order Centroid* (ROC) didasarkan pada teori bahwa setiap alternatif dari sejumlah kriteria memiliki nilai-nilai dan setiap kriteria memiliki bobot yang menggambarkan seberapa penting akan dibandingkan dengan kriteria lain.

Pemilihan kriteria untuk perankingan wilayah potensial pengembangan energi terbarukan dari limbah kelapa sawit ditentukan berdasarkan data pertumbuhan penduduk, perkembangan wilayah dan sumber bahan baku yaitu Jumlah Desa (JD), Jumlah Penduduk (JP), Kepadatan Penduduk (KP), Luas Sektor Perkebunan (LSP), Hasil Produksi Perkebunan (HPP), Jumlah Pabrik Kelapa Sawit (JPKS) dan Kapasitas Pabrik Kelapa Sawit (KPKS). Kriteria ini dikembangkan dari penelitian yang dilakukan oleh Richa Dwi Kusmiyanti, Suliatun dan Mustakim (2017) dalam melakukan analisis sensitifitas model SMART-AHP dengan SMARTER-ROC sebagai pengambilan keputusan multi kriteria yang menyimpulkan bahwa hasil perankingan menggunakan metode SMARTER dengan pembobotan ROC dan dataset tahun 2015 menunjukkan hasil perankingan wilayah yang paling potensial penghasil kelapa sawit. Hal ini dibuktikan dengan hasil nilai sensitifitas terkecil dengan nilai SMARTER yaitu 0,0011.

Oleh karena itu, berdasarkan latar belakang diatas penelitian ini akan membahas terkait dengan “Penerapan Algoritma SMARTER-ROC untuk *Scoring* Wilayah Potensial Pengembangan Energi Terbarukan Dari Limbah Kelapa Sawit”. Hasil perankingan terbaik dapat digunakan oleh perusahaan dan pemerintah sebagai referensi pendukung keputusan dalam menentukan wilayah yang berpotensi untuk dilakukan pengembangan energi terbarukan dari limbah kelapa sawit di Provinsi Riau.

2. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian merupakan tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian ini, mulai dari tahap perencanaan hingga analisis yang divisualisasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

2.1. Perencanaan

Pada tahap perencanaan dilakukan studi literatur dengan memahami jurnal, penelitian terdahulu dan teori-teori yang berkaitan dengan topik permalasalahan yang akan dijadikan sebagai landasan dalam penelitian ini.

2.1.1. Algoritma SMARTER-ROC

Metode *Simple Multi-Attribute Rating Technique Exploiting Rank* (SMARTER) adalah pengembangan dari metode *Simple Multi-Attribute Rating Technique* (SMART), yaitu metode yang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN (Printed) : 2579-727
ISSN (Online) : 2579-5406

didasarkan pada teori bahwa setiap alternatif terdiri dari beberapa kriteria yang memiliki nilai-nilai dan setiap kriteria memiliki bobot dengan range antara 0 sampai 1 yang menggambarkan seberapa penting ia dibandingkan dengan kriteria lain [9]. Perbedaan antara metode SMART dan SMARTER terletak pada pembobotannya. Pada metode SMARTER bobot ditentukan menggunakan *Rank Order Centroid* (ROC) untuk mengatasi masalah pembobotan langsung pada metode SMART yang dianggap tidak proporsional dimana setiap bobot yang diberikan harus mencerminkan jarak dan prioritas setiap kriteria dengan tepat [10][14].

Rank Order Centroid (ROC) didasarkan pada tingkat kepentingan atau prioritas dari kriteria satu dengan yang lainnya, dapat ditulis CR1 ≥ CR2 ≥ CR3 ≥ ….. ≥ CRn. Begitu juga untuk menentukan pembobotannya W1≥ W2 ≥ W3 ≥ ….. ≥ Wn, dimana W1 merupakan bobot untuk kriteria C1. Secara umum pembobotan ROC dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Wk = \frac{1}{k}\sum_{i=k}^{k}\left(\frac{1}{i}\right) \quad (1)$$

Keterangan:
W : Nilai pembobotan kriteria
k : Jumlah kriteria
i : Nilai alternatif

Selanjutnya adalah perhitungan nilai *utility*, rumus yang digunakan adalah:

$$v(x) = \sum_{i=1}^{n} wi\ vi\ (x) \quad (2)$$

Keterangan:
Wi : Bobot yang mempengaruhi dari dimensi ke i terhadap nilai keseluruhan evaluasi.
Vi : Objek evaluasi pada dimensi ke i
n : Jumlah dimensi yang berbeda

Kemudian perhitungan nilai akhir menggunakan rumus :

$$n1 = \sum_{j=1}^{k} nw_j\ \ u_{ij} \quad (3)$$

Keterangan:
Wj : Bobot dari kriteria ke 1
Uij : Nilai *utility* kriteria ke-j untuk keluarga ke-i
ni : Nilai akhir

2.1.2. Energi Terbarukan

Penggunaan energi oleh manusia secara terus menerus membuat pasokan energi untuk kedepannya tidak akan tercukupi, khususnya pada penggunaan energi listrik dan minyak bumi [12]. Kurangnya pengambilan keputusan jangka pendek akan memperburuk pasokan energi selanjutnya, sehingga perlu dilakukan usaha untuk mencari dan mengembangkan energi alternatif yang dapat diperbaharui, ramah lingkungan dan bernilai ekonomis, salah satunya dapat bersumber dari limbah pabrik kelapa sawit [2].

Dalam beberapa dekade terakhir, penelitian tentang kelapa sawit telah berkembang pesat, dengan mengamati potensi kelapa sawit sebagai suatu kandidat terbesar sebagai pengganti energi pada masa depan, karena umur kelapa sawit cenderung lebih tahan lama, serta buah dan limbah yang dihasilkan kelapa sawit yang mengandung gas metan sangat mampu memberikan tambahan pasokan energi terbarukan untuk masa depan [13].

2.1.3. Limbah Kelapa Sawit

Limbah pabrik kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) telah diidentifikasi sebagai penyebab utama dari memburuknya kondisi lingkungan serta menjadi sumber terbesar polusi air dan polusi global selama periode ini, limbah tersebut dihasilkan dari ekstraksi minyak dan proses pembersihan [10]. Selama proses produksi CPO, ekstraksi tandan buah segar kelapa sawit membutuhkan air dalam jumlah besar sehingga menghasillkan limbah yang disebut POME yang terdiri dari kombinasi air limbah dari tiga sumber utama, yaitu, klarifikasi (60%), sterilisasi (36%), dan hidrosiklon (4%) [11]. Kuantitas POME yang dihasilkan bergantung pada beberapa faktor, seperti produksi kelapa sawit, tingkat aktivitas komersial, dan perlakuan yang tidak terampil [10].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan suatu tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan pada proses penelitian. Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan di PT Perkebunan Nusantara V (PTPN V) dan Badan Pusat Statistik (BPS) dengan 7 data kriteria, yaitu Jumlah Desa (JD), Jumlah Penduduk (JP), Kepadatan Penduduk (KP), Luas Sektor Perkebunan (LSP), Hasil Produksi Perkebunan (HPP), Jumlah Pabrik Kelapa Sawit (JPKS) dan Kapasitas Pabrik Kelapa Sawit (KPKS) pada setiap kecamatan di Provinsi Riau yang merupakan wilayah perkebunan kelapa sawit PT Perkebunan Nusantara V pada tahun 2018, data disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengumpulan Data

Kabupaten/ Kecamatan		KRITERIA						
		JD	JP	KP	LSP	HPP	JPKS	KPKS
Kampar								
1	Perhentian Raja	5	18.440	165,32	2.818,00	8.677,60	1	30
2	Tapung	25	100.613	73,66	4.710,30	21.763,07	2	90
3	Tapung Hulu	14	87.202	74,59	27.185,31	538.289,42	2	100
Indragiri Hulu								
4	Sungai Lala	12	14.946	19,04	2.610,00	29.417,19	0	0
5	Rakit Kulim	19	23.456	18,54	4.646,00	84.605,01	0	0
Rokan Hilir								
6	Tanah Putih	18	70.933	37,04	3.461,00	4.391,76	1	30
7	Pujud	16	37.325	37,90	4.819,00	55.299,63	1	60
Rokan Hulu								
8	Tandun	9	32.129	101,74	3.246,00	68.695,71	1	60
9	Pagaran Tapah Darussalam	3	17.917	118,05	13.382,89	304.442,26	2	90
10	Pendalian IV Koto	5	12.430	58,51	2.150,00	40.371,37	0	0
11	Kabun	6	28.366	77,30	2.527,61	58.837,91	0	0
Siak								
12	Lubuk Dalam	7	21.007	135,45	5.634,23	84.592,51	1	45
13	Dayun	11	32.436	139,67	2.260,48	10.624,02	1	60

Karena penelitian ini hanya menganalisa wilayah yang berkaitan dengan limbah kelapa sawit, maka sebelum masuk ke tahap pengolahan data, perlu dilakukan penghapusan data yang tidak memiliki nilai pada kriteria utama yang merupakan sumber bahan baku dari limbah kelapa sawit tersebut yaitu JPKS dan KPKS, sehingga diperoleh 9 alternatif wilayah yang akan digunakan dalam pengolahan data seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Alternatif Wilayah yang akan Digunakan

Kabupaten/ Kecamatan		KRITERIA						
		JD	JP	KP	LSP	HPP	JPKS	KPKS
Kampar								
1	Perhentian Raja	5	18.440	165,32	2.818,00	8.677,60	1	30
2	Tapung	25	100.613	73,66	4.710,30	21.763,07	2	90
3	Tapung Hulu	14	87.202	74,59	27.185,31	538.289,42	2	100
Rokan Hilir								
4	Tanah Putih	18	70.933	37,04	3.461,00	4.391,76	1	30
5	Pujud	16	37.325	37,90	4.819,00	55.299,63	1	60
Rokan Hulu								
6	Tandun	9	32.129	101,74	3.246,00	68.695,71	1	60
7	Pagaran Tapah Darussalam	3	17.917	118,05	13.382,89	304.442,26	2	90
Siak								
8	Lubuk Dalam	7	21.007	135,45	5.634,23	84.592,51	1	45
9	Dayun	11	32.436	139,67	2.260,48	10.624,02	1	60

2.3. Pengolahan Data

Pada proses pengolahan data diperlukan beberapa kriteria dan sub-kriteria serta bobot dari masing-masingnya. Dari kriteria yang sudah ditetapkan oleh pakar, dalam perhitungan menggunakan algoritma SMARTER akan ditentukan terlebih dahulu menggunakan pembobotan ROC dengan merankingkan masing-masing kriteria berdasarkan tingkat kepentingan, proses pembobotan ROC untuk kriteria tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pembobotan ROC untuk Kriteria

No	Kriteria	Peringkat	ROC	Bobot
1	Jumlah Pabrik Kelapa Sawit	1	$\frac{1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{5}+\frac{1}{6}+\frac{1}{7}}{7}$	0,37

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN (Printed) : 2579-727
ISSN (Online) : 2579-5406

2	Kapasitas Pabrik Kelapa Sawit	2	$\frac{0+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{5}+\frac{1}{6}+\frac{1}{7}}{7}$	0,23
3	Hasil Produksi Perkebunan	3	$\frac{0+0+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{5}+\frac{1}{6}+\frac{1}{7}}{7}$	0,16
4	Luas Sektor Perkebunan	4	$\frac{0+0+0+\frac{1}{4}+\frac{1}{5}+\frac{1}{6}+\frac{1}{7}}{7}$	0,11
5	Kepadatan Penduduk	5	$\frac{0+0+0+0+\frac{1}{5}+\frac{1}{6}+\frac{1}{7}}{7}$	0,07
6	Jumlah Penduduk	6	$\frac{0+0+0+0+0+\frac{1}{6}+\frac{1}{7}}{7}$	0,04
7	Jumlah Desa	7	$\frac{0+0+0+0+0+0+\frac{1}{7}}{7}$	0,02

Langkah selanjutnya yaitu menentukan sub-kriteria dari masing-masing kriteria dengan cara mengubah data yang ada di dalam kriteria tersebut menjadi data berkelompok, kecuali untuk data dari kriteria JPKS yang hanya memiliki nilai 1 dan 2. Kemudian tentukan peringkat sub-kriteria tersebut berdasarkan tingkat kepentingannya, setelah itu hitung bobotnya menggunakan ROC. Selanjutnya adalah mentransformasikan data alternatif awal kedalam nilai ROC tersebut sesuai dengan bobot sub-kriterianya.

Tabel 5. Tranformasi Data Alternatif ke dalam Bobot ROC

ALTERNATIF	JPKS	KPKS	HPP	LSP	JD	JP	KP
Kampar							
Perhentian Raja	0,25	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,52
Tapung	0,75	0,52	0,06	0,06	0,52	0,52	0,15
Tapung Hulu	0,75	0,52	0,52	0,52	0,15	0,52	0,15
Rokan Hilir							
Tanah Putih	0,25	0,06	0,06	0,06	0,27	0,27	0,06
Pujud	0,25	0,15	0,06	0,06	0,27	0,06	0,06
Rokan Hulu							
Tandun	0,25	0,15	0,06	0,06	0,15	0,06	0,27
Pagaran Tapah Darussalam	0,75	0,52	0,27	0,15	0,06	0,06	0,27
Siak							
Lubuk Dalam	0,25	0,52	0,06	0,06	0,06	0,06	0,52
Dayun	0,25	0,15	0,06	0,06	0,15	0,06	0,52

Setelah diketahui nilai bobot dari masing-masing alternatif seperti pada Tabel 5, kemudian hitung nilai *utility* menggunakan persamaan (2) Perhitungan nilai *utility* ini diperoleh dari perkalian antara nilai pembobotan alternatif terhadap kriteria dikalikan dengan bobot kriteria, contohnya *utility* kriteria1 alternatif $1^{(\text{Perhentian Raja})}$ = 0,25 × 0,37 = 0.0926, *Utility* kriteria1 alternatif $2^{(\text{Tapung})}$ = 0,75 × 0,37 = 0.2778, begitu seterusnya hingga diperoleh nilai seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Nilai *Utility*

ALTERNATIF	JPKS	KPKS	HPP	LSP	KP	JP	JD
Kampar							
Perhentian Raja	0,0926	0,0142	0,0098	0,0068	0,0379	0,0028	0,0013
Tapung	0,2778	0,1185	0,0098	0,0068	0,0106	0,0230	0,0106
Tapung Hulu	0,2778	0,1185	0,0813	0,0565	0,0106	0,0230	0,0030
Rokan Hilir							
Tanah Putih	0,0926	0,0142	0,0098	0,0068	0,0045	0,0120	0,0055
Pujud	0,0926	0,0332	0,0098	0,0068	0,0045	0,0028	0,0055
Rokan Hulu							
Tandun	0,0926	0,0332	0,0098	0,0068	0,0197	0,0028	0,0030
Pagaran Tapah Darussalam	0,2778	0,1185	0,0423	0,0158	0,0197	0,0028	0,0013
Siak							
Lubuk Dalam	0,0926	0,1185	0,0098	0,0068	0,0379	0,0028	0,0013
Dayun	0,0926	0,0332	0,0098	0,0068	0,0379	0,0028	0,0030

Kemudian tentukan nilai akhir dengan menjumlahkan seluruh nilai *utility* pada masing-masing alternatif, lalu rankingkan nilai akhir tersebut dari yang terbesar sampai yang terkecil sehingga diperoleh hasil perankingan wilayah potensial pengembangan energi terbarukan dari limbah kelapa sawit seperti pada Tabel 7.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

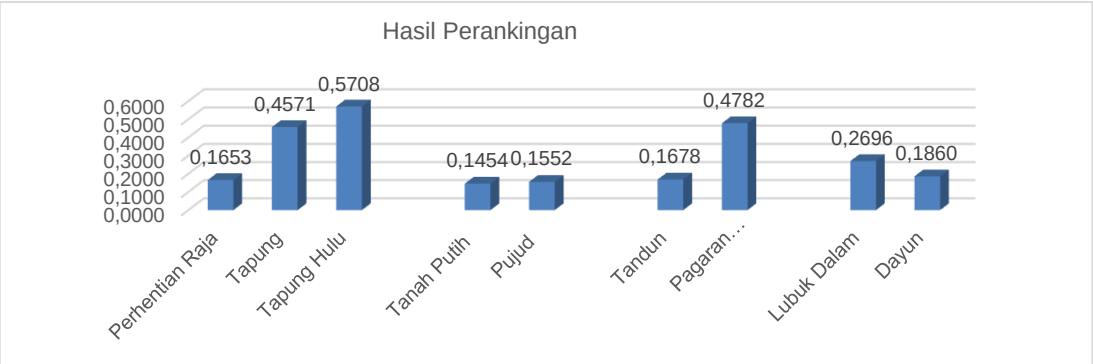
ISSN (Printed) : 2579-727
ISSN (Online) : 2579-5406

Tabel 7. Hasil Perankingan

ALTERNATIF	NILAI AKHIR	RANKING
Kampar		
Perhentian Raja	0,1653	6
Tapung	0,4571	3
Tapung Hulu	0,5708	1
Rokan Hilir		
Tanah Putih	0,1454	9
Pujud	0,1552	8
Rokan Hulu		
Tandun	0,1678	7
Pagaran Tapah Darussalam	0,4782	2
Siak		
Lubuk Dalam	0,2696	4
Dayun	0,1860	5

3. Hasil dan Analisis

Hasil perankingan menggunakan metode SMARTER-ROC diperoleh ranking tertinggi yaitu Tapung Hulu dengan nilai (0.5708), selajutnya Pagaran Tapah Darussalam (0,4782) dan seterusnya seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Perankingan Wilayah Potensial Pengembangan Energi Terbarukan dari Limbah Kelapa Sawit SMARTER 2018

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu sesuai dengan yang disajikan pada Gambar 3, Kecamatan Tapung Hulu Kabupaten Kampar menempati posisi ke 7 dalam perankingan wilayah potensial penghasil kelapa sawit di Provinsi Riau menggunakan metode SMARTER-ROC dengan dataset tahun 2015, hal ini erat hubungannya dengan pengembangan energi terbarukan dari limbah kelapa sawit karena ketersediaan bahan baku yang melimpah di wilayah tersebut.



Gambar 3. Hasil Perankingan Alternatif Wilayah 10 Besar SMARTER 2015 [3]

Berdasarkan pengamatan dan validasi oleh pihak PT Perkebunan Nusantara V, maka metode ini dapat digunakan dalam menentukan alternatif terbaik terhadap perankingan wilayah pengembangan energi terbarukan dari limbah kelapa sawit. Keadaan lapangan sejauh ini di Kecamatan Tapung Hulu Kabupaten Kampar yang menempati ranking pertama, tepatnya di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Tandun sudah dilakukan pengembangan energi terbarukan dari limbah kelapa sawit sejak tahun 2012 sedangkan untuk di PKS Terantam saat ini sedang dalam proses instalasi. Kemudian untuk Kecamatan Pagaran Tapah Darussalam Kabupaten Rokan Hulu yang menempati

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN (Printed) : 2579-727
ISSN (Online) : 2579-5406

ranking kedua juga sedang dilakukan proses perencanan pengembangan energi terbarukan dari limbah kelapa sawit. Maka untuk rekomendasi pengembangan selanjutnya dapat dilakukan di wilayah yang menempati ranking ketiga yaitu Kecamatan Tapung Kabupaten Kampar.

4. Kesimpulan

Metode SMARTER-ROC layak dijadikan sebagai pendukung keputusan dalam menentukan wilayah potensial pengembangan energi terbarukan dari limbah kelapa sawit dengan menerapkan kriteria-kriteria seperti jumlah desa, jumlah penduduk, kepadatan penduduk, luas sektor perkebunan, hasil produksi perkebunan, jumlah pabrik kelapa sawit dan kapasitas pabrik kelapa sawit. Alternatif terbaik dari hasil perankingan menggunakan metode SMARTER-ROC setelah diurutkan yaitu Tapung Hulu (0.5708), Pagaran Tapah Darussalam (0,4782), Tapung (0,4571), Lubuk Dalam (0,2696), Dayun (0,1860), Perhentian Raja (0,1653), Tandun (0,1678), Pujud (0,1552) dan yang terakhir Tanah Putih (0,1454).

Daftar Pustaka

[1] Ilbahar C, Cebi S, Kahraman C. A State-Of-The-Art Review on Multi-Attribute Renewable Energy Decision Making. *Energy Strategy Reviews.* 2019; 25(7):18-33

[2] Papilo P. Briket Pelepah Kelapa Sawit sebagai Sumber Energi Alternatif yang Bernilai Ekonomis dan Ramah Lingkungan. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*. 2012; 9(2): 67-78

[3] Kusmiyanti RD, Suliatun S, Mustakim M. *Analisis Sensitifitas Metode Simple Multi Attribute Rating Technique Terhadap Pembobotan Analytic Hierarchy Process.* Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri 8. Pekanbaru. 2016: 127-137

[4] Kusmiyanti RD, Suliatun S, Mustakim M. *Analisis Sensitifitas Model SMART-AHP dengan SMARTER-ROC sebagai Pengambilan Keputusan Multi Kriteria.* Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri 19. Pekanbaru. 2017: 209-218

[5] Putra WF, Yuwana Y dan Sidebang B. Study on Palm Oil Leaf Stem as Biomass Fuel for YTP-UNIB-2013 Dryer. *Jurnal Agroindustri*, 2014; 4(2): 93-99

[6] Pane NEP, Kasim ST. Studi Potensi Energi Baru Terbarukan untuk Mengatasi Defisit Pasokan Tenaga Listrik di Daerah Sumatera Utara. *Jurnal Singuda Ensikom*. 2016; 14(38): 1-6

[7] Alatas A, Andi A. Trend Produksi dan Ekspor Minyak Sawit (CPO) Indonesia. *Jurnal AGRARIS*, 2015; 1(2): 114-124

[8] BPS. “Riau Dalam Angka 2017”. e-book. Badan Pusat Statistik Provinsi Riau No ISSN: 0215-2037

[9] Haryanti D, Nasution H, Sukamto AS. Sistem Pendukung Keputusan Seleksi Penerimaan Mahasiswa Pengganti Beasiswa Penuh Bidikmisi Universitas Tanjungpura Dengan Menerapkan Metode SMARTER. *Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi*. 2016; 1(1): 1-7

[10] Ahmad A, Ghufran R. Review on industrial wastewater energy sources and carbon emission reduction: towards a clean production. *International Journal of Sustainable Engineering*, 2018

[11] MPOB. 2017. Summary of Industry Performance: 2017. Accessed January, 2010. http://econ.mpob.gov.my/economy/EID_web.html

[12] Jaye IFM, Sadhukhan J, Murphy RJ. Renewable, Local Electricity Generation from Palm Oil Mills: A Case Study From Peninsular Malaysia. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*. 2016; 106-111

[13] M Mustakim, A Buono, I Hermadi. Performance Comparison Between Support Vector Regression and Artificial Neural Network for Prediction of Oil Palm Production. Jurnal Ilmu Komputer dan Informasi 9 (1), 1-8. 2016.

[14] MA Ramadhan, C Bella, R Mustakim, Mustakim, Handinata, A Niam. Implementasi Metode SMARTER untuk Rekomendasi Pemilihan Lokasi Pembangunan Perumahan di Pekanbaru. Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Informasi 4 (1), 42-47. 2017.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Journal Ilmu Pertanian Indonesia, April 2008.hlm.38–44 Vo
ISSN 0853–4217

PENERAPAN ENERGI TERBARUKAN UNTUK PROSES THERMAL
Bagian I. Pengeringan Hasil Pertanian

Kamaruddin Abdullah[1)], Armansyah H Tambunan[2)*], Harsono Soepardjo[3)]

ABSTRACT

RENEWABLE ENERGY APPLICATION FOR THERMAL PROCESSES
Part I. Drying of Agricultural Products

Study on thermal processes using renewable energy sources for drying and cooling purposes hase been selected due to their importance in extending shelf life of agro and marine products which are susceptible to high temperature and humidty under the tropical climatic conditions. The unavailability of these facilities had resulted in significant amount post harvest which sometime may reached up to 30% of harvest. This research was aimed to determine the proper design and construction of renewable energy conversion, namelyt, solar, wind and biomass to generate thermal energy for drying and cooling of agricultural and marine producets. Both processes could also be used as the main component of a Small Processing Unit (SPU), an early form of SME and cooperative at village level. This paper will diseuss Part I of the study which will be focused on the application of renewable energy sources for the drying of agricultural products. The following conclusions had been achieved. a). Study on simultaneous momentum, energy and mass transfer in thin layer drying process of rough rice have provided information on air temperature, velocity and RH distribution above the grain. b). A novel ventury type GHE solar dryer with solar PV power supply and PCM energy storage, has been successfully designed and constructed. Test results have shown that the dryer could be used to dry 75–95kg of fish within 36 to 40 hrs. wirh apparent PCM energy storage of 6.9MJ (6 hrs. drying time). c). Mathematical modelling and simulation of a biomass stove heated recirculation dryer indicated that drying of rough rice could be completed within 3–6hrs (1.8–3.7T.hrs^{-1} recirculation rate with one hour tempering time) if 2 HP blower is used.

Keywords : energy storage, momentum and mass transfer, recirculation dryer, renewable energy conversion, simultaneous energy

ABSTRAK

Proses termal yang menjadi perhatian khusus dari penelitian adalah yang menyangkut penerapan sumber energi terbarukan untuk tujuan pengeringan dan pendinginan dimana kedua proses ini sangat penting dalam upaya memperpanjang masa simpan produk-produk hasil pertanian dan kelautan yang sangat rentan terhadap suhu dan kelembaban tinggi iklim tropis. Ketiadaan fasilitas semacam ini di pedesaan telah mengakibatkan kehilangan pascapanen yang dapat mencapai 30%. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan rancang bangun berbagai teknik konversi sumber energi terbarukan, terutama surya, angin dan biomassa untuk pembangkit energi termal khususnya pengeringan dan pendinginan. Kedua proses termal tersebut dapat dijadikan komponen dasar dari suatu Unit Pengolahan Skala Kecil (UPSK) di pedesaan, yang merupakan bentuk awal industri kecil dan menengah serta koperasi di pedesaan.

Dalam bagian pertama penelitian ini akan dibahas pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk tujuan pengeringan hasil pertanian dengan kesimpulan sebagai berikut: a). Pemodelan proses perpindahan simultan momentum, energi dan massa pada proses pengeringan gabah lapisan tipis telah berhasil didapatkan kurva distribusi, suhu, laju udara pengering dan RH. b). Penelitian ini telah berhasil merancang bangun sistem pengering surya ERK tipe venturi, yang dilengkapi dengan modul surya dan sistem penyimpan panas. Hasil uji menunjukkan bahwa alat ini dapat digunakan untuk mengeringkan 75–95 kg ikan tembang selama 36–40 jam dengan jumlah penyimpan energi dengan PCM sebesar 6,9 MJ (6 jam pengeringan). c). Pemodelan dan simulasi metematika dari pengering resirkulasi dengan pemanasan BBN cair menunjukkan bahwa pengeringan gabah dapat berlangsung selama 3–6 jam (1,8–3,7 T.jam^{-1} laju resirkulasi dan satu jam *tempering*) bila menggunakan 2 HP kipas angin.

Kata kunci : enerji simultan, konversi energi terbarukan, penyimpanan energi, pengering tipe resirkulasi, transfer masa dan momentum

1) Laboratorium Teknik Konversi Energi Surya, Universitas Darma Persada
2) Bagian Energi dan Elektrifikasi Pertanian, Fateta, IPB
3) FMIPA, Universitas Indonesia
* Penulis Korespondensi: (+62251) 862479I

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PENDAHULUAN

Teknologi merupakan suatu alat yang sangat efektif untuk membangun industri peningkatan nilai tambah sumber daya alam suatu negara. Hal ini berarti bahwa melalui teknologi dapat diciptakan berbagai lapangan kerja baru sebagai sumber penghidupan masyarakat dimana teknologi itu diterapkan. Sudah banyak hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti yang dapat diintegrasikan dalam bentuk industri peningkatan nilai tambah. Persoalannya adalah dalam menentukan skala ekonomi dari industri tadi di tingkat pedesaan yang dapat menjamin keberlanjutannya secara berkesinambungan.

Proses termal yang menjadi perhatian khusus dari penelitian ini merupakan suatu bentuk teknologi yang nantinya dimanfaatkan sebagai komponen utama suatu Unit Pengolahan Skala Kecil (UPSK), yang mempunyai skala ekonomi yang paling sesuai untuk kondisi sosial ekonomi masyarakat pedesaan negara kita (CREATA-IPB 2000). Untuk tujuan tersebut diperlukan teknologi konversi pembangkit energi termal dan listrik dari sumber energi terbarukan yang tersedia dalam jumlah sangat besar dan jenis yang beragam di daerah pedesaan. Energi termal dapat dimanfaatkan untuk pengeringan dan pendinginan produk-produk hasil pertanian dan kelautan yang sangat rentan terhadap suhu dan kelembaban tinggi di negara kita sedangkan energi listrik dimanfaatkan utnuk proses industri lainnya seperti untuk menggerakkan motor, penerangan, pengontrolan proses, dan sebagainya. Karena kurangnya fasilitas pengeringan dan pendinginan diperkirakan tiap tahunnya para petani dan nelayan menderita kehilangan pascapanen yang dapat mencapai 30%.

Pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan yang umumnya tersedia ditempat seperti energi surya, biomassa dan angin. Melalui pemanfaatan teknologi yang dikembangkan sendiri akan dapat menghasilkan teknologi yang bersih, dan tidak mencemarkan lingkungan sehingga lebih murah dan terjangkau oleh kondisi sosial ekonomi masyarakat pedesaan. Melalui teknik konversi sumber energi terbarukan ini dapat dihasilkan semua bentuk energi yang diperlukan oleh suatu industri untuk meningkatkan nilai tambah melalui pembangunan UPSK yang diusulkan penulis, seperti listrik, termal, tenaga mekanis, cahaya, dan sebagainya.

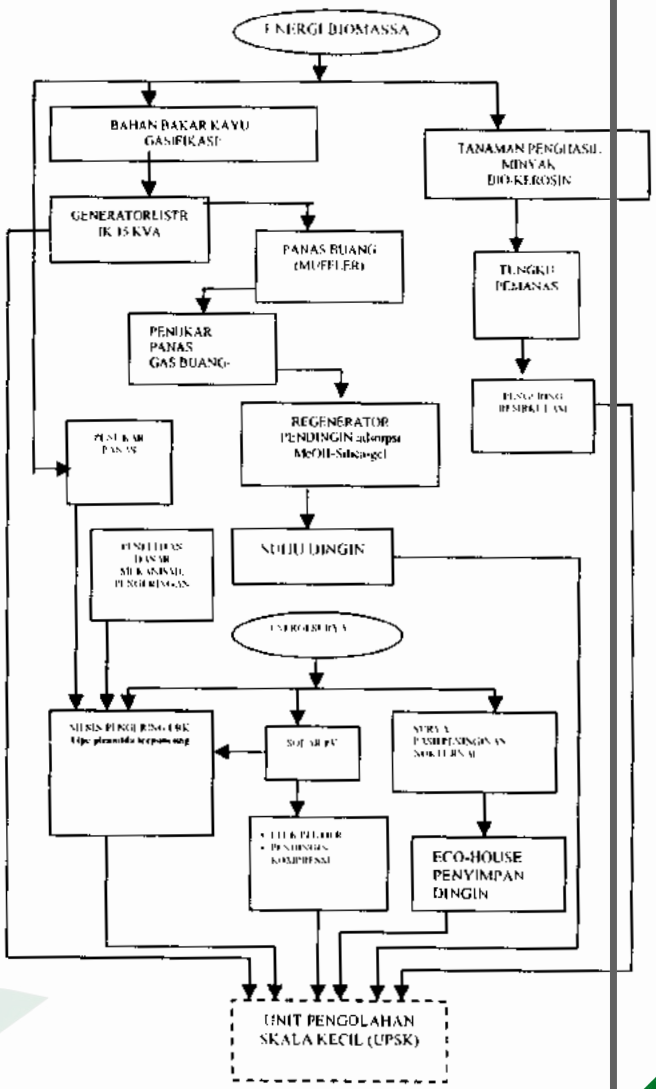
Makalah ini akan membahas pemanfaatan teknik konversi energi terbarukan pada proses pengeringan. Untuk dapat mengoptimalkan proses pengeringan dalam makalah ini akan dikaji secara mendasar mekanisme perpindahan momentum, energi dan massa pada lapisan tipis yang merupakan dasar untuk rancang bangun berbagai konfigurasi alat pengering. Pada bagian utama dari penelitian konversi sumber energi terbarukan ini dibahas pemanfaatannya pada proses pengeringan hasil pertanian dan kelautan dengan tujuan: 1) Mengkaji secara mendasar proses perpindahan momentum, energi dan massa pada lapisan tipis sebagai dasar penyempurnaan proses pengeringan untuk berbagai kemungkinan konfigurasi pengering dengan energi surya. 2) Mendapatkan kinerja pengering surya ERK tipe venturi yang merupakan perbaikan dari rancangan pengering ERK sebelumnya.3) Mendapatkan kinerja dari sistem pengering tipe resirkulasi.

BAHAN DAN METODE

Konversi Biomassa Untuk Pengeringan

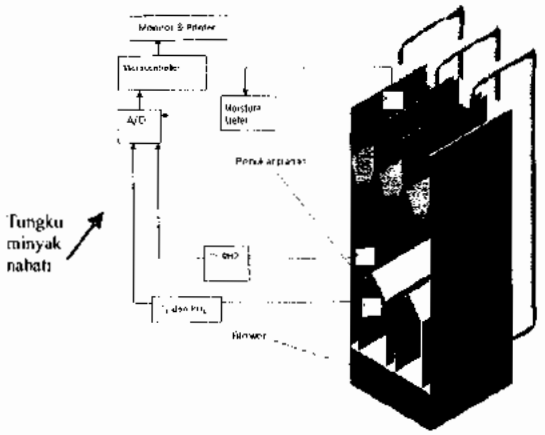
Pengeringan Tipe Resirkulasi

Dalam melaksanakan penelitian ini ditempuh pendekatan terpadu konversi sumber energi terbarukan untuk dimanfaatkan pada proses peningkatan nilai tambah hasil pertanian dan kelautan pada suatu UPSK. Gambar menunjukkan diagram alir kaitan antara penelitian konversi energi baik untuk pembangkit listrik maupun energi termal. Dalam penelitian ini, pembangkitan energi termal dilaksanakan dengan menggunakan gasifikasi biomassa tipe



Gambar 1 Diagram Alir Konversi Energi Biomassa dan Su
Sebagai Pemasok Energi Listrik dan Energi T
untuk Unit Pengeolahan Skala Kecil (UPS

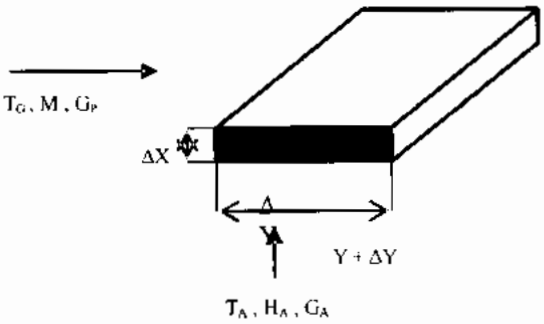
Imbert, dan melalui ekstraksi minyak tanaman seperti jarak (*jatropha curcas*), dan bintaro (*cerbera manghas, Lu).* Kinerja gasifikasi untuk membangkitkan energi termal dibahas lebih rinci pada makalah yang berikutnya tentang pemanfaatan energi biomassa pada proses pendinginan. Biji bintaro mengandung 5060% minyak yang tersusun terutama atas 43% asam oleat, 31% asam palmitat dan 17% asam linoleat. Untuk pemanfaatan pada proses pengeringan digunakan kompor minyak tanah yang dicampur dengan minyak jarak pada berbagai nisbah yaitu 1:1, 2:1 dan 3:1 sampai didapatkan kondisi yang optimal. Energi termal yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai pemasok pengering tipe resirkulasi (Gambar 2). Prototipe mesin skala laboratorium ini mempunyai tinggi 2,622m, lebar masing-masing 1,350m dan 0, m dan dilengkapi dengan



Gambar 2 Gambar Skematis Pengering Resirkulasi dengan Bahan Bakar Nabati.

konveyor pneumatik dan ruang penukar panas.

Analisis keseimbangan energi dan massa pada sistem pengering resirkulasi dapat diturunkan dari volume kontrol



Gambar 3 Volume Kontrol dalam Suatu Pengering Resirkulasi.

seperti pada Gambar 3 sebagai berikut (Bala 1997):

$$\frac{\partial T_a}{\partial x} = \frac{-[h_{cv} + G_a.C_{pa}(\frac{\partial H}{\partial x})](T_a - T_g)}{G_a(C_{pa} + C_{pm})} \quad \text{.....(1)}$$

$$\frac{\partial T_g}{\partial y} = \frac{-[h_{cv}(T_a - T_g) - G_a.\Delta Hfg + (C_{pw} - C_{pa}).T_g(\frac{\partial H}{\partial x})]}{G_p(C_{pg} + M.C_{pg})} \quad \text{.....(2)}$$

Dimana:
T_A = Suhu udara [^{0}C]
T_G = Suhu produk [^{0}C]
G_A = Laju massa udara [kg/s]
G_P = Laju massa produk [kg/s]

Untuk pengeringan lapisan tipis perubahan kadar air bahan dinyatakan dalam basis kering dapat dinyatakan dengan pErsamaam berikut (Henderson, Perry (1976).

$$\frac{\bar{M}-M_e}{M_o-M_e} = e^{-kt} \quad , \quad \frac{d\bar{M}}{dt} = -k(\bar{M}-M_e) \quad \text{.....(3)}$$

Untuk model silinder tak berhingga:

M_E= 17,7700 exp (-0,0516.?t)/100 .....(4)

K= exp (7,6489– 4903,02/T).....(5)

h_{cv}– 3 ,9178 (737 ,33 G_a)$^{0.49}$ untuk G_a < 0 ,678 kg/m^{2}de.
.....(6)

h_{cv}=2.0611 (737.33 G_A)$^{0.59}$ untuk G_A >0.678 kg/m^{2}dt
.....(7)

Menurut Morita, Singh (1978) nilai panas jenis gabah (Cp) dapat dinyatakan sbb:
C_p = 1,269 + 0,03487 M_w.....(8)

Pengeringan Tipe *Stasioner*

Untuk lebih meningkatkan kinerja sistem pengering tipe stasioner dibutuhkan penelitian dasar tentang mekanisme pengeringan berdasarkan analisis perpindahan momentum, energi dan massa pada lempeng datar berisi lapisan tipis bahan yang dikeringkan (Gambar 4). Melalui penelitian ini diharapkan tingkat laju udara, RH dan suhu optimal dapat ditentukan untuk proses pengeringan. Persamaan gerak, energi dan kontinyuitas uap air pada lapisan batas dapat dinyatakan sebagai berikut (Birds *et.al.*, 1960):

$$v_x\frac{\partial \Pi}{\partial x} - \left\{\frac{D_{AB}}{1-x_{A0}}\frac{\partial x_A}{\partial y}\Big|_{y=0} - \int_0^y \frac{\partial v_x}{\partial x}dy\right\}\frac{\partial \Pi}{\partial y} = \frac{\upsilon}{\Lambda}\frac{\partial^2 \Pi}{\partial y^2} \quad \text{..... (9)}$$

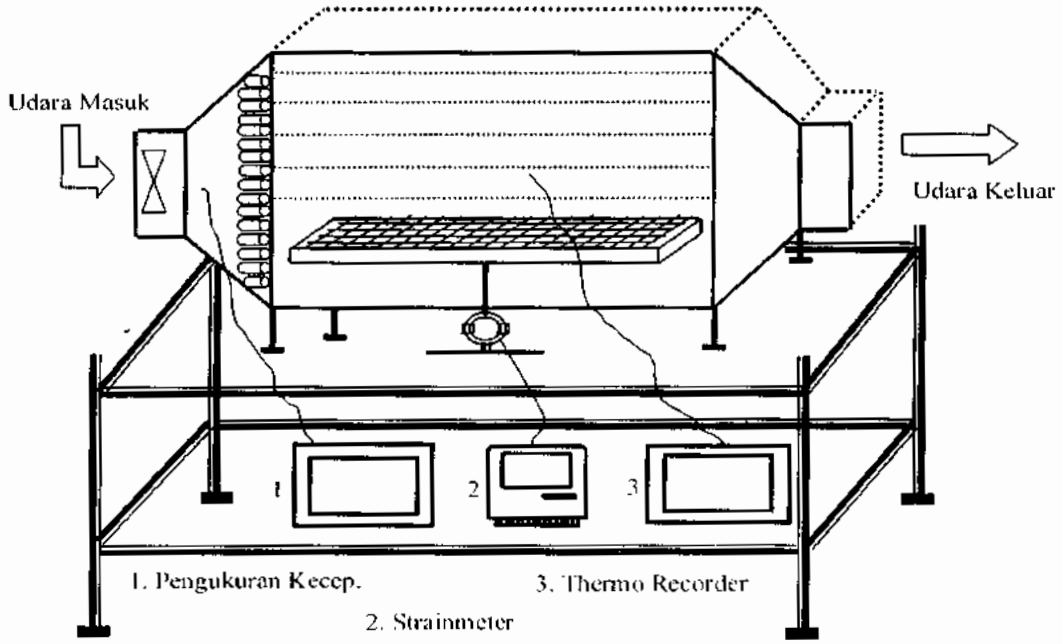
dengan kondisi batas pada v, T dan x_A menjadi :

pada $x \le 0$ atau $y = \infty$; $\Pi = 1$
$y = 0$; $\Pi = 0$

Berdasarkan bentuk kombinasi parameter η, maka persamaan (9) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\Lambda\left[\frac{1}{\Lambda_{AB}}\frac{M_A{}^c}{\rho}\left(\frac{x_{A0}-x_\infty}{1-x_{A0}}\right)\Pi'_{AB}(0) - \int_0^\eta 2\Pi_v\, d\eta\right]\Pi' = \Pi''$$
.....

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA



Gambar 4. Alat Percobaan Perpindahan Serentak Momentum, Energi dan Massa

Dengan memasukkan sifat udara dan uap air untuk proses pengeringan akan didapat profil laju udara, suhu dan kelembaban udara diatas rak pengering dinytakan dalam bentuk bilangan tak berdimensi, Π_v, Π_T, dan Π_{AB}, dimana masing-masing bilangan dinyatakan berikut ini:

$$\Pi_v = \frac{v_x - v_{x0}}{v_\infty - v_{x0}} = \frac{v_x}{v_\infty} \quad \text{.....(11)}$$

$$\Pi_T = \frac{T - T_0}{T_\infty - T_0} \quad \text{.....(12)}$$

$$\Pi_{AB} = \frac{x_A - x_{A0}}{x_{A\infty} - x_{A0}} \quad \text{.....(13)}$$

Keterangan Notasi:

C_P , panas jenis pada tekanan konstan (kJ.kg^{-1} °C)
D_{AB} , difusivitas uap air terhadap udara (m^2.det^{-1}.)
h , koefsisien pindah panas konveksi (W.m^{-2} °c)
G_a , laju massa udara pengering (kg.det^{-1}.)
G_p , laju massa produk (kg.det^{-1}.)
H , humidity ratio (kg per kg dry air)
ΔH_{fg} , panas laten produk (kJ.kg^{-1})
k , konstanta pengeringan (1per jam)
M_A , berat molekul uap air (Kg/mole)
M , kadar air (% bk)
T_a , suhu udara pengering (°C)
T_g , suhu produk (°C)
, laju udara(m.det^{-1}.)
x_{A0} , konsentrasi massa uap air pada jarak y=0 (-)
$x_{A\infty}$, konsentrasi massa uap air pada jarak y=∞ (-)
Π , bilangan tak berdimensi (-)
Λ , nisbah difusivitas (pers.(10))

η , $= \frac{y}{2}\sqrt{\frac{v_\infty}{\nu x}}$

Keterangan Subskrip:

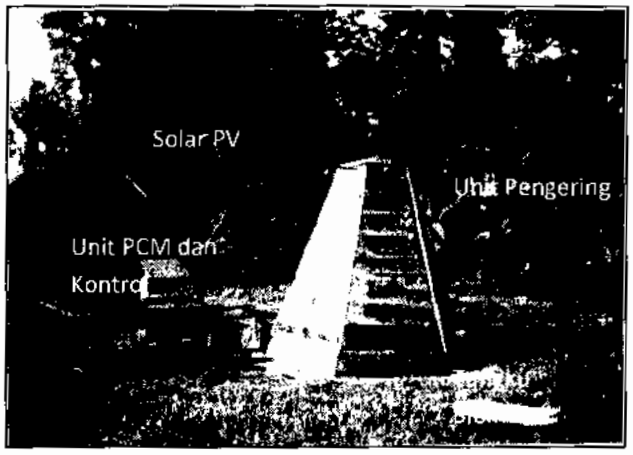
a , udara
AB , difusi uap air
G , produk
T , suhu
v , kecepatan
w , uap air

Pembangkit Energi Dengan Tenaga Surya

Penelitian konversi energi surya untuk membangkitkan energi termal yang dimanfaatkan untuk pengeringan telah dilakukan dalam bentuk pengering surya efek rumah kaca (ERK) (Kamaruddin 1993), berbentuk piramida terpancung dan pengering surya ERK tipe kabinet. Pada sistem ini energi termal yang dibangkitkan dari energi surya dimanfaatkan langsung untuk pengeringan.

Dalam penelitian ini konversi energi surya untuk pengeringan menggunakan geometri kerucut terpancung merupakan suatu upaya untuk penyempurnaan dari rancangan pengering surya ERK (efek rumah kaca) sebelumnya (Kamaruddin 1993). Pada rancangan baru ini beberapa penyempurnaan disain telah diupayakan antara lain, sistem bongkar muat dapat dilakukan dari luar bangunan, sistem kerucut diharapkan dapat mengurangi beban listrik untuk kipas dengan terjadinya aliran ala

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA



Gambar 5 Unit Pengering Surya ERK Tipe Piramida Terpancung dengan Modul Tenaga Surya (Solar PV), Tungku Biomassa dan Unit Penyimpan Energi PCM

akibat perubahan penampang ruang pengering, tersedianya penyimpan energi PCM (*Phase Change Material*) atau bahan berubah fase dari farafin, dan sistem pasokan energi dari modul surya sehingga alat pengering ini dapat dimanfaatkan di daerah terpencil. Pada Gambar 5, diperlihatkan alat pengering surya ERK tipe venturi mempunyai ukuran sisi alas 150cm dan sisi atas 50cm. Tinggi tegak 127cm dan panjang sisi miring 300cm dari permukaan tanah. Rak tempat ikan dikeringkan tujuh tingkat berbentuk lingkaran statis yang dapat di putar pada saat memasukkan dan mengambil hasil pengeringan. Untuk sirkulasi udara dan mempercepat laju aliran udara ruang pengering digunakan *blower* DC 3 unit dengan daya masing-masing 25 watt yang dipasok dari 3 unit modul tenaga surya masing-masing dengan daya 50 Wp.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengering Tipe Resirkulasi

Pengeringan Resirkulasi

Hasil simulasi proses pengering resirkulasi dengan menggunakan pers. (1)–(8), dapat dilihat pada Gambar 6. Untuk laju resirkulasi, 3,69 T.jam^{-1}, (suhu pengeringan, 50°C dan RH 50% kapasitas kipas 2 HP) lama pengeri gabah menjadi sekitar 5 jam 38 menit dengan la tempering satu jam.

Pada gambar 7 ditunjukkan hasil simulasi untuk laju resirkulasi 1,8 T.jam^{-1} (suhu 60°c dan rh 40%) dengan lama tempering satu kali selama 80 menit. Lama pengeringan total yang dihasilkan dengan daya kipas yang sama yaitu 2 hp adalah sekitar4,2 jam.

Pembangkit Energi dengan Tenaga Surya

Pengering Tipe Stasioner

Pada percobaan perpindahan momentum, energi, dan massa, telah berhasil didapatkan beberapa parameter penting. Laju fluks massa pada penguapan air dari gabah tertinggi adalah 0,00027kg.m^{-2} det. pada kondisi kecepatan udara diatas lapisan 0,3m.det^{-1}. (ε=0,68) suhu 34,8°C (τ=0,78) dan RH 50,5%. Hasil pengukuran parameter pengeringan, k, kadar air ekulibrium Me, dan diffusivitas massa adalah seperti terlihat dalam Tabel 1, dimana nilai k berada pada 0,00350,0039 1/men. (Dv=2,03×10^{-5}m^2.det^{-1},-2,59×10^{-5}m^2.det^{-1}), Me, antara 12,28%–12,56% bk pada kondisi suhu yang berkisar antara 36,8–37,8°C. Kecepatan udara pada saat percobaan bervariasi 0,33–0,44 m.det^{-1}. diatas lapisan gabah.

Percobaan ini memberikan hasil bahwa tebal lapis batas (*boundary layer*) untuk masing-masing perpindahan momentum dan energi berturut-turut 2,08–1,41 cm, dan 1,55 2,36cm, pada 3 kali percobaan dengan laju aliran udara antara 7,34–11,77 kg.jam^{-1}.

Pengering Surya ERK Tipe Venturi

Tabel 2 menunjukkan hasil uji pengering ERK tipe venturi. Pada percobaan ini digunakan ikan tembang sebagai contoh.

Hasil uji ikan tembang seperti terlihat pada Tabel 1 menunjukkan bahwa penggunaan total energi berada pada nilai 2,17–2,74 MJ.kg^{-1} ikan, untuk kondisi suhu ruang 42,9–44°C, pada beban pengeringan 75 kg dan 95 kg. Pada kondisi ini lama pengeringan 36,5–40 jam untuk kadar air akhir antara 30–32,8% b.k. Dari percobaan II diketahui bahwa penyimpan energi dengan PCM dapat memasok energi untuk pengeringan selama 6 jam.

Tabel 1 Hasil Perhitungan Parameter Pengeringan

Laju udara (m.det^{-1})	Suhu (°C)	Tebal lapisan (mm)	Me (%bk)	K.a. akhir (%bb)	K (1/men.)	Dv*) (m^2.det^{-1}.) X 10^{-5}
0,33	36,8	22	12,32	15,48	0,0035	2,474
0,38	37,2	22	12,49	14,7	0,0036	2,59
0,42	37,6	22	12,28	14,89	0,0036	2,356
0,44	37,8	15	12,56	14,8	0,0039	2,24
0,39	37,4	15	12,43	14,72	0,0037	2,03

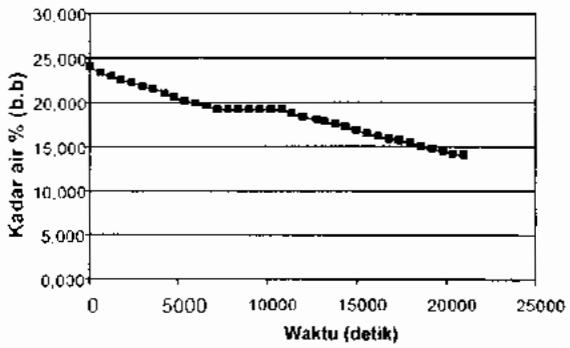
*) Diffusivitas dihitung dari hubungan k=D$_v\pi$/(4 b^2)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

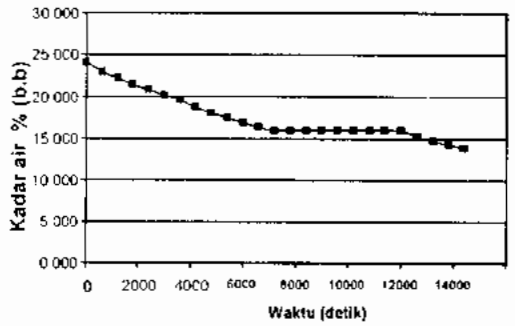
Tabel 2 Hasil Uji Pengeringan Ikan Tembang

No	Keterangan	Percobaan I		Percobaan II	
		Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
1	Suhu ruang pengering:				
	• Maksimum	52	^{0}C	48	^{0}C
	• Minimum	38	^{0}C	38	^{0}C
	• Rata-rata	42,87	^{0}C	43,99	^{0}C
2	Laju aliran udara ruang pengering	0,01–0,3	m.det^{-1}	0,01–0,4	m.det^{-1}
3	Humidity (RH)	78–90	%	72–92	%
4	Kadar air ikan	30,08–31,62	%bk	30,08–32,80	%bk
5	Besar energi yang dibutuhkan MJ/kg ikan	2,74	MJ	2,16517	MJ
6	Massa produk yang dikeringkan	75	kg	95	kg
7	Lama pengeringan	36.5	jam	40	jam
8	Laju pengering	0,08–2,12	% bk.jam^{-1}	0,08- 1,82	% bk.jam^{-1}
9	Perpanjangan pengeringan dari lama penyinaran efektif	-	-	6	jam

Hasil penelitian lapangan dari pengering tipe ini yang dilakukan di Koperasi Barrak Cimahi, untuk pengeringan dendeng jantung pisang menunjukkan bahwa tingkat kelayakan ekonomi yang cukup potensial terlihat dari berbagai skenario pemilikan alat baik sebagai hibah ataupun dibeli dengan dana sendiri. Hasil analisis untuk kondisi pengering sebagai hibah menunjukkan nilai NPV sebesar Rp. 526.556.472,8 untuk umur ekonomi selama 10 tahun dan ROI sebesar 27,7% dengan lama pengembalian sekitar 4 tahun. Untuk lebih memastikan kelayakan sistem ini, monitoring lapangan perlu terus dilakukan dimasa mendatang (Anggita, 2006).



Gambar 6 Hasil Simulasi Pengeringan Gabah untuk Model Resirkulasi Pengering pada Suhu 50°c dan RH 50%, Laju Resirkulasi Gabah 3,69t.jam^{-1} dengan Daya Kipas 2 HP dan Lama Tempering Satu Jam.



Gambar 7 Hasil Simulasi Pengeringan Gabah untuk Model Resirkulasi Pengering pada Suhu 60°c dan RH 40%, Laju Resirkulasi Gabah 1,8 T.jam^{-1} dengan Daya Kipas 2 HP dan Lama Tempering 80 Menit.

KESIMPULAN

Pada percobaan perpindahan momentum, energi dan massa secara simultan, didapatkan laju fluks massa pada penguapan air dari gabah tertinggi adalah 0,00027kg.m^{-2} det. pada kondisi kecepatan udara diatas lapisan 0,3m.det^{-1},(Π_r=0,68) suhu 34,8°C (Π_T=0,78) dan RH 50,5%.

Pemodelan matematika untuk pengeringan re-sirkulasi telah menghasilkan beberapa skenario operasi yang meyangkut kaitan antara lama pengeringan dan lama tempering dengan laju pengumpanan bahan yang dikeringkan. Untuk laju resirkulasi 1,8 t.jam^{-1} (suhu 60°C dan RH 40%, daya kipas 2 HP) didapatkan lama pengeringan untuk kadar air awal 25% bb, adalah 4,2 jam dengan lama tempering satu kali selama 80 menit. Untuk laju resirkulasi, 3,69 t.jam^{-1}, (suhu pengeringan 50°C dan RH 50% kapasitas kipas 2 HP) lama pengeringan gabah dengan kadar menjadi sekitar 5 jam 38 menit dengan lama tempering satu jam.

Hasil uji pengering surya tipe venturi menunjukkan bahwa penggunaan total energi berada pada nilai antara 2,17- 2,74 MJ per kilogram ikan, untuk suhu ruang 42,9--44°C, dengan beban pengeringan 75 kg dan 95 kg. Pada kondisi ini lama pengeringan 36,5- 40 jam untuk kadar air akhir 30–32.8% b.k. Dari hasil percobaan juga diketahui bahwa penyimpan energi dengan PCM dapat memasok energi untuk pengeringan selama 6 jam.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Tim Penelitian Pascasarjana Nomor : 026/SPPP/PP-PM/ DP3 M/IV/2005 dan Nomor : 317/SP3/PP-PM/DP2M/II/2006, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional atas dukungan finansial tahun 2004-2006 sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan. Terima kasih juga disampaikan kepada segenap mahasiswa bimbingan yang ikut aktif dalam penelitian ini baik dari program S1, S2 dan S3, khususnya kepada mahasiswa-mahasiswa berikut, Sdr Binsar Nababan (mendiang), Totok Prasetyo, M. Syaiful, Kudrat Sunandar, Yogi Gaoz, Gilang Anggita, Diaz Agriana, Ayi Rukmini dan M.Hanafi.

DAFTAR PUSTAKA

Anggita G. (2006). Skripsi, Departemen TEP, Fateta, IPB

Bala BK. (1997). *Drying and Storage of Cereal Grains.*, Oxford & IBH publishing co. Pvt. Ltd. New Delhi.

Ballo Lobo M. (2007). Indonesian Scenario: Developing New and Renewable Energy, International Investment Summit, BIEM, 2007, JEC, Jakarta, November,5–7.

Bird RB, WE Stewart, EN Lightfoot. (1960). *Transport Phenomena.* John Wiley & Sons. New York.

Bliss RW Jr. (1959). "The Derivation of "Plate-efficiency factors" Useful in the Design of Flat-plate Solar Heat Collectors,"*Solar Energy*,3,55.

[CREATA-IPB] Center for Research on Engineering Applications in Tropical Agriculture, the Research Institute of IPB, Bogor. 2000. *Utilization of Environmentally Friendly Natural Energy to Promote Agro-based Industry*- a Japanese Government ODA Grassroots Project, Final Report. CREATA-IPB, Bogor.

Daniels F. 1964. *Direct Use of Solar Energy.* Yale University Press.

Departemen ESDM. (2005). Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2005–2025 (BP-PEN)

Dufffie JA, WA Beckman. 1974. *Solar Energy Thermal Processes.* New York. Wiley.

Excell R H B. (1980). Basic Design Theory for Simple Solar Rice Dryer. *Renewable Energy Review Journal*, 1(2):1–14.

Henderson SM, RL Perry.1976. *Agricultural Process Engineering.* 3rd edition, The AVI publishing Co.inc., Westport Connecticut.

Kamaruddin A. (1993). System Optimization in Solar Drying. Paper No.30–1. Proceedings of the 5th International Energy Conference, Energex'93.Seoul, Korea.Vol. III. pp.86 102.

Mühlbauer W, J Muller, A Esper. 1997. Agricultural Crop Drying and Storage, F.W.W. Bakker-Arkema and D.E. Maier Ed. Marcel Dekker Inc.

Nakagawa K, K Horibe, S Ohshita, N Kawamura.1983. Grain Drying with Solar Energy. Report on Special Project Research on Energy under Grant in Aid of the Scientific Research of the 'Ministry of Education, Science and Culture of Japan, pp 261–264.

Othman MY. (1991). *Teknologi Pengeringan Hasil Pertanian di Malaysia: Konsep, Status kearah Penggunaan Energi Surya.*, Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur, Malaysia.

Parker DS. (2005). Theroretical Evaluation of the Night Cool Nocturnal Radiation Cooling Concept, Florida Solar Energy Center, FSEC-CR-1502–05.

Sattar MA. (1990). Rural Application of Solar Energy-Timber Drying. in Energy and the Environment into the 990s. V 01.2. Edited by Sayigh. Pergamon Press. Oxford. pp. 599– 605.

Soponronnarit S. 1991. Proceedings, the 1st Asian-Australian Drying Conference, ADC'99., Bali, Indonesia, October, 24 2.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JPM: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat
Institut Teknologi dan Bisnis Asia Malang
Vol. 1, No. 2, November 2020, pp. 97-104

Penerapan Teknologi Tepat Guna Berbasis Energi Terbarukan di desa Kiama Kabupaten Kepulauan Talaud

Meita Rumbayan[1*], Sherwin Sompie[2], Rilya Rumbayan[3]
[1,2] Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Sam Ratulangi
[3] Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Politeknik Negeri Manado
E-mail: meitarumbayan@unsrat.ac.id (Meita Rumbayan)*

Article History:
Received: 31-10-2020
Revised: 2-11-2020
Accepted: 2-11-2020

Abstract: *Fokus kegiatan pengabdian masyarakat di desa Kiama ini untuk memberikan solusi terhadap masalah keterbatasan energi listrik yang dialami oleh masyarakat di kepulauan Talaud. Tujuan pengabdian masyarakat sebagai hilirisasi hasil riset penulis tentang teknologi energi terbarukan untuk masyarakat kepulauan. Metode pengabdian masyarakat ini adalah (1) Penerapan teknologi tepat guna berbasis energi terbarukan berupa lampu jalan tenaga surya dan tenaga angin untuk peningkatan akses listrik; (2) Pelatihan dan bimbingan teknis oleh tim pelaksana kepada mitra mengenai pengoperasian dan perawatan sistem teknologi tepat guna yang diterapkan. Melalui transfer teknologi dalam kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat ini diharapkan implementasi teknologi terjaga kelanjutannya; Hasil pengabdian masyarakat adalah instalasi penerapan teknologi tepat guna berupa tenaga surya dan tenaga angin dan meningkatnya pengetahuan masyarakat mengenai teknologi tepat guna yang dilakukan melalui pelatihan ke mitra masyarakat karang taruna di desa Kiama Kabupaten Kepulauan Talaud.*

Keywords: *Teknologi Tepat Guna, Energi Terbarukan, Masyarakat Kepulauan, Energi Surya, Energi Angin*

Pendahuluan

Masyarakat pesisir di kepulauan Talaud menghadapi keterbatasan akses ketersediaan listrik dari jaringan PLN sehingga tidak ada penerangan jalan umum di desa Kiama ini. Krisis energi listrik juga merupakan masalah yang penting untuk dicari solusinya bagi masyarakat pesisir di daerah perbatasan di desa Kiama yang membutuhkan energi listrik untuk penerangan jalan umum.

Desa Kiama yang terletak di Pulau Karakelang menjadi desa mitra yang sudah diteliti potensinya memiliki energi surya dan energi angin oleh penulis sebagai tim peneliti. Desa ini terletak di Kecamatan Melonguane Kabupaten Kepulauan Talaud yang merupakan salah satu daerah 3T (Tertinggal, Terdepan dan Terluar) di Indonesia yang perlu mendapat perhatian untuk pembangunan dan peningkatan kesejahteraan masyarakat.

Berdasarkan survey dan analisa situasi, maka dapat dirumuskan masalah prioritas yang perlu ditangani melalui kegiatan pengabdian masyarakat ini, yaitu keterbatasan akses listrik masyarakat desa Kiama sehingga fasilitas umum jalan tidak berlistrik melalui jaringan PLN. Selanjutnya adalah kurangnya pengetahuan mitra masyarakat di desa Kiama tentang pemanfaatan potensi energi desa yang bisa dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik skala kecil tanpa bergantung pada listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN).

Dampak sosial yang positif dengan adanya pemanfaatan energi terbarukan di daerah pedesaan sudah dilaporkan di Bangladesh (Khan & Azad, 2014). Jejak pelaksanaan pengabdian masyarakat yang sudah dipublikasikan tim pelaksana sebelumnya ada dalam jurnal Penelitian dan Pengabdian Ethos (Sains & Teknologi) dengan judul “Introduksi Teknologi Biogas Sebagai Energi Terbarukan untuk Masyarakat Pedesaan” (Rumbayan, 2017) dan “Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Sederhana di Desa Lahopang Kabupaten Sitaro Provinsi Sulawesi Utara” (Rumbayan, 2018). Publikasi kegiatan pelaksanaan pengabdian masyarakat oleh Tim pada tahun 2019 dipublikasikan pada seminar pengabdian masyarakat di Politeknik Ujung Pandang (Rumbayan et al., 2019).

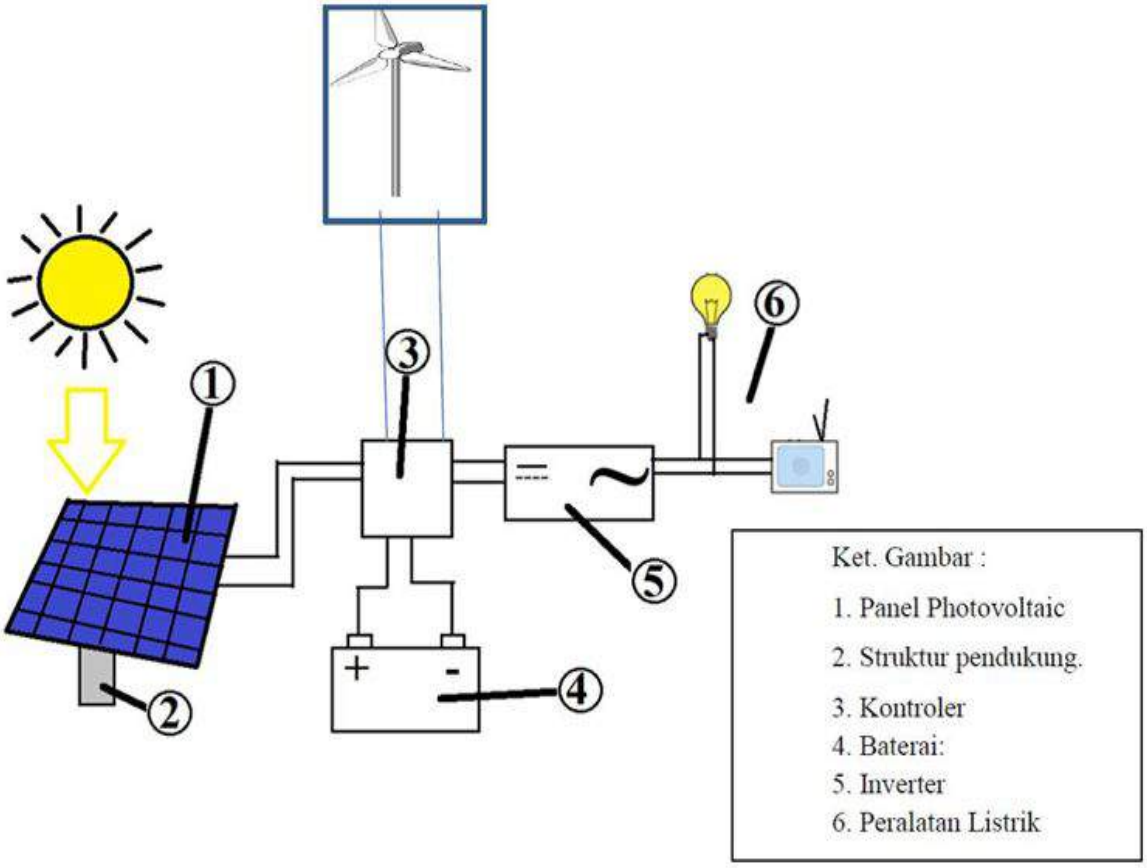
Metode

Lokasi mitra pertama yang dipilih adalah Sekolah Dasar Kristen Immanuel Kiama yang terletak di desa Kiama yang mempunyai masalah terbatasnya akses listrik sehingga tidak memiliki lampu jalan untuk penerangan. Lokasi kedua yang dipilih adalah tempat mitra karang taruna diberi pelatihan berupa demonstrasi turbin angin di tempat yang memiliki potensi energi angin dan energi surya.

Metode dan Tahapan dalam penerapan teknologi ke masyarakat dalam kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat terdiri dari beberapa tahap yaitu melakukan identifikasi terhadap kebutuhan masyarakat, kemudian melakukan perancangan dan pembuatan teknologi tepat guna, kemudian tim akan melakukan uji operasi, pendampingan operasional hingga diseminasi teknologi kepada masyarakat agar dapat dimanfaatkan secara berkesinambungan.

Tahap pertama yaitu melakukan Identifikasi kebutuhan masyarakat. Identifikasi kebutuhan masyarakat dilakukan menggunakan metode *survey* dan diskusi kelompok terfokus. Melalui *survey* dan wawancara ke lokasi desa Kiama di Kepulauan Talaud, teridentifikasi kebutuhan desa mitra yang mengalami masalah keterbatasan jaringan listrik fasilitas penerangan jalan umum. Tahap selanjutnya adalah melakukan perancangan. Perancangan teknologi sistem *hybrid* berupa penerangan tenaga surya dan tenaga angin menjadi solusi yang ditawarkan untuk menjawab kebutuhan listrik desa mitra untuk penerangan penerangan jalan umum desa Kiama. Perancangan penerapan teknologi juga berdasarkan hasil *survey* dan hasil penelitian tim tentang potensi energi terbarukan di desa mitra. Tahap yang ketiga adalah pembuatan teknologi tepat guna bagi mitra. Instalasi penerangan bersumber dari tenaga surya dan tenaga angin dirakit dan di-*install* pada saat pelatihan bersama masyarakat di desa Kiama. Pembuatan teknologi penerangan tenaga surya yang terdiri dari komponen-komponen seperti pada Gambar 1.

Gambar 1
Komponen-Komponen Pendukung Teknologi Tepat Guna Sistem Hybrid Tenaga Surya dan Tenaga Angin



Selanjutnya adalah tahap uji operasi. Pengujian operasi teknologi sistem penerangan tenaga surya yang dirakit kemudian diuji di lapangan untuk penerangan jalan umum di SD Imanuel dan di *demonstration site* yang terletak di pinggir pantai di desa Kiama di kepulauan Talaud. Tahap berikutnya adalah pendampingan operasional. Pendampingan operasional teknologi penerangan bersumber dari panel surya dan tenaga angin dilakukan Tim pelaksana berupa penyuluhan dan bimbingan teknis melalui pelatihan kepada kelompok mitra pemuda desa dan memberikan buku petunjuk teknis penerapan teknologi penerangan tenaga surya. Tahap terakhir adalah diseminasi teknologi kepada masyarakat. Diseminasi teknologi kepada masyarakat dalam bentuk implementasi teknologi berbasis energi terbarukan yang mandiri untuk kebutuhan masyarakat di desa Kiama berupa penerangan jalan umum sesuai dengan kebutuhan masyarakat mitra.

Hasil

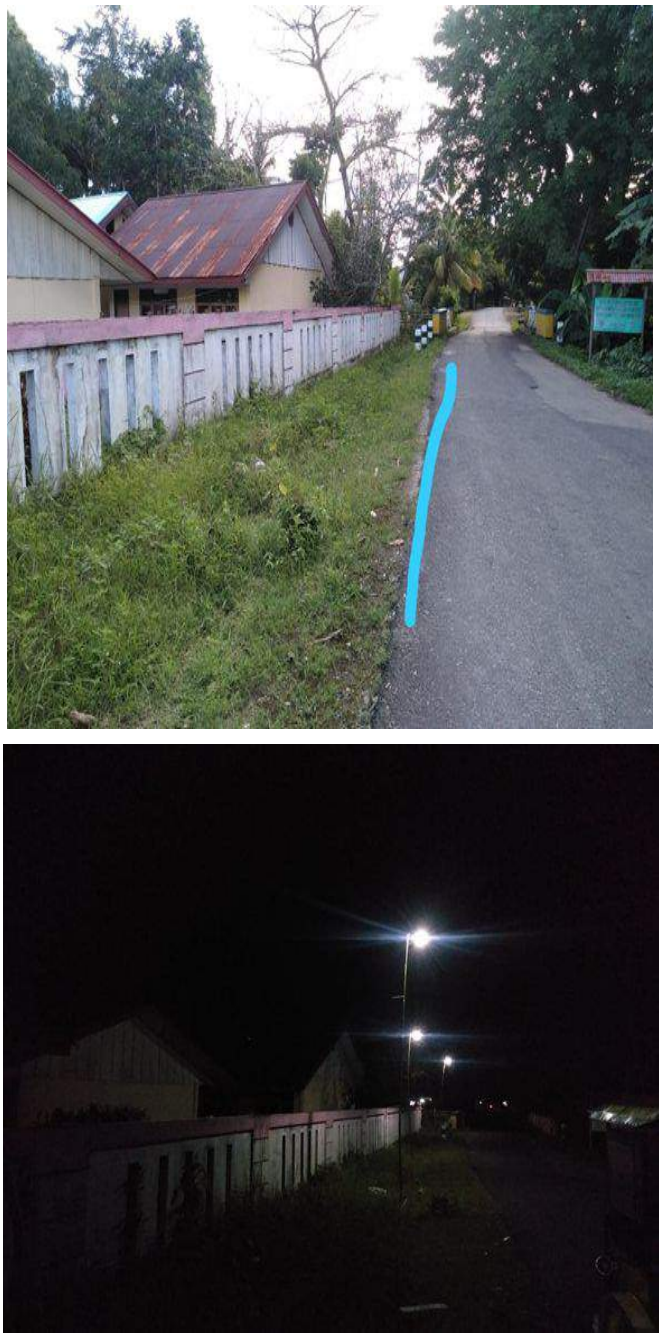
Proses pengabdian kepada masyarakat yang dilakukan melalui pelatihan tentang teknologi tepat guna berupa energi surya dan energi angin diberikan dengan 2 cara, yaitu dalam jaringan (daring) dan luar jaringan (luring). Secara daring melalui pelatihan kepada kelompok pemuda desa menggunakan fasilitas Zoom. Secara luring melalui demonstrasi alat TTG ke lokasi oleh mahasiswa yang dilatih terlebih dahulu. Teknis yang diberikan melalui daring dipilih karena kendala masa pandemic sehingga pendampingan dilakukan melalui daring dan jaringan komunikasi telepon dan *whatsapp* dengan mitra. Hasil kegiatan pengabdian masyarakat berupa pelatihan dan penerapan teknologi tepat guna (TTG) berbasis energi terbarukan di desa Kiama Kepulauan Talaud dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1
Hasil yang Dicapai dan Indikator Capaian Kegiatan Pengabdian Masyarakat

No	Hasil yang dicapai	Indikator Capaian
1.	Pelatihan tentang Teknologi Tepat Guna berbasis energi terbarukan untuk kelompok mitra pemuda desa Kiama.	Berdasarkan kuisioner, peserta pelatihan memahami dan mendukung penerapan TTG di desa Kiama.
2.	Peningkatan penerapan iptek di masyarakat berupa introduksi teknologi penerangan berbasis energi terbarukan	Ada 2 Teknologi Tepat Guna (TTG) yang diterapkan yaitu tenaga surya dan tenaga angin
3.	Perbaikan tata nilai masyarakat berupa peningkatan keamanan dan ketentraman masyarakat desa yang dihasilkan dari penerangan jalan umum	Wawancara dengan kepala desa dan masyarakat desa yang memberi informasi tentang dampak dan manfaat TTG yang diterapkan

Keadaan dan situasi pemasangan lampu jalan tenaga surya di depan Sekolah Dasar Immanuel di Desa Kiama dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2
Situasi sebelum dan sesudah penerapan TTG lampu jalan tenaga surya di depan Sekolah Dasar di Desa Kiama



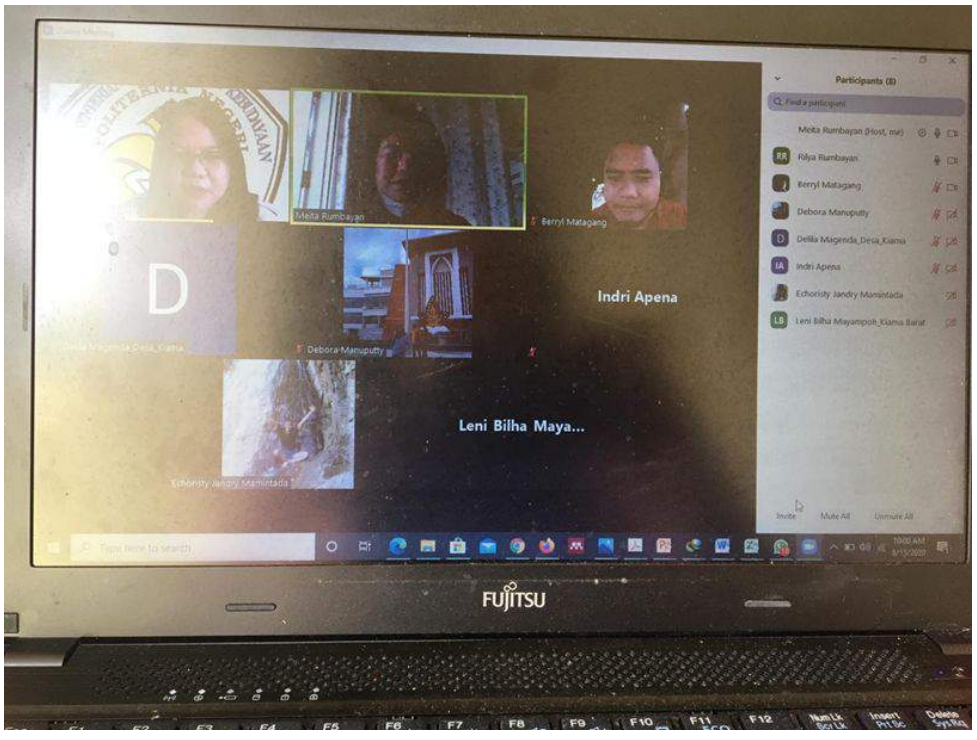
Hasil kegiatan penerapan TTG berupa sistem hybrid tenaga surya dan tenaga angin ditunjukan pada Gambar 3.

Gambar 3
Penerapan TTG Sistem Hybrid berupa Tenaga Surya dan Turbin Angin di *Demostration-Site*



Kegiatan pelatihan melalui dalam jaringan kepada kelompok mitra pemuda desa tentang TTG yang diterapkan ditunjukan pada Gambar 4.

Gambar 4
Pelatihan Teknologi Tepat Guna (TTG) yang diterapkan secara daring kepada kelompok mitra pemuda desa Kiama



Pelatihan ini dilakukan oleh Tim Pelaksana dengan sasaran target kelompok mitra karang taruna pemuda di desa Kiama karena adanya keterbatasan akses jaringan dan fasilitas pelatihan secara daring pada masa pandemik. Selain itu mitra kelompok masyarakat pemuda diharapkan menjadi pelopor dan pendukung program penerapan TTG berbasis energi terbarukan di desa Kiama melalui peningkatan pengetahuan melalui pelatihan dan pendampingan.

Diskusi

Dengan terealisasinya penerangan lampu jalan tenaga surya di desa mitra Kiama diharapkan dapat memberikan pengetahuan dan membuka wawasan masyarakat kepulauan sebagai solusi alternatif dalam penanganan masalah terbatasnya energi listrik. Pelatihan mengenai perawatan dan pemeliharaan teknologi sistem energi terbarukan (*hybrid* tenaga surya dan tenaga angin) diberikan untuk manfaat kesinambungan penggunaan teknologi yang diterapkan.

Evaluasi pelaksanaan program dan keberlanjutan dilakukan pada setiap tahapan pelaksanaan setelah instalasi penerangan lampu jalan dengan tenaga surya di desa Kiama, pelatihan operasi dan perawatan TTG yang terinstal, pelatihan untuk meningkatkan pengetahuan masyarakat teknologi yang diterapkan. Keberlanjutan program ini dapat dijaga secara berkesinambungan melalui transfer pengetahuan dan keterampilan mengenai operasi dan perawatan teknologi yang di diseminasi kepada kelompok karang taruna.

Kesimpulan

Pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat di desa Kiama yang terletak di kepulauan Talaud sudah dilakukan introduksi dan diseminasi teknologi tepat guna berbasis energi terbarukan berupa lampu jalan tenaga surya dan turbin angin yang dapat menjadi solusi terhadap permasalahan krisis energi listrik di daerah kepulauan. Melalui diseminasi dan penerapan teknologi energi terbarukan berupa tenaga surya dan tenaga angin, masyarakat desa Kiama dapat meningkatkan pengetahuannya tentang energi terbarukan yang berpotensi besar untuk dimanfaatkan oleh masyarakat kepulauan yang mengalami masalah krisis energi listrik. Rencana selanjutnya adalah pengembangan science techno park skala kecil sebagai contoh praktis cerdas pemanfaatan energi terbarukan di desa Kiama sebagai desa mitra.

Pengakuan/Acknowledgements

Ucapan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Kementerian Riset dan Teknologi/BRIN untuk hibah yang diberikan sehingga kegiatan Program Pengembangan Desa Mitra (PPDM) di desa Kiama Kepulauan Talaud ini dapat dilaksanakan, juga kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sam Ratulangi Manado untuk

dukungan dalam pelaksanaan kegiatan PKM.

Daftar Referensi

Khan, S. A., & Azad, A. K. M. A. M. (2014). Social impact of solar home system in rural Bangladesh: a case study of rural zone. *IAFOR Journal of Sustainability, Energy and the Environment*, *1*(1), 5-22.

Rumbayan, M., Rumbayan, R., & Sompie, S. (2020, January). Program Pengembangan Desa Mitra Di Kiama Kabupaten Talaud: Penerapan Teknologi Tepat Guna Penerangan Listrik Energi Terbarukan Dan Rumah Tahan Gempa. In *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)* (pp. 415-420).

Rumbayan, M. (2017). Introduksi teknologi biogas sebagai energi terbarukan untuk masyarakat pedesaan. *Ethos (Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat)*, *15*, 21.

Rumbayan, M., Tangkuman, S., & Sompie, S. R. (2018). Penerapan pembangkit listrik tenaga surya skala rumah sederhana di desa lahopang kabupaten sitaro provinsi sulawesi utara. *ETHOS: Jurnal Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat*, *6*(1), 52-61.

Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan Volume 5, Nomor 2, Juni 2013 Hal. 67
ISSN: 2085-1227

Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pirolisis Sampah Organik menjadi Bio-Oil sebagai Sumber Energi Terbarukan

M. Sigit Cahyono
Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik
Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta
e-mail: cgitk41@gmail.com

Abstrak

Sampah organik merupakan potensi sumber energi yang melimpah di Indonesia. Sampah organik berupa daun dan ranting kering bisa dikonversi menjadi bahan bakar berupa bio-oil melalui proses fast pirolisis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jenis bahan terhadap rendemen dan nilai kalor bio-oil yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah organik. Bahan baku berupa daun dan ranting kering campuran tanaman angsana, mahoni dan mangga dengan komposisi daun bervariasi 0%, 50%, dan 100%, dipotong-potong dengan ukuran maksimal 10 cm. Kemudian bahan baku tersebut dipanaskan di dalam reaktor pirolisis pada suhu 500 C selama 1 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor tertinggi (5175,35 J/g) dan rendemen tertinggi (24,5%) didapatkan pada bio-oil yang dihasilkan dari pirolisis ranting 100%.

Kata kunci: *Sampah Organik, Bio-oil, Pirolisis, Rendemen, Nilai Kalor*

PENDAHULUAN

Pada saat ini dunia sedang mengalami krisis energi. Ketersediaan sumber energi untuk mencukupi berbagai kebutuhan, baik skala kecil dan besar, sangat terbatas. Hal ini dikarenakan masih diandalkannya sumber energi dari fosil, yaitu minyak bumi. Sifat minyak bumi yang non *renewable* atau tidak dapat diperbaharui membuat keadaan semakin sulit. Untuk itu diperlukan suatu pemikiran kreatif dengan menciptakan energi alternatif yang bersifat *renewable*, ramah lingkungan dan memiliki ketersediaan yang melimpah (Sandra, 2013).

Di sisi lain, Indonesia memiliki ketersediaan bahan organik (biomasa) berupa sisa pertanian dan perkebunan yang berlimpah. Beberapa contohnya adalah potongan kayu, sekam padi, ampas tebu, cangkang dan tandan kosong sawit, serbuk kayu, serta sabut dan cangkang kelapa. Selain itu, sampah organik dari pemukiman merupakan potensi besar lainnya yang juga amat melimpah. Data dari Kementerian Negara Lingkungan Hidup (Meneg LH) menyebutkan bahwa sepanjang tahun 2008 produksi sampah permukiman di Indonesia mencapai 167 ribu ton perhari (Radar Sulteng, 2009).

Sementara itu, di Kabupaten Sleman jumlah sampah yang ditangani oleh Dinas Kimpraswilhub Kabupaten mencapai 6.776,91 m^3/bulan, dimana sebagian besar merupakan sampah organik. Dari total sampah organik yang ada, kebanyakan berasal dari pasar, sapuan jalan dan taman terutama

tanaman perindang (Dinas Kimpraswilhub Sleman, 2009). Data dari Seksi Pertamanan Bidang PKP Dinas Kimpraswilhub Sleman menunjukkan bahwa jumlah pohon perindang di wilayah Sleman mencapai 11.182 batang, diantaranya yang terbanyak adalah mahoni 1996 batang dan angsana 1778 batang. Selain itu, banyak terdapat pohon mangga di halaman rumah warga (Dinas Kimpraswilhub Sleman, 2008). Semua sampah organik tersebut merupakan sumber energi yang sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia.

Salah satu metode konversi bahan organik menjadi energi adalah menggunakan proses pirolisis. Secara ilmiah, pirolisis adalah proses dekomposisi termal bahan organik pada temperatur sekitar 350-550°C tanpa oksigen. Proses ini melepas 3 jenis produk, yaitu cair (*Bio-oil*), padat (arang), dan gas (CO, CO_2, H_2, H_2O dan CH_4) (Heyerdahl, 2006).

Bio-oil merupakan produk utama dari proses pirolisis cepat (*Fast Pyrolysis*). Menurut Kristy (2007), bio–oil adalah cairan coklat gelap yang tersusun dari senyawa-senyawa teroksigenasi tinggi (*highly oxigenated compounds*), yang diproduksi melalui *fast pyrolisis*, dimana propertinya mendekati *Heavy Fuel Oil* (HFO) nomor 2 atau 6. Bio-oil bersifat asam dengan pH sekitar 3-4, yang mempunyai nilai kalor sebesar 75.000 BTU per galon.

Bio-oil berbeda dengan asap cair yang sudah dikenal secara umum di Indonesia. Asap cair dihasilkan dari proses *slow pyrolisis* dimana laju transfer panasnya sangat kecil, *vapour residence time* yang panjang dan sebagian besar mengandung air (70%), fenol, asam karboksilat dan karbonil. Sedangkan bio-oil dihasilkan dari proses *fast pyrolisis* dimana laju transfer panasnya cepat, *vapour residence time* yang pendek dan sebagian besar mengandung senyawa-senyawa teroksigenasi tinggi.

Bio-oil bersifat larut sempurna dalam alkohol, dimana pelarutannya akan meningkatkan stabilitas bahan dan menurunkan viskositas sehingga cocok digunakan sebagai bahan bakar. Bio-oil tidak dapat larut dalam *diesel oil*, tetapi bisa diemulsifikasi dengan *diesel oil*. Emulsifikasi 10-30 % bio-oil dalam *diesel oil* dapat memperbaiki stabilitas bahan bakar, memperbaiki viskositas, mengurangi tingkat korosifitas, dan meningkatkan nilai bilangan setan.

Bio-oil sebagai salah satu alternatif bahan bakar mempunyai spesifikasi yang khas, seperti disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi bio-oil untuk bahan bakar

Properties	Spesifikasi	Keterangan
HHV	>70.000 BTU/Gal	Metode DINS 51900
Kandungan air	<25%	ASTM D1744
Viskositas	10-150 cP @ 50^{0}C	ASTM D445
S*pesifik gravity*	1,2 @ 15^{0}C	ASTM D4052
Elemental analisis:	**Range**	**Average**
Karbon	51,5-58,3	54,5
Hidrogen	5,5-6,8	6,4
Nitrogen	0,07-0,40	0,2
Sulfur	< 0,07	0,0005
Debu	0,13-0,21	0,16

Sumber : Dynamotive (2006)

Pirolisis cepat (*fast pyrolysis*) merupakan teknik yang relatif baru untuk menghasilkan energi terbarukan. Dibandingkan dengan pembakaran dan gasifikasi serta karbonisasi, yang juga merupakan proses pirolisis lambat yang telah dipraktekkan secara luas dan komersial, pirolisis biomassa terutama pirolisis cepat masih berada dalam tahap pengembangan awal (Poerwanto, 2009).

Penelitian dan pengembangan proses pirolisis cepat bahan organik dengan suplai kalor konvensional telah banyak dilakukan. Brown dan Holmgren (Brown, 2008) telah mengembangkan perangkat yang menghasilkan energi dalam bentuk padat, cair dan gas dengan komposisi 12-15% arang, 60-70% cair, dan 13-25% gas. Proses berlangsung cepat antara 0,5 - 2 detik untuk mendapatkan temperatur moderat 400 – 500^{0}C pada tekanan atmosfer. Hasil minyak pirolisis ini dapat langsung digunakan pada mesin diesel stasioner, atau diproses lanjut. Prof. Yi Weiming dari Shandong University of Technology (Weiming, 2006) telah mengembangkan beberapa prototipe skala umpan 50-200 kg/jam dan melakukan berbagai penelitian optimasi proses pirolisis dan konfigurasi sistem maupun variasi reaktor prosesnya.

Penelitian pirolisis di dalam negeri telah dilakukan beberapa perguruan tinggi dalam skala lab, merujuk beberapa referensi yang diperoleh. Penelitian tugas akhir sarjana oleh Ekasurya Poerwanto dari ITB (Poerwanto, 2009), merancang reaktor *batch* pirolisis serbuk gergaji. Proses berlangsung pada 300-450^{0}C selama 30-60 menit, menghasilkan produk pirolisis yang mengandung air, asam

karboksilat, dan senyawa aromatik. Disimpulkan dari penelitian tersebut, hasil yang diperoleh relatif sama dengan hasil yang diperoleh dari penelitian pirolisis biomassa lain.

Irawan Noor (Noor, 2011) meneliti pengaruh bahan baku serbuk gergaji kayu jati dan suhu terhadap rendemen bio-oil serta nilai kalor yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen bio-oil tertinggi dari limbah serbuk gergaji kayu jati dihasilkan pada temperatur 500^0C yaitu sebesar 21,99% dan nilai kalor yang dihasilkan yaitu 7497,52 Kal/g. Nilai kalor ini lebih tinggi dibandingkan nilai kalor dari kayu dan batubara.

Dalam proses pirolisis, komposisi produk akhir sangat bergantung pada komposisi bahan dan kondisi proses pirolisis (Fachrizal dkk, 2013). Oleh karena itu, untuk mengetahui pengaruh jenis bahan sampah organik berupa daun dan ranting kering, terhadap kuantitas (rendemen) dan kualitas (nilai kalor) produk bio-oil yang dihasilkan, perlu dilakukan sebuah penelitian agar bisa dijadikan dasar dalam perencanaan mesin pirolisis skala yang lebih besar.

METODE PENELITIAN

a. Bahan Penelitian

Bahan baku dari sampah organik berupa daun dan ranting tanaman angsana, mahoni dan mangga yang didapatkan dari Lokasi Daur Ulang Sampah (LDUS) Tambak Boyo, Sleman. Bahan baku tersebut dikeringkan sampai kadar air sekitar 15%, kemudian dicacah sampai ukuran maksimal 10 cm. Dalam satu kali pirolisis, digunakan daun dan atau ranting kering sebanyak 1 kg yang dipirolisis pada suhu 500^oC selama 1 jam.

b. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan berupa satu set alat pirolisis, seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.

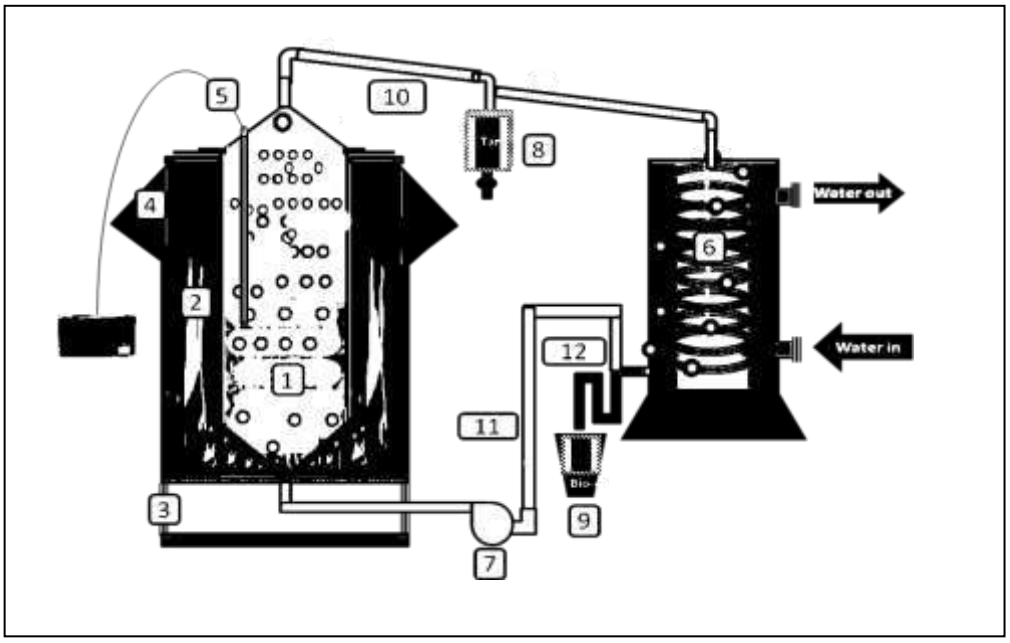
c. Jalannya Penelitian

Tahap pertama adalah memasukkan bahan baku yang telah disiapkan ke dalam tabung *pirolisis (retort)*, kemudian memasang tutupnya yang telah dilengkapi *temperature* dan *pressure indicator*. Di sisi lain, bahan bakar yang disiapkan dimasukkan ke tungku pembakaran (*kiln*). Setelah itu, alat dirangkai dengan memasukkan *retort* ke dalam *kiln* dan memasang pipa uap untuk mengalirkan uap menuju kondensor.

Tahap kedua setelah peralatan terpasang adalah melakukan pembakaran, dimana penyalaan awal dilakukan dari bagian bawah *kiln* dengan membakar jerami yang mudah terbakar, sehingga bahan bakar yang terdapat di dalam *kiln* juga ikut terbakar dengan cepat. Pada saat pembakaran,

dilakukan pengamatan terhadap suhu dan tekanan di dalam *retort* dimana suhu dijaga sekitar 500^0C selama 1 jam, dengan cara memperkecil lubang udara *kiln* jika suhu naik lebih dari 500^0C serta menambahkan bahan bakar apabila suhu turun di bawah 500^0C.

Pada saat pirolisis, terjadi penguapan *volatile matter* dan penguraian bahan organik menghasilkan uap dan arang. Uap yang terbentuk dialirkan menuju kondensor untuk didinginkan agar terbentuk bio-oil, sedangkan sisa gas yang *non condensable* dikeluarkan ke udara. Sedangkan arang akan tertinggal di dalam *retort* dan akan dikeluarkan setelah selesai percobaan. Bio-oil yang terbentuk kemudian ditampung dalam penampung lalu diukur volume dan nilai kalornya menggunakan alat *Oxygen Bomb Calorimeter*.



Gambar 1. Satu set alat pirolisis

Keterangan :

1. Tabung pirolisis (Retort)
2. Tungku pembakaran (Kiln)
3. Lubang udara
4. Lubang bahan bakar
5. Termokopel
6. Tabung Kondensasi
7. Blower
8. Penampung tar
9. Penampung bio-oil
10. Pengukur tekanan
11. Pipa gas recycle
12. Pipa bio-oil

HASIL PENELITIAN

a. Karakteristik Bahan Baku

Untuk mengetahui kondisi awal bahan baku, dilakukan pengujian nilai kalor, kadar air dan kadar abu di Laboratorium Kimia dan Biokimia Pusat Studi Pangan dan Gizi UGM, dengan hasil disajikan pada Tabel 2.

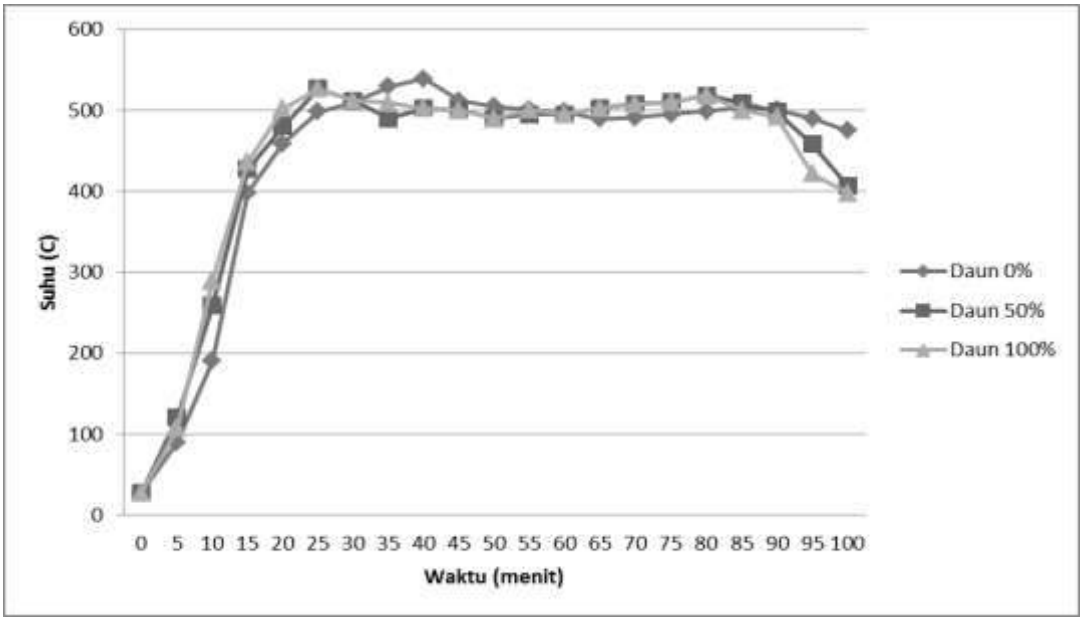
Tabel 2. Hasil analisa bahan baku

No	Analisa	Daun kering	Ranting kering
1	Nilai kalor (J/g)	14.968	17.083
2	Kadar Air (%)	12,53	14,56
3	Kadar Abu (%)	11,34	13,89

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai kalor campuran ranting kering tanaman angsana, mahoni dan mangga lebih besar daripada campuran daun kering tanaman yang sama. Begitu juga dengan kadar air dan kadar abu dari ranting kering yang lebih besar daripada daun kering. Hal ini disebabkan karena kandungan senyawa kimia di dalam ranting lebih kompleks dibandingkan kandungan kimia daun (Soenardi, 1995).

b. Proses Pirolisis

Bio-oil terbentuk pada pirolisis biomassa pada suhu sekitar 500^0C selama 1 jam, dimana kenaikan suhu dari keadaan standar (30^0C) ke suhu 500^0C diusahakan terjadi secepat mungkin (Bridgewater, 2007). Proses kenaikan panas yang terjadi selama pirolisis ditunjukkan dalam Gambar 2.

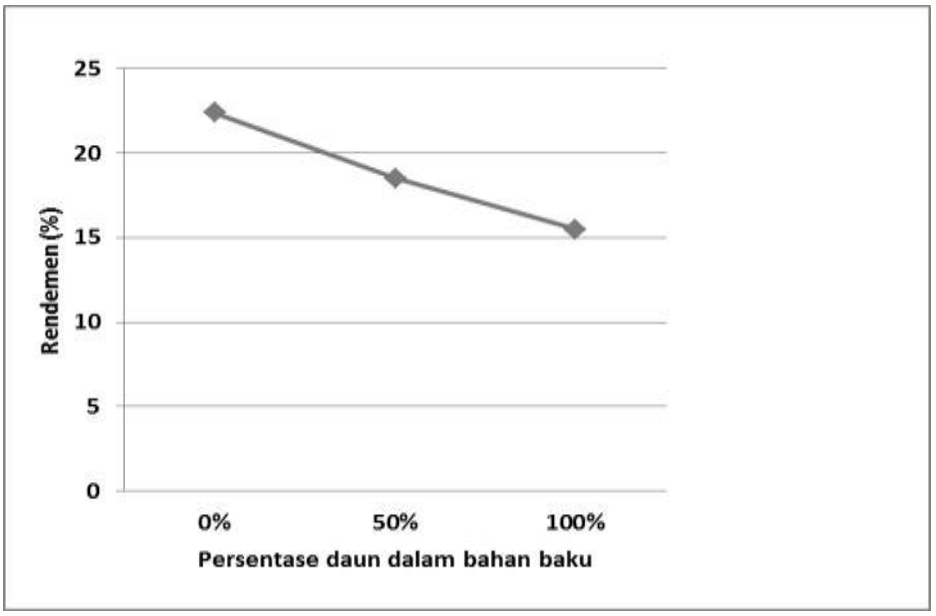


Gambar 2. Kenaikan suhu pada proses pirolisis

Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa kenaikan suhu selama pirolisis dari suhu kamar sampai 500^0C berlangsung dalam waktu sekitar 20 menit. Nilai ini lebih cepat dari proses pirolisis biasa yang menghasilkan produk asap cair dan arang yang terjadi dalam waktu sekitar 90 menit (Nisandi, 2007).

c. Pengaruh Bahan Baku terhadap Rendemen Bio-oil

Rendemen bio-oil yang dihasilkan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh bahan baku terhadap rendemen bio-oil

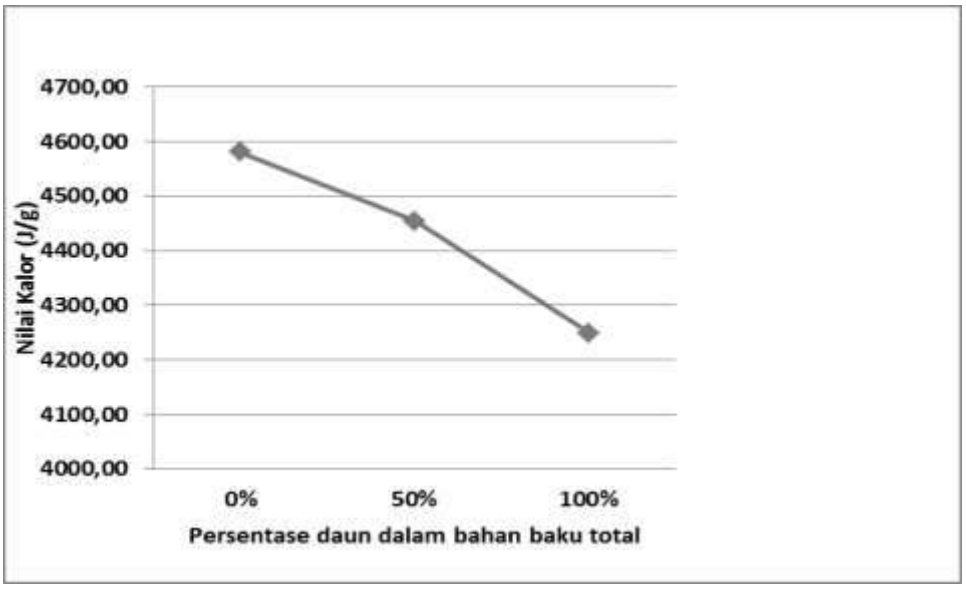
Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai rendemen tertinggi dihasilkan untuk bahan baku daun 0% (atau 100% ranting), yaitu sebesar 24,3 %. Sedangkan rendemen terendah dihasilkan untuk bahan baku daun 100% (atau 0% ranting), yaitu sebesar 15,5 %.

Rendemen bio-oil pada pirolisis 100% ranting lebih tinggi daripada 100% daun, karena kandungan senyawa kimia di dalam ranting lebih kompleks dibandingkan kandungan kimia daun (Soenardi, 1995). Hal ini akan menyebabkan proses konversi bahan organik pada ranting lebih banyak daripada daun.

Akan tetapi, rendemen bio-oil pada penelitian ini masih jauh dibawah rendemen yang dihasilkan pada proses *fluidized bed* yaitu sebesar 70% (Bridgewater, 2007). Hal ini disebabkan karena pada proses *fluidized bed* terjadi fluidisasi material yang berukuran sangat kecil di dalam reaktor dengan bantuan gas inert bertekanan tinggi, sehingga proses transfer panas bisa terjadi dengan sangat cepat, uap yang terbentuk juga semakin besar dan cepat terkondensasi. Hal ini berbeda dengan penelitian ini karena tidak adanya gas inert yang digunakan untuk fluidisasi bahan di dalam reaktor.

d. Pengaruh Bahan Baku terhadap Nilai Kalor Bio-oil

Nilai kalor bio-oil yang dihasilkan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh bahan baku terhadap nilai kalor bio-oil

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai kalor tertinggi dihasilkan untuk bahan baku daun 0% (atau 100% ranting), yaitu sebesar 5.175,35 J/g. Sedangkan nilai kalor terendah dihasilkan untuk bahan baku daun 100% (atau 0% ranting), yaitu sebesar 4.249,20 J/g. Nilai kalor bio-oil dari pirolisis ranting lebih besar daripada daun, disebabkan karena bahan baku awal berupa ranting sebelum dipirolisis memiliki nilai kalor yang lebih besar dibandingkan daun.

Akan tetapi, nilai kalor bio-oil pada penelitian ini masih jauh dibawah rendemen yang dihasilkan pada proses *fluidized bed* yaitu sebesar 18.000 J/g (Bridgewater, 2007). Hal ini disebabkan karena pada proses *fluidized bed* terjadi fluidisasi material yang berukuran sangat kecil di dalam reaktor dengan bantuan gas inert bertekanan tinggi, sehingga proses transfer panas bisa terjadi dengan sangat cepat, uap yang terbentuk juga semakin besar dan cepat terkondensasi sehingga produk bio-oil mempunyai nilai kalor lebih tinggi. Hal ini berbeda dengan penelitian ini karena tidak menggunakan gas inert untuk fluidisasi bahan yang ada di dalam reaktor.

KESIMPULAN

1. Sampah organik berupa daun dan ranting tanaman bisa dikonversi menjadi bio-oil sebagai bahan bakar alternatif menggunakan proses pirolisis.

2. Rendemen bio-oil terbesar dihasilkan dari proses pirolisis 100% ranting kering yaitu sebesar 24,3 %, lebih tinggi dibandingkan bahan baku daun 100% yaitu sebesar 15,5 %.

3. Pirolisis ranting kering akan menghasilkan bio-oil dengan nilai kalori 5.175,35 J/g, lebih besar daripada nilai kalori bio-oil dari daun kering yang sebesar 4.249,20 J/g

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2008, *Laporan Rekapitulasi Pohon Perindang di Kabupaten Sleman*, Dinas Kimpraswilhub Kabupaten Sleman, Sleman, Yogyakarta

Anonim, 2009, *Laporan Rekapitulasi Pengangkutan Sampah di Kabupaten Sleman*, Dinas Kimpraswilhub Kabupaten Sleman, Sleman, Yogyakarta

Bridgewater, 2007, *Biomass Fast Pyrolysis*, Aston University, Birmingham.

Brown, R.C., and Holmgren, J., 2008, *Fast Pyrolysis and Bio-oil Upgrading*, Iowa State University and UOP Honeywell Co.

Dinamotive, 2006, *The Bio-oil Information Book*, edisi 13 Maret. Dynamotive Energy System Corporation, Vancouver (BC), Canada.

Fachrizal, dkk, 2013, Studi Pemanfaatan Gelombang Mikro pada Pengembangan Teknologi Pirolisis Biomassa, *Jurnal Ilmiah Teknologi Energi*, Volume 1 nomor 16 Edisi Februari 2013, Hal 20-33

Heyerdahl, P.H., and Geoffrey, G., 2006. *Distributed Biomass Conversion*, Norwegian University, Oslo

Kristy M., 2007, *Biooils: Feedstocks, Process and Potential for Synthetic Diesel*, BBI International, Colorado

Nisandi, 2007, *Pengaruh Massa Bahan dalam Ruang Pengarangan serta Komposisi Campuran Bahan terhadap Kualitas Briket Arang yang Dihasilkan pada Pirolisis Sampah Organik*, Tesis Teknologi Pengelolaan dan Pemanfaatan Sampah/limbah Perkotaan (TP2SLP) Magister Sistem Teknik (MST), Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Noor, 2011, *Optimasi Suhu Operasi pada Produksi Bio-Oil dari Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati (Tectona Grandits Linn F)*, Tesis Teknologi Industri Kecil dan Menengah (TIKM) Magister Sistem Teknik (MST), Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Poerwanto, 2009, *Perancangan Reaktor dan Pengembangan Prosedur Operasi Pirolisis Serbuk Gergaji untuk Menghasilkan Bio-oil*, Tugas Akhir, ITB Bandung

Radar Sulteng Online, 2009, *Sampah Indonesia 167 Ribu Ton Per Hari*. Diakses melalui http://www.radarsulteng.com/berita/index.asp?Berita=Utama&id=48959, 23 Februari 2009

Sandra, dkk., 2013, *Konversi Cangkang Sawit menjadi Bio-oil menggunakan Katalis Ni.Mo/Lempung Cengar*, Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik. Universitas Riau

Soenardi, 1995, *Kimia Kayu*, Bagian Penerbitan Fakultas Kehutanan UGM, Yogyakarta

Weiming, 2006, *Biomass Liquifaction Technology*, Shandong University of Technology, Shandong, China

Jurnal Teknik Mesin, Vol 17, No. 1, April 2020, 17–22
ISSN 1410-9867 print / ISSN 2656-3290 online
DOI: 10.9744/jtm.17.1.17–22

Pengaruh Penambahan Minyak Kulit Pisang Terhadap Unjuk Kerja Mesin Diesel

Ninuk Jonoadji[1], Sutrisno[1*], Willyanto Anggono[1], Amelia Sugondo[1], Ezra Septhian[1], Melvin Emil Simanjuntak[2]
[1] Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra,
Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia
[2] Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan,
Jl. Almamater 1, Padang Bulan, Medan 20155, Indonesia
* Penulis korespondensi; E-mail: tengsutrisno@petra.ac.id

ABSTRAK

Di dalam penggunaan berbagai sumber daya alam yang utama, pemakaian bahan bakar minyak bumi pada mesin diesel terus bertambah secara signifikan sehingga ketersediaan dari bahan bakar minyak tersebut yang bersifat *non renewable* dikhawatirkan. Pemanfaatan *biodiesel* dari minyak nabati saat ini sangat popular sebagaimana kebijakan pemerintah Indonesia saat ini telah diberlakukan untuk mengurangi kelangkaan bahan bakar minyak. Kulit pisang yang seringkali menjadi sampah rumah tangga dipertimbangkan dapat dijadikan minyak nabati sehingga minyak nabati tersebut dapat dicampur dengan minyak diesel untuk menghasilkan *biodiesel*. Di dalam penelitian ini, minyak nabati kulit pisang dicampur dengan minyak diesel dengan menggunakan kenaikan 5% minyak nabati tersebut. *Biodiesel* B10 dan B15 dari minyak nabati kulit pisang tersebut harus memenuhi spesifikasi Direktorat Jenderal Minyak dan Gas PERTAMINA untuk digunakan secara luas sebagai *biodiesel* alternatif untuk mesin diesel. Hasil uji kinerja dari mesin diesel menunjukkan bahwa *biodiesel* B15 dapat digunakan untuk mesin diesel.

Kata kunci: Biodiesel; kulit pisang; energi terbarukan; kinerja mesin diesel.

ABSTRACT

Within the use of major natural resources, the consumption of crude oil in diesel engine has been continually increasing significantly so that the availability of the fuels which are non renewable is concerned. The utilization of biodiesel made from biofuel recently is very popular as the policy of the Indonesian government has taken into effect in order to reduce the scarcity of the crude oil. Banana peel that often becomes residential waste is considered to be vegetable oil such that the vegetable oil can be mixed with diesel fuel to produce biodiesel. In this study, the banana peel-vegetable oil is mixed with diesel oil through 5% increments of the vegetable oil. Our proposed biodiesels B10 and B15 from the banana peel-vegetable oil must comply with the standard specification of the Directorate general of Oil and Gas PERTAMINA to be widely used as alternative biodiesel for diesel engine. The results of performance test of a diesel engine demonstrate that the biodiesel B15 can be used for diesel engine.

Keywords: *Biodiesel; banana peel; renewable energy; performance of diesel engine.*

PENDAHULUAN

Perkembangan industri khususnya di daerah Asia Timur Laut (*Northeast Asia*) seperti di negara-negara Cina, Jepang, Korea Selatan dan Rusia berdampak terhadap permintaan pembangkit energi yang sangat tinggi. Hal ini menyebabkan negara-negara di sekitar Asia memberikan penghargaan terhadap kemajuan teknologi terkait dengan energi alternatif, sebagaimana dipaparkan oleh Xiangcheng-zhen dan Yilmaz [1]. Pada tahun 2017 Cina memiliki TPES (*Total Primary Energy Supply*) terbesar sebesar 3,063,434 ktoe (*kilo tonne of oil equivalent*) di Asia Pasifik, kemudian Indonesia berada di urutan empat dengan TPES sebesar 244,066 ktoe, sebagaimana dijelaskan oleh International Energy Agency (IEA) [2].

Indonesia memiliki sebaran sumber energi primer sebagaimana ditunjukkan Tabel 1 dimana dominasi minyak bumi (*crude oil*) terlihat masih paling dominan, yaitu sebesar 75,590 ktoe. Setelah minyak bumi tersebut, *biofuel* dan sampah memiliki kapasitas sebesar 57,546 ktoe, sebagaimana ditunjukkan Tabel 1. Terlepas dari itu, Indonesia telah sukses mengembangkan minyak kelapa sawit (*palm oil*) sehingga Indonesia menjadi penghasil terbesar di dunia dimana minyak kelapa sawit ini merupakan salah satu kelompok *biofuel* dan sampah. Namun demikian, kondisi saat ini menyebabkan embargo *export* minyak ke benua Eropa sehingga pemerintah saat ini menggalakkan program pencampuran *biofuel* dengan minyak bumi menjadi *biodiesel* dengan kadar 20 %. Campuran ini disebut dengan B20. Kemudian pemerintah juga mencanangkan program B30 dan seterusnya untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar diesel untuk transportasi dan industri.

Tabel 1. Sumber energi primer negara Indonesia menurut *International Energy Agency* (IEA) [2]

Sumber Energi	Kapasitas (ktoe)
Batu bara	48,378
Gas alam	38,901
Air	1602
Kincir dan Panel Surya	21,953
Biofuel dan Sampah	57,546
Minyak Bumi	75,590

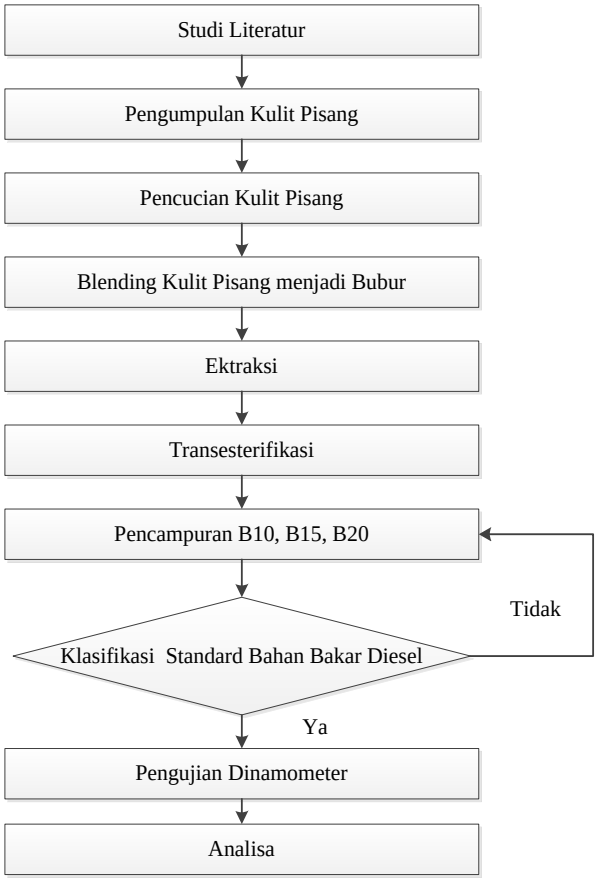
Jumlah produksi kendaraan di sebagian besar negara maju dan rasio kepemilikan mobil semakin besar. Engel-Yan dan Passmore [3] menyatakan bahwa konsumsi bahan bakar fosil terutama bensin dan diesel di sebagian besar negara berkembang meningkat secara dramatis. Oleh karena itu, penggemar mobil bermesin diesel khususnya di Indonesia berjumlah sangat besar dimana salah satunya hal ini didukung dengan penjualan mobil Toyota Kijang Innova bermesin diesel yang sangat tinggi. Akibatnya, konsumsi minyak bumi juga meningkat drastis dan tidak sesuai dengan peraturan yang sudah ditetapkan pemerintah.

Dalam peraturan pemerintah PP no. 5 tahun 2006 disebutkan bahwa penggunaan minyak bumi harus dikurangi sampai dengan 20 % dari konsumsi minyak nasional, sebagaimana dijelaskan oleh Yandri [4]. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba mencari energi alternatif khususnya dari *biofuel* untuk dicampur dengan diesel murni agar menghasilkan variasi *biofuel* lainnya. Energi alternatif selalu diusahakan dari bahan baku yang tidak bernilai, yaitu dari sampah. Berkaitan dengan upaya pencarian energi alternatif tersebut, penelitian dari Sutrisno et al [5] mempelajari tentang pemanfaatan biji alpukat menjadi minyak nabati sebagai campuran bahan bakar diesel. Dari penelitian tersebut, Sutrisno et al [5] membuktikan bahwa minyak nabati dari biji alpukat tersebut dapat dicampur dengan diesel sampai dengan 20% minyak nabati biji alpukat untuk menghasilkan *biofuel* alternatif. Lebih jauh, Karthikeyan dan Viswanath [6] melakukan penelitian tentang efek adiktif atau penambahan (*additive*) dari *titanium oxide nano particle* (TiO_2) terhadap unjuk kerja mesin diesel. Variasi pengunaan campuran bahan bakar diesel murni (D100) dan *biodiesel* (B30) ini sama seperti program pemerintah Indonesia mengenai kebijakan komposisi campuran *biodiesel* yang terdiri dari 70% diesel dan 30% *biofuel*. Dampak adiktif dari TiO_2 tersebut dibuktikan mampu mereduksi emisi pada semua bahan bakar uji sebagaimana dijelaskan oleh Karthikeyan dan Viswanath [6]. Ini adalah salah satu upaya untuk mereduksi emisi pada bahan bakar *biodiesel*. Selanjutnya, hasil pengujian bahan bakar *biodiesel* menghasilkan karbon monoksida yang paling tinggi dibandingkan dengan bahan bakar diesel murni.

Rismunandar [7] menyatakan bahwa buah pisang merupakan buah yang kaya karbohidrat dari isi dan kulitnya. Berdasarkan analisa kimia, kulit pisang mengandung 24.6% minyak nabati. Selain itu menurut Stover dan Simmonds [8], kulit pisang memiliki kandungan minyak nabati yang dapat diolah menjadi bahan bakar alternatif. Jumlah kulit pisang adalah 1/3 dari buah pisang yang utuh sehingga kulit pisang berpotensi menjadi sampah rumah tangga. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan sampah kulit pisang untuk diolah menjadi *biofuel*.

Penggunaan *biodiesel* dapat mengurangi permasalahan yang dipaparkan di atas. Saat ini banyak orang Indonesia mengkonsumsi buah pisang tetapi kulitnya hanya menjadi limbah rumah tangga. Padahal menurut Bimantoro et al [9], kulit pisang dapat dibuat menjadi *biodiesel* karena kulit pisang mengandung karbohidrat dan minyak nabati. Dalam studi ini, *biodiesel* alternatif yang diusulkan merupakan campuran antara diesel dan minyak kulit pisang. Bahan bakar campuran yang diteliti tersebut meliputi *biodiesel* B10, B15, dan B20 dimana angka 10, 15, dan 20 merupakan prosentase kandungan minyak kulit pisang yang ditambahkan. Hal ini juga karena *biosolar* PERTAMINA saat ini menggunakan varian B20 dan tahun depan akan memakai varian B30. Lebih jauh, berbeda dengan *biosolar* alternatif yang diteliti dalam studi ini, *biosolar* PERTAMINA menggunakan minyak kelapa sawit.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. *Flow chart* penelitian

Pada Gambar 1 dijelaskan proses penelitian yang dilakukan mulai dari studi literatur, pengumpulan kulit pisang, pencucian kulit pisang, *blending* kulit pisang menjadi bubur, ektraksi, transesterifikasi hingga terbentuk minyak kulit pisang. Proses dilanjutkan kembali ke tahap pengujian kualitas minyak nabati tersebut. Selanjutnya minyak nabati tersebut dicampur dengan bahan bakar diesel menjadi beberapa campuran, yaitu B10, B15, B20, dan B30. Kualitas campuran diuji dengan standar Direktorat Jenderal Minyak dan Gas PERTAMINA. Apabila lolos dari standar tersebut, tahap akhir adalah pengujian kinerja dari mesin diesel dengan menggunakan varian *biodiesel* alternatif yang diusulkan.

Proses *rendering* menurut Bimantoro et al [9] merupakan cara ektraksi minyak pada bahan yang memiliki kadar air yang tinggi. Hal ini bertujuan untuk menggumpalkan protein pada dinding sel bahan dan memecah dinding sel sehingga mudah dilewati oleh minyak yang terkandung di dalamnya. Melalui proses estraksi dengan cara *rendering*, bubur kulit pisang dimasukkan ke dalam panci, kemudian dipanaskan dengan memakai kompor sambil dilakukan pengadukan. Proses tersebut dilakukan dengan menggunakan kompor listrik 600 Watt selama kurang lebih 1 jam 15 menit. Temperatur saat rendering adalah 100^{0}C – 105^{0}C. Minyak kulit pisang akan keluar di bagian atas permukaan sedangkan ampas bubur kulit pisang akan mengendap di bawah. Pada gambar 2 dipaparkan proses ektraksi pada bubur pisang.



(a)



(b)

Gambar 2. Proses ekstraksi minyak kulit pisang: a). proses *rendering;* b). pemisahan minyak

Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis K-OH (Kalium Hidroksida) ditunjukkan pada Gambar 3. Transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan peralatan yang meliputi pemanas listrik, termometer, dan magnet *stirrer* dimana *stirrer* (pengaduk) ini bekerja secara simultan. Pencampuran methanol yang ditambahkan digunakan untuk memperoleh senyawa metoksi yang diperlukan pada saat reaksi esterifikasi. Reaksi esterifikasi ini dilakukan dengan mereaksikan senyawa metoksi yang telah terbentuk dengan kulit pisang. Kemudian campuran tersebut diaduk dengan menggunakan *stirrer* selama kurang lebih 2 jam. Setelah itu, proses dilanjutkan dengan penyaringan dan pengendapan selama kurang lebih 2 hari pada suhu kamar.

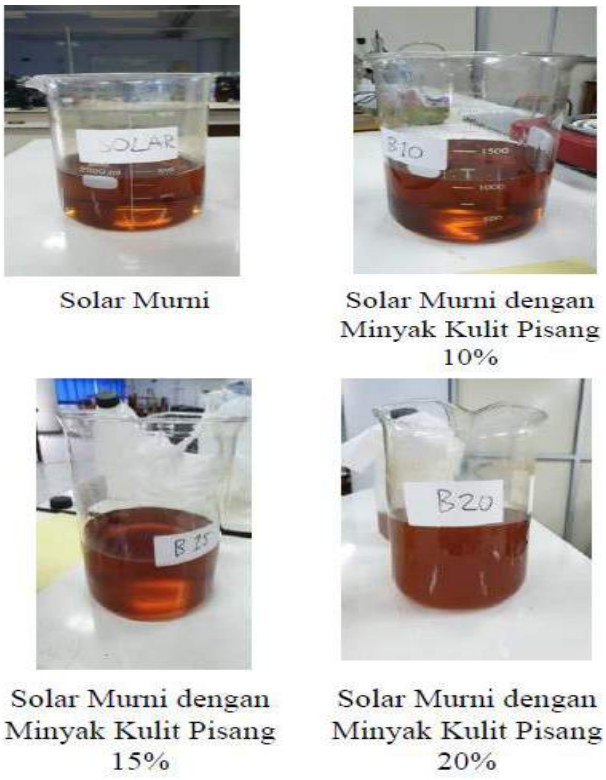


Gambar 3. Transesterifikasi

Proses pencampuran minyak kulit pisang dengan Dexlite dibuat menjadi tiga sampel *biodiesel* dengan prosentase 10%, 15%, dan 20% dari minyak kulit pisang. Dexlite yang digunakan untuk pengujian adalah produk dari PERTAMINA. Dalam pengujian karakteristik di Sucofindo, dibutuhkan solar murni PERTAMINA dan campuran minyak kulit pisang sebesar 10%, 15%, dan 20%. Pada saat pengujian karakteristik biodiesel, dibutuhkan 1 liter *biodiesel* untuk setiap sampelnya.

Mesin diesel yang digunakan untuk pengujian performa menggunakan mesin Isuzu 4JA – I, OHV. Kondisi lingkungan (temperatur, tekanan, dan kelembaban udara) dimonitor selama pengujian performa mesin. Mesin diesel tersebut dihidupkan pada putaran *idle* 750 rpm selama kurang lebih 5 menit agar mesin mencapai suhu kerja. Pompa masukan air *dynamometer* dihidupkan dan diatur tekanannya pada 1.5 kg/cm^2 melalui katup pemasukan air.

Pada tahap pertama, putaran mesin dinaikkan menjadi 3000 rpm dengan pengereman 0% dan tekanan air dijaga tidak berubah. Selanjutnya pompa dihidupkan sambil dicatat beban yang terbaca pada *dynamometer*. Waktu yang dibutuhkan untuk mengkonsumsi 50 ml bahan bakar yang terdapat pada gelas ukur dicatat, demikian juga jumlah bahan bakar yang kembali (*return flow*), suhu, dan kelembapan udara. Setelah itu posisi pengereman dinaikkan dengan menekan tombol peningkatan beban pada alat kontrol sehingga putaran mesin turun menjadi 2800, 2600, 2400, 2200, 2000, 1800, dan 1600 rpm. Pencatatan data diulangi kembali. Kemudian beban harus dibebaskan dengan mengembalikan posisi pengereman ke 0% dengan cara menekan tombol penurunan beban sambil mengembalikan putaran mesin ke putaran *idle*. Selanjutnya mesin diesel dimatikan dan percobaan telah selesai. Percobaan ini dilakukan sebanyak 2 kali sesuai dengan prosedur yang sama.



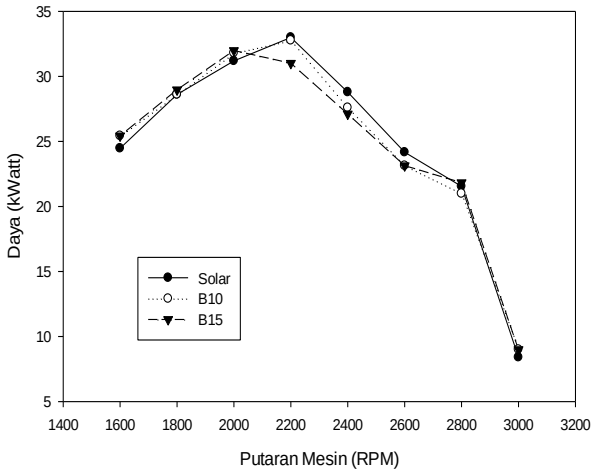
Gambar 4. Pencampuran solar murni dengan minyak kulit pisang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian unjuk kerja mesin diesel Isuzu 4JA – 1, OHV dilakukan di Laboratorium Motor Bakar, Universitas Kristen Petra dengan menggunakan metode pengereman berubah dan putaran berubah. Pengujian unjuk kerja solar murni, *biodiesel* B10, dan biodiesel B15 dilakukan sebanyak 2 kali percobaan dan dihitung rata-ratanya. Data yang diperoleh adalah putaran mesin (rpm), beban (N), waktu (detik), *return flow* (ml), dan temperatur udara (^{0}C). Dari sejumlah data tersebut, kemudian daya (kW), torsi (Nm), *Brake-Specific Fuel Consumption* (BSFC) atau konsumsi bahan bakar efektif, dan efisiensi *thermal* (η) dihitung dengan menggunakan sejumlah persamaan pendukung.

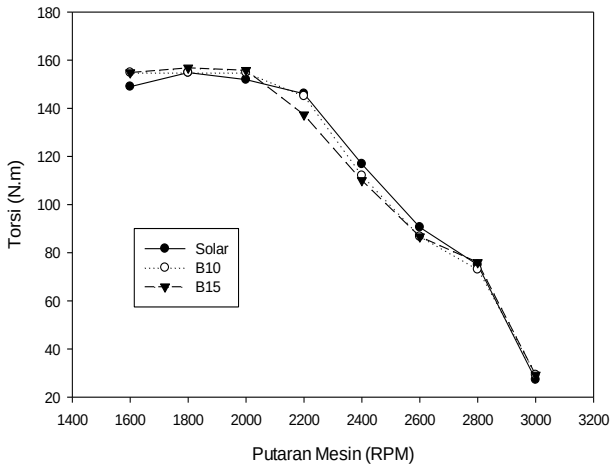
Dari Gambar 5, terlihat bahwa daya tertinggi dari solar PERTAMINA Dex adalah 32.99 kW pada putaran sebesar 2200 rpm dan daya terendah adalah sebesar 8.4 kW pada putaran sebesar 3000 rpm. Selanjutnya, daya tertinggi dari *biodiesel* B10 adalah 32.77 kW pada putaran 2200 rpm dan daya terendah adalah sebesar 9 kW pada putaran 3000 rpm. Sementara itu, daya tertinggi dari *biodiesel* B15 adalah 31.99 kW pada putaran 2000 rpm dan daya terendah adalah sebesar 9 kW pada putaran 3000 rpm. Lebih jauh, untuk putaran 1600 rpm biodiesel B15 menghasilkan daya yang lebih besar daripada daya dari solar murni oleh karena *density* dan

kinematic viscosity yang lebih besar daripada *density* dan *kinematic viscosity* dari solar murni yang memiliki sifat lebih baik pada saat putaran rendah. Sebaliknya, *density* dan *kinematic viscosity* menjadi rendah saat putaran 2200 rpm 2200 rpm.



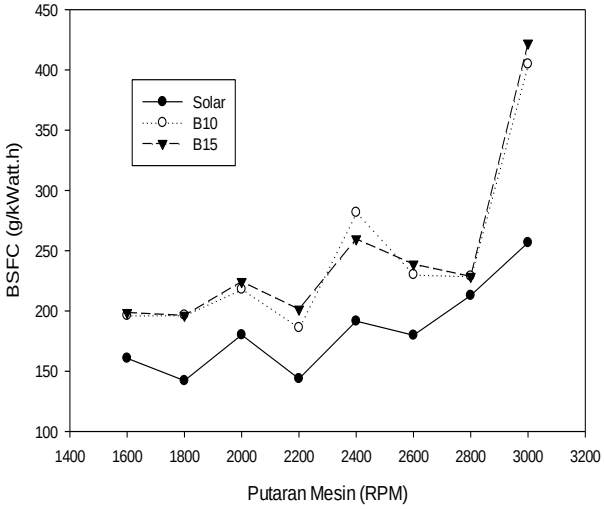
Gambar 5. Perbandingan daya terhadap putaran mesin

Dari Gambar 6, torsi tertinggi dari solar PERTAMINA Dex adalah 154.83 Nm pada putaran 1800 rpm dan torsi terendah adalah sebesar 27.26 Nm pada putaran sebesar 3000 rpm. Untuk *biodiesel* B10, torsi tertinggi adalah 154.83 Nm pada putaran 1600 rpm - 2000 rpm, sedangkan torsi terendah adalah sebesar 29.21 Nm pada putaran 3000 rpm. Sementara itu, *biodiesel* B15 menghasilkan torsi tertinggi sebesar 156.78 Nm pada putaran 1800 rpm dan torsi terendah 29.21 Nm pada putaran 3000 rpm. Lebih jauh, untuk putaran 1600 rpm *biodiesel* B15 memiliki torsi yang lebih besar daripada solar murni oleh karena *density* dan *kinematic viscosity* yang lebih besar daripada kedua properti yang sama dari solar murni yang memiliki sifat lebih baik saat putaran rendah. Sebaliknya, *density* dan *kinematic viscosity* menjadi rendah pada saat putaran 2200 rpm.

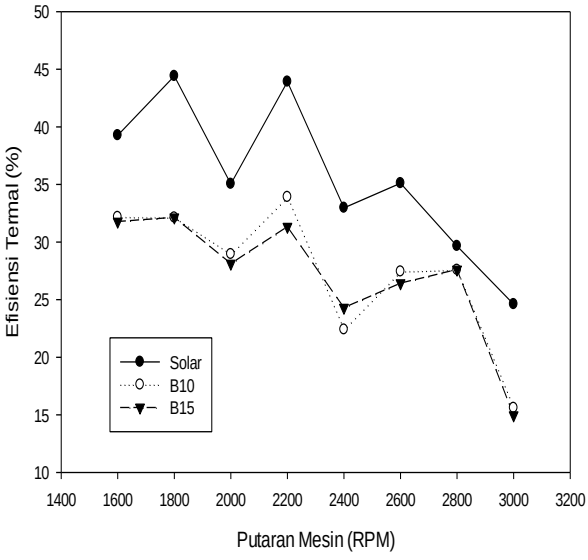


Gambar 6. Perbandingan torsi terhadap putaran mesin

Dari Gambar 7 terlihat bahwa solar PERTAMINA Dex memiliki BSFC tertinggi sebesar 250 g/ kWatt.h pada putaran 3000 rpm dan BSFC terendah sebesar 140 g/ kWatt.h pada putaran 1800 rpm. Sementara itu, *biodiesel* B10 memiliki BSFC tertinggi sebesar 400 g/ kWatt.h pada putaran 3000 rpm dan BSFC terendah sebesar 180 g/ kWatt.h pada putaran 2200 rpm. Lebih jauh, *biodiesel* B15 menghasilkan BSFC tertinggi sebesar 420 g/ kWatt.h pada putaran 3000 rpm dan BSFC terendah sebesar 190 g/ kWatt.h pada putaran 1800 rpm. Dari Gambar 7 tersebut terlihat bahwa solar murni lebih hemat. Hal ini oleh karena *Air Fuel Ratio* (AFR) menjadi lebih tinggi sehingga kandungan oksigen di dalam *biodiesel* menyebabkan pembakaran menjadi lebih baik. Jika nilai BSFC lebih tinggi maka konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan menjadi lebih tinggi.



Gambar 7. Perbandingan BSFC terhadap putaran mesin



Gambar 8. Perbandingan *brake thermal efficiency* terhadap putaran mesin

Gambar 8 menunjukkan bahwa solar PERTAMINA Dex menghasilkan efisiensi *thermal* tertinggi sebesar 44% pada putaran 1800 rpm dan efisiensi *thermal* terendah sebesar 24% pada putaran 3000 rpm. *Biodiesel* B10 menghasilkan efisiensi *thermal* tertinggi sebesar 33% pada putaran 2200 rpm dan efisiensi *thermal* terendah sebesar 15% pada putaran 3000 rpm. Untuk *biodiesel* B15, efisiensi *thermal* tertinggi adalah 32% pada putaran 1800 rpm dan efisiensi *thermal* terendah sebesar 14% pada putaran 3000 rpm. Berkebalikan dengan grafik BSFC, perbandingan *thermal* terbaik adalah solar murni karena solar murni memiliki BSFC yang paling hemat sehingga efisiensi *thermal* dari solar murni menjadi yang terbaik.

Terlihat bahwa daya terbesar dihasilkan oleh solar PERTAMINA Dex, sedangkan *biodoesel* B10 menghasilkan daya yang lebih besar daripada daya dari *biodiesel* B15. Lebih jauh, *biodiesel* B15 menghasilkan torsi terbesar. BSFC dari *biodiesel* B15 memiliki nilai yang tertinggi sedangkan efisiensi *thermal* dari PERTAMINA Dex mempunyai nilai yang tertinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa limbah kulit pisang dapat digunakan menjadi bahan bakar *biodiesel* alternatif. Proses ekstraksinya dapat dilakukan dengan cara *rendering*. Minyak yang dihasilkan dari proses *rendering* kemudian ditransesterifikasi untuk mendapatkan metal ester murni tanpa gliserin. Minyak nabati yang dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar solar murni adalah minyak kulit pisang B10 dan B15. *Biodiesel* B20 tidak lulus uji karakteristik karena *biodiesel* tersebut memiliki *kinematic viscosity* sebesar 4.9×10^{-4} m^2/s. Nilai *kinematic viscosity* tersebut melebihi batas maksimal sebesar 4.5×10^{-4} m^2/s. Faktor penyebab tidak lulus berikutnya adalah *flash point* sebesar < 28^0C yang mana nilai ini kurang dari batas minimal sebesar 52^0C.

Daya solar murni adalah sebesar 442.3 hp; lebih tinggi dibandingkan dengan daya *biodiesel* B10 maupun *biodiesel* B15.

Sedangkan torsi tertinggi dihasilkan oleh *biodiesel* B15 dengan nilai 156.78 Nm. *Biodiesel* B15 tetap menghasilkan BSFC yang terbaik sebesar 196.4 g/kWatt.h. Dibandingkan dengan *biodiesel* B10 dan B15, solar murni menghasilkan efisiensi *thermal* yang tertinggi sebesar 44%.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Xiangchengzhen, M., Yilmaz, S., 2020, "Renewable energy cooperation in Northeast: Incentive, mechanicms and challenges", *Elsevier-Energy Strategy Reviews*, 29, pp. 1-7.

[2]. International Energy Agency (IEA), 2019, *Total primary energy supply*. (Diunduh dari: https://www.iea.org/regions/asia-pacific)

[3]. Engel-Yan, J., Passmore, D., 2013, "Carsharing and car ownership at the building scale, *Journal of the American Planning Association*, 79(1), pp. 82-91.

[4]. Yandri, V. R., 2012, "Pemanfaatan Minyak Jelantah sebagai Biodiesel untuk Bahan Bakar Bus Kampus UNAND di Padang", *Jurnal Aplikasi Ipteks untuk Masyarakat*, 1(2), hal. 119-125.

[5]. Sutrisno, Anggono, W., Suprianto, F. D., Santoso, C. D., Suryajaya, M., Gotama, G. J., 2019, "Experimental Investigation of Avocade Seed Oil Ultization in Diesel Engine Performance", *E3S Web of Conference,* 130, pp. 1-10.

[6]. Karthikeyan, P., Vismanath, G., 2020, "Effect of titanium oxide nanoparticles in tamanu biodiesel operated in a two cylinder diesel engine", *Elsevier-Materials Today: Proceedings*, 22(3), pp. 776-780.

[7]. Rismunandar, 1990, *Bertanam Pisang*, C.V. Sinar Baru, Bandung, Indonesia.

[8]. Stover, R. H., Simmonds, N. W., 1987, *Bananas (Tropical Agriculture Series), 3rd ed.*, John Wiley & Sons, Inc., New York, the United States of America.

[9]. Bimantoro A., Remiadjati, F. I., Damayanti, A., 2011, *Biodiesel Berbasis Limbah Kulit Pisang dengan Katalis yang berasal dari Tandan Kosong Kelapa Sawit.* Laporan PKM, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Jawa Barat, Indonesia.

ISSN: 2338 – 0691
April 2013

PENGEMBANGAN BAHAN AJAR IPA TERPADU BEBASIS SALINGTEMAS DENGAN TEMA BIOMASSA SUMBER ENERGI ALTERNATIF TERBARUKAN

[1)]Oni Arlitasari, [2)]Pujayanto, [3)]Rini Budiharti

Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36 A, Surakarta, email : Oniarlitasari@ymail.com

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan bahan ajar IPA Terpadu berupa modul yang berbasis SALINGTEMAS dengan tema Biomassa Sumber Energi Alternatif Terbarukan yang memenuhi kriteria baik. Penelitian yang menggunakan pendekatan kualitatif dengan didukung data kuantitatif ini merupakan penelitian pengembangan berdasarkan model yang dikembangkan oleh Borg dan Gall. Prosedur pengembangan penelitian ini meliputi: (1) Penelitian dan megumpulkan informasi, (2) Perencanaan, (3) Pengembangan draft produk, (4).Uji coba lapangan awal, (5) Merevisi hasil uji coba lapangan awal, dan (6) Uji coba lapangan utama. Teknik pengumpulan data yang digunakan berupa angket dan observasi. Data-data yang diperoleh berasal dari validator yang terdiri atas 3 dosen ahli, 2 guru sebagai reviewer dan 3 peer reviewer serta responden yang terdiri atas 10 siswa dari dua SMP Negeri dan 30 siswa yang berasal dari lima SMP Negeri. Data kuantitatif dianalisis dengan menggunakan penilaian skor standar dari Saifudin Azwar yang kemudian dibagi menjadi lima kategori.Teknik analisis data kualitatif yang digunakan yakni model interaktif dari Miles dan Huberman yang melalui tahap reduksi data, penyajian data dan penarikan kesimpulan. Pengembangan bahan ajar IPA Terpadu berbasis SALINGTEMAS yang berupa modul dengan tema Biomassa Sumber Energi Alternatif Terbarukan secara umum sudah baik dengan kesesuaian hasil validasi dari ahli, peer reviewer dan reviewer dalam komponen materi, komponen bahasa dan gambar, komponen penyajian dan.Pengembangan modul IPA Terpadu berbasis SALINGTEMAS dengan tema Biomassa Sumber Energi Alternatif Terbarukan telah berhasil diujicobakan dalam lapangan tahap awal dan utama dengan hasil yang sangat baik.

Kata kunci**:** bahan ajar, IPA terpadu, SALINGTEMAS, biomassa

ABSTRACT

The purpose of research are to develop the integrated natural science's teaching materials based on STS and Environmental which theme Biomass Renewable Alternative Energy Sources that have good criteria. The research which use qualitative approximation and supported data's quantitative is development research base on Borg and Gall's model. Procedure of this research are : (1).Research and information collecting, (2) Planning, (3) Develop preliminary form of product, (4) Preliminary field testing, (5) Main product revision, and (6) Main field testing. Techniques of collecting data were obtained by questionnaire and observation. Data which have gotten were obtained by subject of research are validate that consist of 3 experts, 2 teachers as reviewer and 3 peer reviewer, and also respondent that consist of 10 students from two Junior High School and 30 student from five Junior High School. Technique of analyzing quantitive's data used is standard assessment from Saifudin Azwar which done by divided into five category. Technique of analyzing qualitative's data which used is interactive model from Miles and Huberman which done by the stage of data reduction, display data and drawing conclusion. Development of the integrated natural science's teaching materials based on STSE which theme Biomass Renewable Alternative Energy Sources that have good criteria is good which agree with validation of expert, peer reviewer and reviewer in material's component, language and picture's component, appearance's component and graphic's component. It's also have been testing field in preliminary and main 'stage which excellently result.

Key word : teaching materials, integrated natural science's, STSE, biomass

Keterbelakangan sektor pendidikan tercemin dari laporan *Human Development Index 2007* (Indeks Pembangunan Manusia 2007). Peringkat Indonesia nomor 111 dengan skor 0, 734. Hal ini jauh di bawah negara-negara tetangga : Singapura peringkat 23 dengan skor 0,944, Malaysia peringkat 66 dengan skor 0,829, Thailand peringkat 87 dengan skor 0,783 (*Human Development Report 2009* : 11) . Indeks Pembangunan Manusia merupakan indikator yang dirancang untuk mengukur kualitas hidup bangsa, akses pendidikan yang layak, harapan hidup dan standar hidup.

Kualitas hasil belajar berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan melalui *Programme for International Student Assesment (PISA)* 2003 menunjukkan bahwa dari 41 negara yang disurvei, untuk IPA, Indonesia menempati peringkat ke-38, Matematika dan kemampuan membaca menempati peringkat ke-39. Jika dibandingkan dengan Korea Selatan yang menduduki peringkat ke-8 pada IPA, peringkat ke-7 pada membaca dan peringkat ke-3 pada Matematika (Ali, 2009:253). Sehingga dapat disimpulkan dari peringkat penilaian tersebut kualitas pendidikan di Indonesia masih rendah.

Berdasarkan hal tersebut maka pemerintah berupaya meningkatkan kualitas pendidikan sebagaimana tercantum dalam Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional dijabarkan ke dalam sejumlah peraturan, antara lain Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 2005 tentang Standar Nasional Pendidikan. Peraturan Pemerintah ini memberikan arahan tentang perlunya disusun dan dilaksanakan delapan Standar Nasional Pendidikan, yaitu Standar Isi, Standar Proses, Standar Kompetensi Lulusan, Standar Pendidik dan Tenaga Kependidikan, Standar Sarana dan Prasarana, Standar Pengelolahan, Standar Pembiayaan dan Standar Penilaian Pendidikan (Trianto 2011:4).

Adanya pedoman Standar Nasional Pendidikan, khususnya Standar Isi dan Standar Kompetensi Lulusan, maka kurikulum dikembangkan pada Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP). Penyusunan kurikulum yang dikembangkan oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) berdasarkan prinsip-prinsip berikut : (1) berpusat pada potensi, perkembangan kebutuhan dan kepentingan peserta didik dan lingkungannya; (2) beragam dan terpadu; (3) tanggap terhadap perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi dan seni; (4) relevan dengan kebutuhan kehidupan; (5) menyeluruh dan berkesinambungan; (6) belajar sepanjang hayat (Trianto,2011:4).

Selain mengembangkan kurikulum untuk meningkatkan kulitas pendidikan, pendayagunaan buku pelajaran yang merupakan sumber belajar utama bagi siswa harus ditingkatkan kualitasnya. Dengan dikeluarkannya Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2006 maka bahan ajar yang merupakan sumber belajar siswa yang beredar harus memenuhi Standar Isi Satuan Pendidikan Dasar dan Menengah. Berdasarkan Permendiknas tersebut, pada sekolah Menengah Pertama/ Madrasah Tsanawiyah (SMP/MTs) penyajian pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) dilakukan secara terpadu.

Banyak ahli setuju dengan penerapan IPA Terpadu. Palmer (1995) menyatakan bahwa*"....that making connections between and among disciplines provides the setting for increased understanding, retention, and application*" (Erekson dan Shumway, 2006:29) yang intinya bahwa penyajian pembelajaran secara terpadu dapat meningkatkan pemahaman, ingatan dan aplikasi.Menurut Fogorty (1991) menyatakan bahwa pembelajaran terpadu akan memberikan pengalaman yang bermakna bagi peserta didik, karena dalam pembelajaran terpadu peserta didik akan memahami konsep-konsep yang dipelajari melalui pengalaman langsung dan menghubungkannya dengan konsep-konsep lain yang sudah dipahami yang sesuai dengan kebutuhan peserta didik (BPPPK,2006:8)

Berdasarkan observasi, sampai saat ini pembelajaran IPA di sekolah-sekolah masih disajikan terpisah, tidak dikaitkan dengan permasalahan yang dihadapi siswa dalam kehidupan sehari-hari, jarang menciptakan suasana siswa aktif langsung dalam kegiatan pembelajaran atau masih berpusat pada guru. Untuk mencapai tujuan tersebut diperlukan bahan ajar IPA Terpadu sebagai rujukan yang baik dan benar, baik bagi guru maupun siswa.

Namun kenyataan di lapangan, bahan ajar yang telah beredar di lapangan masih bervariasi ditinjau dari jenis maupun kualitasnya. Bahan ajar yang sesuai dengan kurikulum yang diberlakukan oleh pemerintah yaitu IPA Terpadu yang beredar di lapangan belum dikemas ke dalam tema/topik tertentu meskipun sudah berlabel IPA Terpadu. Penyajian materi pada bahan ajar masih terpisah-pisah berdasarkan bidang-bidang kajiannya meskipun sudah disatukan dalam sebuah buku.

Peraturan Menteri Pendidikan Nasional (Permendiknas, 2006) menyatakan bahwa di tingkat SMP/MTs diharapkan ada penekanan pembelajaran sains, lingkungan, teknologi dan masyarakat (SALINGTEMAS) secara terpadu yang diarahkan pada pengalaman belajar untuk merancang dan membuat suatu karya melalui penerapan konsep IPA dan kompetensi bekerja ilmiah secara bijaksana.

Hasil penelitian Frank dan Barzilai (2006) menunjukkan bahwa 95% siswa berpendapat jika konsep SALINGTEMAS dimasukkan ke dalam proses pembelajaran, maka memberi kesempatan kepada mereka untuk memperoleh pengetahuan dan mempertinggi pemahaman mereka antar cabang ilmu pengetahuan sehingga diharapkan melalui kegiatan pembelajaran yang berwawasan SALINGTEMAS akan diperoleh pemikiran tentang hasil teknologi dari transformasi sains, tanpa harus merusak atau merugikan lingkungan dan masyarakat.

Dalam IPA Terpadu, bidang kajian yang memiliki keterkaitan dapat dipadukan menjadi satu tema atau topik. Dipilihnya suatu tema atau topik dengan pertimbangan bahwa permasalahan energi akhir-akhir ini menjadi masalah di Indonesia. Sampai saat ini, minyak bumi masih merupakan sumber energi yang utama dalam memenuhi kebutuhan di dalam negeri. Peranan minyak bumi yang besar tersebut terus berlanjut, sedangkan cadangan semakin menipis. Sehingga pemerintah berusaha mencari sumber-sumber energi alternatif terbarukan pengganti minyak bumi.

Menurut Soegiranto (2010) bahan ajar adalah bahan atau materi yang disusun oleh guru secara sistematis yang digunakan peserta didik (siswa) dalam pembelajaran. Bahan ajar dapat dikemas dalam bentuk cetakan, non cetak dan dapat bersifat visual auditif. Bahan ajar yang disusun dalam buku ajar pendidik dapat berbentuk modul (hlm.1).

Menurut Donnelly dan Fitzmaurice (2005) menyatakan bahwa" *In the process of devising a module. The key is to forge educationally sound and logical links between learner needs, aims, learning outcomes, resources, learning and teaching strategies assessment criteria and evaluation* " (hlm.100) yang intinya dalam pembuatan modul harus memperhatikan hubungan logis antara kebutuhan dalam proses belajar, tujuan,hasil belajar,sumber belajar, strategi kegiatan belajar dan mengajar, kriteria penilaian dan evalusi. Selain itu penelitian yang telah dilakukan oleh Nurhadiyanto, Wagiran dan Mujiyono (2004) menyimpulkan bahwa dengan bantuan modul dapat meningkatkan kualitas pembelajaran serta dapat mereduksi miskonsepsi pada pembelajaran.

Menurut Ledoux (2002) berpendapat bahwa: *"Natural Sciences as disciplines that deal only with natural events (i.e., independent and dependent variables in nature) using scientific methods"* (hlm.34). Artinya bahwa Ilmu Pengetahuan Alam didefinisikan sebagai disiplin

ilmu yang hanya berhubungan dengan kejadian alam baik bergantung maupun tidak dalam kejadiannya di alam yang menggunakan metode pendekatan secara ilmiah.

Konsep-konsep IPA dasar terbentuk dari keingintahuan mengenai konsep sesuatu yang belum diketahui orang, keingintahuan itu menuntut ke arah mencari prinsip atau teori yang dapat diperoleh dari hasil pengkajian, yaitu melalui percobaan (Darliana,2007:3).

IPA Terpadu merupakan gabungan antar bidang kajian IPA, yaitu Fisika, Bumi Antariksa, Kimia dan Biologi yang disajikan secara utuh. Materi yang dipadukan minimal mencakup dua bidang, misalnya Biologi-Fisika, Fisika-Kimia atau Kimia-Biologi atau mencakup materi dari ketiga bidang yaitu Fisika-Biologi-Kimia menjadi satu materi yang terpadu utuh atau keempat bidang kajian IPA tersebut berdasaarkan tema yang telah diitentukan.

Dimyati dan Mudjiono (1999) berpendapat bahwa pembelajaran adalah proses yang diselenggarakan oleh guru untuk membelajarkan siswa dalam belajar memperoleh dan memproses pengetahuan, ketrampilan dan sikap (Saputra dan Atmojo:2011). Salah satu pendekatan pembelajaran yang dibangun dengan prinsip-prinsip dan *concern* terhadap upaya-upaya implementasi dalam kehidupan nyata adalah pendekatan pembelajaran yang berbasis sains, lingkungan, teknologi dan masyarakat (SALINGTEMAS) (Yamtinah, Hastuti, Haryono & Sari, 2011).

Menurut Binadja (1999) pendekatan SALINGTEMAS diharapkan dapat membuka wawasan peserta didik untuk memahami hakekat pendidikan sains, lingkungan, teknologi dan masyarakat secara utuh. Maksudnya adalah bahwa pendekatan SALINGTEMAS ditujukan untuk membantu peserta didik mengetahui sains dan bagaimana perkembangannya sains dapat mempengaruhi lingkungan, teknologi dan masyarakat secara timbal balik (Nuryanto dan Binadja, 2010:553).

Bahan ajar adalah bahan atau materi yang disusun oleh guru secara sistematis yang digunakan peserta didik (siswa) di dalam pembelajaran. Bahan ajar dapat dikemas dalam bentuk cetakan, non cetak dan dapat bersifat visual auditif ataupun visual auditif. Bahan ajar yang disusun dalam buku ajar Pendidik dapat berbentuk buku teks, modul, handout, LKS dapat juga dikemas dalam bentuk lainnya (Soegiranto,2010:1).

Modul merupakan bahan ajar cetak yang dirancang untuk dapat dipelajari secara mandiri oleh peserta pembelajaran. Modul disebut juga media untuk belajar mandiri karena di dalamnya telah dilengkapi petunjuk untuk belajar sendiri (Departemen Pendidikan Nasional (Depdikans,2008:3)). Modul merupakan salah satu bentuk bahan ajar yang dikemas secara utuh dan sistematis, didalamnya memuat seperangkat pengalaman belajar yang terencana dan didesain untuk membantu peserta didik menguasai tujuan belajar yang spesifik. Modul minimal memuat tujuan pembelajaran, materi/substansi belajar dan evaluasi. (Depdiknas, 2008:4).

Adapun struktur modul yang disarikan dari Depdiknas (2008:21-26) yakni memuat komponen-komponen sebagai berikut : (1) Bagian Pembuka terdiri dari judul, daftar isi, daftar gambar dan daftar tabel. (2) Bagian Inti terdiri atas : (a) Pendahuluan atau tinjauan umum materi yang meliputi deskripsi pembelajaran, prasayarat menggunakan modul, petunjuk menggunakan modul, tujuan akhir, standar kompetensi dan kompetensi dasar dan tes awal.(b) Hubungan dengan meteri yang lain atau peta konsep. (c) Uraian materi yang sistematikanya sebagi berikut : kegiatan belajar, tujuan kompetensi, uraian materi, tes formatif, tugas, rangkuman, umpan balik atas penilaian. (3) Bagian Penutup dalam modul bisa terdiri atas glosasary atau daftar istilah, tes akhir dan indeks.

Wright (2008) berpendapat bahwa : *"Biomass energy means energy derived from present-day photosynthesis"* yang artinya bahwa sumber energi biomassa berasal dari proses fotosintesis. Lorenzini, Biserni dan Flacco (2010) berpendapat: *" everything that has an organic matrix is a biomass"* yang artinya segala sesuatu yang tersusun oleh bahan organik disebut dengan biomassa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa biomassa adalah bahan organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan maupun hewan. Energi yang tersimpan dalam biomassa berasal dari matahari. Energi matahari diserap oleh matahari dalam proses fotosintesis (Kandi & Winduono, 2009:58). Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbarukan' (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*suistainable)* (Kandi & Winduono, 2009:58).

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian dan pengembangan (*research and development/R&D*). Adapun yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah modul pembelajaran IPA Terpadu. Menurut pernyataan Borg dan Gall (1988) penelitian dan pengembangan (*research and development/R&D*) merupakan metode penelitian yang digunakan untuk mengembangkan atau memvalidasi produk-produk yang digunakan dalam pendidikan dan pembelajaran (Sugiyono,2012:9). Sehingga model penelitian yang digunakan untuk dasar pengembangan bahan ajar berbentuk modul IPA Terpadu adalah mengacu pada model yang dikembangkan oleh Borg dan Gall.

Menurut Puslitjaknov (2008) prosedur penelitian pengembangan menurut Borg dan Gall dapat dilakukan lebih sederhana melibatkan 5 langkah utama yaitu: (1) Melakukan analisis produk yang akan dikembangkan.(2) Mengembangkan produk awal.(3) Validasi ahli dan revisi.(4) Uji coba lapangan awal dan revisi produk.(5) Uji coba lapangan utama dan produk akhir.

Teknik pengumpulan data yang digunakan berupa angket dan observasi.. Data-data yang diperoleh berasal dari validator yang terdiri atas 3 dosen ahli, 2 guru sebagai *reviewer* dan 3 *peer reviewer* serta responden yang terdiri atas 10 siswa berasal dari dua SMP (SMP N 3 Purworejo dan SMP N 16 Purworejo) dan 30 siswa berasal dari lima SMP di Purworejo (SMP N 3 Purworejo, SMP N 5 Purworejo, SMP N 12 Purworejo, SMP N 13 Purworejo, dan SMP N 16 Purworejo). Hasil data yang diperoleh dari validasi oleh dosen ahli sebagai *expert judgment*. Data kuantitatif dianalisis dengan menggunakan penilaian skor standar dari Saifudin Azwar yang kemudian dibagi menjadi lima kategori dengan rumusan seperti yang digunakan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kriteria Penilaian

Interval Nilai	Kriteria
$Mi + 1{,}5\ Sbi < X$	Sangat Baik
$Mi + 0{,}5\ Sbi < X \leq Mi + 1{,}5\ Sbi$	Baik
$Mi - 0{,}5\ Sbi < X \leq Mi + 0{,}5\ Sbi$	Cukup
$Mi - 1{,}5\ Sbi < X \leq Mi - 0{,}5\ Sbi$	Kurang
$X \leq Mi - 1{,}5\ Sbi$	Sangat Kurang

Keterangan: X = Skor responden, Mi = Mean ideal, Sbi = Simpangan baku ideal, Mi = ½ (skor tertinggi ideal + skor terendah ideal), Sbi= 1/6 (skor tertinggi ideal - skor terendah ideal)

(Sumber: Azwar,2007:163)

Sedangkan teknik analisis data kualitatif yang digunakan yakni model interaktif dari Miles dan Huberman yang melalui tahap reduksi data, penyajian data dan penarikan kesimpulan.

Hasil analisis data pengembangan menunjukkan bahwa jumlah skor keseluruhan untuk setiap validator yakni sebagai berikut: skor total tertinggi diberikan oleh ahli I yaitu 197. Ahli II dan III masing-masing memberi skor total 187 dan 168. *Reviewer* I dan II masing-masing memberi skor total 170 dan 160, sedangkan *peer reviewer* I, II dan III masing-masing memberi skor total 190, 163 dan 192. Hal ini menunjukkan bahwa modul IPA terpadu yang telah dikembangkan mendapat penilaian yang berbeda dari setiap validator. Ahli I,II dan III, *reviewer* I, *peer reviewer* I dan III memberi nilai sangat baik, sedangkan *reviewer* II dan *peer reviewer* II memberi nilai baik.

Rangkuman tersebut memberikan gambaran bahwa modul IPA terpadu yang telah dikembangkan sudah sangat baik. Sebanyak 75% validator menilai sangat baik tentang modul IPA Terpadu yang telah dikembangkan dan 25% validator dalam penelitian ini menilai baik. Hal ini berarti lebih dari 50% validator menyetujui bahwa modul IPA Terpadu ini telah siap untuk digunakan dalam tahap uji coba awal.

Hasil uji coba pada siswa berupa skor dikonversikan menjadi skor 1 untuk jawaban "Ya" dan nilai 0 untuk jawaban "Tidak". Hasil skor ini kemudian ditotal untuk setiap siswa dan dikategorikan dengan kriteria. Hasil uji coba menunjukkan bahwa jumlah skor keseluruhan untuk setiap siswa yakni sebagai berikut: (1) Uji coba lapangan awal. Hasil uji coba lapangan awal dapat diketahui dari angket yang disebarkan kepada 10 siswa yang terdiri dari siswa dari SMP Negeri 3 Purworejo dan 5 siswa dari SMP Negeri 16 Purworejo. Hasil analisis uji coba lapangan awal menunjukkan bahwa jumlah skor keseluruhan maksimal memberi skor 28 dan minimal memberi skor 20. Dari data dapat memberikan gambaran bahwa 20% siswa menilai baik dan 80% siswa menilai sangat baik. (2) Uji coba lapangan utama. Hasil uji coba lapangan utama dapat diketahui dari angket yang disebarkan kepada 30 siswa dari 5 sekolah di Purworejo. Lima sekolah tersebut adalah SMP Negeri 3 Purworejo, SMP Negeri 5 Purworejo, SMP Negeri 12 Purworejo, SMP Negeri 13 Purworejo dan SMP Negeri 16 Purworejo. Ada enam siswa yang dijadikan responsen dari setiap SMP sehingga total seluruh responden ada 30 siswa. Berdasarkan data yang didapat ternyata distribusi nilai yang didapat berada pada kategori sangat baik dan baik. Sebanyak 96,67% siswa menilai sangat baik. Siswa yang menilai sangat baik ini berasal dari semua siswa kecuali satu orang anak. Adapun yang menilai baik ada seorang siswa.

Karakteristik dari modul pembelajaran IPA Terpadu tema Biomassa Sumber Energi Alternatif Terbarukan yang berbasis SALINGTEMAS hasil pengembangan ini mempunyai beberapa keunggulan yang dimiliki. Keunggulan tersebut antara lain modul ini disusun dengan menggunakan kaidah-kaidah penulisan modul pembelajaran dimana didalamnya terdapat pendahuluan yang terdiri atas deskripsi pembelajaran, petunjuk menggunakan modul, tujuan akhir,peta kompetensi, peta konsep dan tes awal sehingga dapat melatih siswa untuk belajar mandiri dan dapat mempermudah siswa untuk memahami isi materi modul. Pada bab pembelajaran terdapat rencana belajar siswa yang dapat membantu siswa untuk menjadwal dan mengevaluasi ketercapaian kompetensi hasil belajar setiap subbab dengan meminta tanda tangan ke guru IPA. Selain itu, di dalam pembelajaran juga disajikan materi yang disertai dengan banyak gambar berwarna-warni yang sesuai dengan penjelasan dan sangat menarik sehingga dapat membuat siswa senang untuk belajar. Rangkuman juga disajikan dalam setiap subbab sehingga siswa dapat mengetahui gambaran total dari setiap subbab. Adanya lembar keja, kerja ilmiah, tes formatif dan evaluasi ditujukan untuk memberikan penilaian dalam aspek kognitif, afektif dan psikomotorik. Di akhir setiap subbab terdapat umpan balik dan kunci jawaban dapat melatih siswa untuk belajar dan menilai secara mandiri. Selain memiliki keunggulan, modul yang dikembangkan juga memiliki kelemahan,

yaitu terdapat beberapa istilah yang asing bagi siswa. Oleh karena itu, pada bagian akhir buku dilengkapai dengan glossarium.

Berdasarkan hasil analisis kualitatif dari validator maupun siswa ternyata ada beberapa saran dan penadapat yang bisa menjadi referensi revisi dan ada pula tidak. Meskipun secara keseluruhan dari sisi kuantitatif dan kualitatif menunjukkan penilaian yang sangat baik tentang modul yang telah dibuat, tetapi revisi tentang saran dan komentar yang diperhatikan tetap dilakukan oelh peneliti. Saran dan pendapat yang diperhatikan penulis untuk melakukan revisi ini akan menambah kualitas modul IPA Terpadu yang dibuat sehingga produk hasil akhir bisa memenuhi kriteria lebih baik.

Hasil akhir produl tersebut telah mengalami penilaian secara kuantitatif dan kualitatif yang kemudian direvisi berdasarkan saran dan komentar dari para validator dan siswa. Hasil kuantitatif menujukkan bahwa ahli II dan ahli III memberi skor masing-masing 187 dan 168 (kriteria sangat baik). *Reviewer* I memberi skor 170 (kriteria sangat baik). *Peer reviewer* I dan *peer reviewer* II memberi skor masing-masing 190 dan 192 (kriteria sangat baik). Skor tertinggi diperoleh dari ahli I sebesar 197 (kriteria sangat baik). *Peer reviewer* II memberi skor 163 (kriteria baik). Skor terendah diperoleh dari *reviewer* II dengan skor 160 (kriteria baik). Jadi 75% validator menilai sangat baik modul IPA Terpadu tersebut, sehingga dapat disumpulkan bahwa 50% lebih validator menilai baik modul IPA Terpadu. Penilaian uji coba dari siswa pun hampir sama. Hasil uji coba awal 80% menilai sangat baik dan 20% menilai baik. Hasil uji coba utama sebanyak 96,67% siswa menilai sangat baik dan 3,33% siswa menilai baik modul IPA Terpadu ini. Adapun hasil penilaian kualitatif yang berupa saran dan komentar telah dianalisis sebagai referensi revisi sehingga menghasilkan produk akhir. Secara garis besar validator dan siswa memberi komentar bahwa modul IPA terpadu yang dikembangkan sudah baik. Jadi, setelah dilaksanakan revisi maka dapat dikatakan bahwa produk akhir berupa modul IPA Terpadu berbasis SALINGTEMAS dengan tema Biomassa Sumber Energi Alternatif Terbarukan telah memeneuhi kriteria baik. Oleh karena itu, penelitian pengembangan ini secara umum berhasil.

Produk akhir dalam penelitian pengembangan berupa modul IPA Terpadu tersebut terdiri atas 115 halaman utama, 9 halaman untuk awalan modul dan 2 halaman cover. Cover awal produk akhir ini berupa gambar berbagai tumbuhan yang merupakan sumber energi biomassa, hasil konversi biomassa berupa biodiesel, bioetanol dan lampu dengan bahan bakar biogas, judul modul dan keterangan kelas.. Cover akhir berupa simbol *green energy* dari biomassa yang disertai dengan sebuah pengantar tentang isi modul ini secara singkat. Secara garis besar cover ini berwarna hijau. Awalan modul ini terdiri atas halaman judul, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar dan daftar tabel yang disusun secara urut.

Struktur bagian utama modul IPA Terpadu yang terdiri atas pendahuluan, pembelajaran dan penutup serta daftar pustaka. Pendahuluan terdiri dari 8 halaman dengan rincian berupa deskripsi pembelajaran, prasayarat mempelajari modul, petunjuk penggunaan modul, tujuan akhir, peta kompetensi, peta konsep biomassa sumber energi alternatif terbarukan dan tes awal. Bagian pembelajaran ada dua item yakni rencana belajar siswa dan kegiatan belajar yang terdiri atas tiga subbab. Rencana belajar siswa berupa tabel. Kegaiatan belajar yang terdiri atas materi, rangkuman, tes formatif, umpan balik ada pada halaman 10 sampai 103 dengan rincian subbab energi (halaman 10-45), biomassa (halaman 46-80) dan biomassa sumber energi alternatif terbarukan (halaman 81-103). Bagian penutup yang ada pada halaman 104 sampai 115 terdiri atas evaluasi akhir (halaman 104-107), kunci jawaban (halaman 108-110) dan glosarium (halaman 111-112). Halaman terakhir dalam bagian utama modul ini berupa daftar pustaka terletak pada halaman 113 sampai 115.

Dari hasil penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1) Pengembangan bahan ajar IPA Terpadu berbasis SALINGTEMAS yang berupa modul dengan tema Biomassa Sumber Energi Alternatif Terbarukan untuk SMP/MTs kelas VIII secara umum sudah baik dengan kesesuaian hasil validasi ke ahli, *peer reviewer* dan *reviewer* dalam komponen materi, bahasa dan gambar, penyajian, dan kegrafisan.
2) Pengembangan modul IPA Terpadu berbasis SALINGTEMAS dengan tema Biomassa Sumber Energi Alternatif Terbarukan untuk SMP/MTs kelas VIII telah berhasil diujicobakan dalam lapangan tahap awal dan utama dengan hasil yang sangat baik.
3) Produk akhir penelitian pengembangan ini berupa modul IPA Terpadu berbasis SALINGTEMAS dengan tema Biomassa Sumber Energi Alternatif Terbarukan untuk SMP/MTs kelas VIII. Total halaman modul sebanyak 124 dengan panjang 21 cm dan lebar 14 cm yang terdiri atas pendahuluan, pembelajaran dan penutup. Pendahuluan berupa deskripsi pembelajaran, prasayarat mempelajari modul, petunjuk penggunaan modul, tujuan akhir, peta kompetensi, peta konsep dan tes awal. Bagian pembelajaran terdiri atas rencana belajar siswa dan kegiatan belajar. Kegaiatan belajar yang terdiri atas materi, rangkuman, tes formatif, umpan balik. Bagian penutup terdiri atas evaluasi akhir, kunci jawaban dan glosarium.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ali, M. (2009) .*Pendidikan untuk Pembangunan Nasional*.Bandung:IMTIMA
2. Badan Penelitian dan Pengembangan Pusat Kurikulum (BPPPK).(2006). *Buram Panduan Pengembangan Pembelajaran IPA Terpadu*. Jakarta:Departemen Pendidikan Nasional
3. Darliana.(2007). *IPA Terpadu*. Bandung: Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam
4. Depdiknas.(2008).*Teknik Penyusunan Modul*. Jakarta:Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
5. Donnelly, R & Fitzmaurice, M.(2005). *Designing Modules for Learning*. Dublin :AISHE
6. Erekson, T & Shumway, S.(2006). *Integrating the Study of technology into the Curriculum : A Consulting Teacher Model.*Vol 18 No 1, 27-38.
7. Frank, M., & Barzilai, A.(2006). *Project-Based Technology: Instructional Strategy for Developing Technological Literacy*. Journal of Technology Education, 18 (1). 39-53
8. Kandi & Winduono, Y.(2009). *Bentuk-Bentuk Energi dan Perubahannya*. Bandung: Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam
9. Ledoux, S.F. (2002). *Defining Natural Science*. Behaviorology Today _ Volume 5, Number 1, Spring
10. Lorenzini, G., Biserni, & Flacco, G.(2010). *Solar Thermal and Biomass Energy*. United States of America: WIT Press
11. Nurhadiyanto,D.,Wagiran,&Mujiyono. (2004). *Laporan Penelitian : Reduksi Miskonsepsi dalam Perkuliahan Fisika melalui penerapan Modul dengan Model Pembelajaran Berorientasi Konstruktivistik*. Yogyakarta:UNY
12. Nuryanto & Binadja,A.(2010).*Efektifitas Pembelajaran Kimia dengan Pendekatan SALINGTEMAS ditinjau dari Minat dan Hasil Belajar Siswa*.Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia, Vol.4, No.1,2010 hlm552-556
13. Permendiknas.(2006).*Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2006 Tentang Standar Isi Untuk Satuan Pendidikan Dasar dan Menengah*. Jakarta:Departemen Pendidikan Nasional

14. Santyasa, I W. (2009).*Metode Penelitian Pengembangan dan Teori Pengembangan Modul*. Makalah disajikan dalam Pelatihan bagi para Guru TK, SD, SMP, SMA danSMK tanggal 12-14 Januari 2009 di Kecamatan Nusa Penida Kabupaten Klungkung
15. Saputra, H.J. dan Atmojo, S.E. (2011). *Pembelajaran IPA Berpendekatan Etnosains Bervisi SETS untuk meningkatkan Ketrampilan Proses Siswa*. Semarang:Swadaya Manunggal
16. Soegiranto,M.A.(2010). *Acuan Penulisan Bahan Ajar Dalam Bentuk Modul*. Pokja Kurikulum dan Supervisi Pusat Pengembangan Madrasah Kementrian Agama Provinsi Nusa Tenggara Timur
17. Sugiyono.(2012).*Metode Penelitian Pendidikan.*Bandung:Alfa Beta
18. Tim Puslitjaknov.(2008).*Metode Penelitian Pengembangan*.Jakarta:Depdiknas
19. Trianto. (2011) . *Model Pembelajaran Terpadu*. Jakarta:Bumi Aksara
20. UNDP. (2009). *Human Development Report 2009*. USA
21. Wright,R.T.(2008).*Enviroment Toward Sustainable Future*. United States of America:Pearson Education
22. Yamtinah,S.,Hastuti,B.,Haryono,Sari,D.K. (2011). *Implementasi Pendekatan SALINGTEMAS Dilengkapi Modul untuk Meningkatkan Kualitas Pembelajaran Asam Basa Garam Siswa SMP Kristen 3 Margoyudan Surakarta*. Semarang:Swadaya Manunggal

Jurnal MIPA 40 (1) (2017): 20-23

Jurnal MIPA

http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM

Pengembangan Briket Bonggol Jagung sebagai Sumber Energi Terbarukan

NP Aryani ✉, Masturi, SS Edie

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima 11 Januari 2017
Disetujui 23 Maret 2017
Dipublikasikan 1 April 2017

Keywords:
Briquettes; corncobs; energy

Abstrak

Krisis energi yang terjadi saat ini merupakan masalah yang memiliki pengaruh yang sangat besar karena energi merupakan sumber kebutuhan primer bagi masyarakat luas. Harga minyak dunia yang mengalami kenaikan secara fluktatif akan memperparah keadaan tersebut. Pengembangan sumber energi pengganti sumber energi yang tersedia saat ini masih perlu dilakukan. Salah satu yang bisa digunakan sebagai sumber energi baru adalah briket. Pada penelitian ini, telah dikembangkan pembuatan briket dengan bahan dasar bonggol jagung. Pembuatan briket dimulai dengan membuat arang bonggol jagung menggunakan metode pyrolysis. Arang tersebut kemudian dihaluskan dan dicampur menggunakan lem kayu supaya merekat satu sama lain. Setelah itu, arang ditekan menggunakan hot press sampai berbentuk seperti tablet dengan diameter 3 cm dan tebal 1 cm. Proses selanjutnya adalah pengeringan selama 2 hari. Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah perbandingan komposisi arang briket bonggol jagung dengan lem kayu, yaitu 1:1, 2:1, dan 3:1. Pengukuran kapasitas panas briket bonggol jagung dilakukan menggunakan bom calorimeter dan menghasilkan kapasitas panas yang pali baik sebesar 9454.083 kal/g yaitu pada perbandingan arang bonggol jagung dengan lem kayu 2:1. Hasil tersebut menunjukkan bahwa briket bonggol jagung yang dihasilkan cukup baik jika diaplikasikan sebagai sumber energi terbarukan.

Abstract

The current energy crisis is a problem that has a huge impact because energy is a primary source of need for the wider community. The development of energy sources for replace the current energy sources are still needed. One thing that can be used as a new energy source is briquettes. In this research, we have developed briquettes with corn cobs. Briquettes begins by making corncobs charcoal using pyrolysis method. The charcoal is then mashed and mixed using wood glue to stick each other. After that, the charcoal is pressed using hot press until that shaped like a tablet with diameter of 3 cm and 1 cm thick. The next process is drying for 2 days. Variations that made in this study is the variation of composition of the composition of charcoal corncb with wood glue, which is 1: 1, 2: 1, and 3: 1. Measurement of heat capacity of corncob briquettes was done using calorimeter bombs and resulted a good heat capacity of 9454.083 kal / g, ie in the comparison of corncob with 2: 1 wood glue. These results indicate that corncob briquettes are produced quite well if applied as a source of renewable energy.

© 2017 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

ISSN 0215-9945

PENDAHULUAN

Kebutuhan suatu negara terhadap energi merupakan suatu keniscayaan, tidak terkecuali Indonesia yang sudah menjadi negara pengimpor minyak fosil. Keadaan ini akan sangat diperparah saat harga minyak dunia mengalami kenaikan secara fluktuatif. Dampak yang ditimbulkan akibat krisis energi ini sangat besar karena energi merupakan sumber kebutuhan primer bagi masyarakat luas. Upaya untuk mengatasi krisis energi ini harus secara terus menerus dilakukan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah pengembangan briket yang khusus digunakan untuk mensubtitusi maupun melengkapi kebutuhan energi panas rumah tangga.

Di sisi lain, persoalan produksi sampah, khususnya sampah pertanian, seperti bonggol jagung merupakan persoalan yang harus dipecahkan untuk menjaga lingkungan pertanian tetap lestari. Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk mememcahkan persoalan itu adalah melalui pengolahan sampah produksi pertanian tersebut menjadi briket.

Bonggol jagung adalah bagian jagung yang sudah tidak dipakai lagi dan merupakan limbah biomassa yang sangat potensial untuk pembuatan briket. Pemanfaatan limbah tongkol jagung dan sekam padi dapat dilakukan dengan membuat briket. Pada penelitian Mangkau *et al*. (2011) penggunaan tongkol jagung sebesar 75% dan sekam padi 25% diperoleh nilai kalor tertinggi sebesar 22343 kJ/kg atau sebesar 5336,536 cal/gram ,*fixed carbon* tertinggi sebesar 46,34%. Hamidi *et al*. (2011) menyatakan bahwa penambahan tongkol jagung sebesar 15 % dalam pembakaran bahan bakar briket blotong (*filter cake*) dihasilkan nilai kalor sebesar 2726,588 kal/g.

Melihat potensi sampah bonggol jagung sebagai bahan biomassa yang sangat baik, perlu dilakukan penelitian tentang fabrikasi briket bonggol jagung dan memperoleh nilai kapasitas panasnya.

METODE

Penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu pembuatan arang aktif bonggol jagung, pencetakan bonggol jagung menjadi briket, dan karakterisasi briket. Pembuatan arang aktif bonggol jagung dimulai dari pengeringan bonggol jagung dan pembakaran bonggol jagung kering dengan minim oksigen. Tahap pengeringan dilakukan dengan menjemur bonggol jagung di bawah sinar matahari selama kira-kira 3 hari. Pengeringan dilakukan untuk mengurangi kadar air yang ada dalam bahan. Selain itu, dengan dikeringkan, berat bonggol jagung akan menjadi lebih ringan sehingga briket akan lebih ringan. Tahap pembakaran bonggol jagung kering dilakukan dalam tungku pembakar minim oksigen agar limbah bonggol jagung menjadi arang. Metode ini disebut dengan metode *pyrolisis* yaitu proses dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya.

Tahap selanjutnya adalah pencetakan arang bonggol jangung menjadi briket. Awal tahap ini dilakukan dengan menghancurkan arang bonggol jagung menjadi bagian-bagian kecil. Hal ini dilakukan agar saat dilakukan pengepresan akan saling terikat secara kuat karena luasnya permukaan sentuhan. Penghancuran arang bonggol jagung dilakukan menggunakan *ball milling* untuk membuat serbuk arang bonggol jagung. Serbuk arang bonggol jagung kemudian dicampur dengan lem kayu. Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah variasi komposisi arang bonggol jagung dengan lem kayu. Variasi dilakukan dengan perbandingan arang : lem kayu adalah 1:1, 2:1, 3:1.

Arang bonggol jagung yang telah dihancurkan kemudian dicampur dengan lem kayu yang sudah diencerkan dengan air, komposisi lem kayu dengan air adalah 1:1. Tujuan dilarutkannya lem kayu dengan air untuk membantu agar proses intrusi ke dalam pori-pori bonggol jagung lebih merata. Setelah perekat dan arang bonggol jagung yang telah dihancurkan dicampurkan secara merata, selanjutnya dilakukan pencetakan briket. Mula-mula campuran dimasukkan dalam cetakan, kemudian dicetak menggunakan panas (*hot*-press) pada tekanan 3000 psi dan temperatur 95^0C tertentu selama 15 menit. Tahap terakhir dari kegiatan ini pengeringan briket menggunakan sinar matahari sampai . Tujuan pengeringan ini

untuk menghilangkan kadar air yang terbawa pada saat proses pencampuran bahan.

Tahap selanjutnya adalah karakterisasi. Karakterisasi utama yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji kapasitas panas menggunakan alat kalorimeter Bom. Karakterisasi dilakukan di Laboratorium Kimia FMIPA UNNES.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah bonggol jagung yang melimpah berhasil dibuat menjadi salah satu sumber energi alternatif yaitu briket. Arang adalah residu hitam berisi karbon tidak murni yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan yang mengandung unsur karbon. Arang umumnya didapatkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon seperti kayu, gula, tulang, dan benda lain dengan pemanasan pada suhu tinggi. Arang yang hitam, ringan, mudah hancur, dan menyerupai batu bara ini terdiri atas 85% sampai 98% karbon, sisanya adalah abu atau benda kimia lainnya. Proses pembuatan arang sesungguhnya dapat menghasilkan berbagai arang dengan kegunaan berbeda misalnya arang biasa hasil pembakaran hanya dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi penghasil panas. Sementara arang dengan proses pengaktifan fungsinya dapat berubah untuk kesehatan, pertanian, kecantikan, elektronik, dan lain-lain (Hazra,*et al*. 2011).

Arang aktif atau sering juga disebut karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan dengan cara khusus atau dengan proses aktivasi untuka menghilangkan hidrogen, gas-gas, air, atau senyawa lain dari permukaan karbon sehingga permukaan lebih luas atau besar. Pada proses aktivasi terbentuk pori-pori baru karena adanya pengikisan atom karbon melalui oksidasi atau pemanasan. Arang aktif terdiri atas 85-95% karbon dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur, dan nitrogen serta senyawa-senyawa lain yang terbentuk selama proses pembuatan (Alam 2005). Volume pori-pori arang aktif biasanya lebih besar dari 0.2 cm^3/gram dan bahkan kadang-kadang melebihi 1 cm^3/gram.

Arang aktif dapat dibuat dari berbagai bahan yang mempunyai kandungan karbon tinggi seperti batubara (*coal*), tempurung kelapa, limbah industri, kayu, biji aprikot, kulit singkong, dan kulit kemiri (Kumagai *et al.* 2009). Jenis bahan baku yang digunakan akan mempengaruhi mudah atau tidaknya proses aktivasi serta pengaruh terhadap struktur permukaan besar dari karbon aktif yang dihasilkan. Bahan baku yang dapat digunakan untuk pembuatan arang aktif terdiri atas 3 kriteria bahan yaitu bahan dasar harus mengandung karbon, pengotor pada bahan dasar harus dijaga seminimal mungkin, dan bahan dasar harus mempunyai kualitas yang konstan (Masturi *et al.* 2011a; Masturi *et al*. 2011b).

Briket yang telah siap pakai kemudian dikarakterisasi menggunakan alat *kalorimeter bom* di Laboratorium Kimia FMIPA UNNES. Penggunaan alat ini dimaksudkan agar kita mengetahui kapasitas panas briket yang telah dihasilkan tanpa ada panas yang keluar. Jika menggunakan cara konvensional, kita bisa memanaskan air yang telah diukur suhu sebelum pemanasan. Setelah mendidih, suhu air diukur kembali. Dengan demikian, diperoleh perubahan suhu dengan mengurangkan suhu setelah pemanasan dengan suhu sebelum pemanasan. Kemudian, untuk mengetahui kapasitas panas digunakan persamaan :

$$Q = mc\Delta T \qquad (1)$$

Dengan c merupakan kalor jenis air dan m adalah massa air. Akan tetapi, kapasitas panas yang dihasilkan melalui cara ini bukan kapasitas panas penuh yang dimiliki briket. Hal ini disebabkan banyaknya kalor yang hilang ketika proses pemanasan. Kalor yang dihasilkan briket akan diserap oleh lingkungan dan oleh tungku pemanas. Oleh karena itu, cara ini kurang efektif jika digunakan untuk mengetahui kapasitas panas briket.

Dari uji alat *calorimeter bom*, dihasilkan kapasitas panas briket bonggol jagung dengan perbandingan komposisi arang bonggol jagung : lem kayu 1:1, 2:1, 3:1 masing-masing adalah 7865 kal/g, 9454 kal/gram, 6785 kal/g. Nilai kapasitas panas yang paling tinggi dihasilkan dengan perbandingan arang bonggol jagung : lem kayu adalah 2:1. Pada perbandingan 1:1, bubur arang bonggol jagung sebelum dicetak memiliki konsistensi yang sangat encer dan terlalu banyak mengandung air sehingga ketika proses

pengeringan dengan perlakuan yang sama, briket yang dihasilkan dari perbandingan ini memiliki porositas lebih tinggi. Hal ini berpengaruh pada nilai kapasitas panas yang dihasilkan. Sedangkan pada perbadingan 3:1, solubilitas bahan rendah sehingga daya rekat antar serbuk bubuk arang menjadi kurang baik. Pada perbandingan 2:1, konsistensi dan solubilitas bahan sangat pas jika diolah menjadi briket. Hasil ini sudah cukup baik jika digunakan sebagai sumber energi terbarukan, dibandingkan dengan nilai kapasitas panas beberapa bahan lain yang digunakan untuk sumber panas. Nilai kapasitas panas yang tinggi diduga dipengaruhi oleh karakteristik kimia dan fisika dari bonggol jagung. Bonggol jangung sangat cocok untuk pembuatan tenaga alternatif karena kadar senyawa kompleks lignin dalam bonggol jagung adalah 6,7-13,9%, untuk hemiselulose 39,8% dan selulose 32,3-45,6% (O'Connel 2007). Sedangkan beberapa jurnal menyebutkan kadar senyawa kompleks lignin pada bonggol jagung 15%, selulosa 45%, dan Hemiselulosa 35% (Roney 2009). Walaupun ada perbedaan mengenai kadar kandungan senyawa kimia bonggol jagung yang pasti komposisi kimia tersebut membuat bonggol jagung dapat digunakan sebagai sumber energi.

SIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kapasitas panas yang dihasilkan dari briket bonggol jagung dengan perbandingan komposisi arang bonggol jagung : lem kayu 1:1, 2:1, 3:1 masing-masing adalah 7865 kal/g, 9454 kal/gram, 6785 kal/g. yang menunjukkan angka yang cukup baik jika digunakan sebagai sumber energy. Nilai kapasitas panas yang paling tinggi dihasilkan dengan perbandingan arang bonggol jagung : lem kayu adalah 2:1.

DAFTAR PUSTAKA

Alam LA. 2005. Penghematan Bahan Bakar dengan Substitusi Briket Batubara pada Pengeringan Karet Sit Asap Sistem Kontinyu. *Prosiding Seminar Nasioanl Kehutanan IPB*, pp. 29-35.

Hamidi N, Wardana I, Sasmito & Handono. 2011. Pengaruh Penambahan Tongkol Jagung Terhadap Performa Pembakaran Bahan Bakar Briket Blotong (Filter Cake), *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(2): 92-97

Hazra F & Sari N. 2011. Biomassa tempurung buah nyamplung (Callophyllum spp) untuk pembuatan briket arang sebagai bahan bakar alternatif. *Jurnal Sains Terapan*, 3: 34-39

Kumagai S & Sasaki J. 2009. Carbon/silica composite fabricated from rice husk by means of binderless hot-pressing, *Bioresource Technology*. 100 : 3308-3315.

Mangkau A, Rahman A, Bintaro G. 2011. Penelitian Nilai Kalor Briket Tongkol Jagung dengan Berbagai Perbandingan Sekam Padi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.

Masturi, Aliah H, Aji MP, Sagita AA, Bukit M, Sustini E, Khairurrijal, Abdullah M. 2011a. Effect of silica nanoparticles on compressive strength of leaves-waste composite, *AIP Conference Proc*, 1415: 90-93.

Masturi, Abdullah M, Khairurrijal. 2011b. High compressive strength of home waste and polyvinyl acetate composites containing silica nanoparticle filler, *J Mater Cycles Waste Manag*, 13: 225-231.

O'Connell J. 2007. *Kingsford Brand Charcoal Ingredients*. California Barbecue Association: California.

Roney J. 2009. The Beginnings of Maize Agriculture. *Archaeology Southwest*, 23 (1): 1-4.

PENGEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN MELALUI EVALUASI PROGRAM KONVERSI MINYAK TANAH KE LPG DI PULAU GILI RAJA-SUMENEP

(Developing Renewable Energy Through An Evaluation for A Program of Kerosene Conversion to LPG in Gili Raja Island - Sumenep)

Nian Riawati dan RR. E. Anggraeni Eksi W.
Sekolah Tinggi Ilmu Administrasi "AAN"
Blunyahrejo, Karangwaru, Tegalrejo, Yogyakarta.

Penulis korespondensi. Telp. 0274-517471, 542378. No. Fax. 0274-517471.
Email: nian.faezya@gmail.com

Diterima: 24 Februari 2014 Disetujui: 21 Mei 2014

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi program konversi minyak tanah ke *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) pada kelompok sasaran di pulau Gili Raja kabupaten Sumenep Jawa Timur. Kajian sebelumnya terhadap program ini masih bersifat formatif dengan fokus efisiensi dan efektivitas implementasi. Dengan menggunakan metode *Minimum Evaluation Procedure* (MEP) penelitian ini mempertanyakan implementasi program secara runtut, mulai output, outcome sampai impact. Melalui pendekatan kualitatif penelitian ini dapat mendeskripsikan konteks dan setting secara alamiah. Hasil penelitian menunjukkan adanya pungutan dalam proses distribusi paket program, rendahnya akses atau penggunaan paket program serta tidak adanya dampak program. Selain itu, ditemukan adanya potensi lokal berupa kotoran ternak yang dapat dikembangkan menjadi sumber daya energi terbarukan. Berdasarkan hal itu, disarankan sebuah program dapat dikembangkan secara asimetris sesuai dengan kondisi lokasi dan kelompok sasaran, terjadinya komunikasi intensif antara pelaksana program dengan kelompok sasaran serta stakeholders lainnya. Berdasarkan potensi kelompok sasaran di pulau Gili Raja, hendaknya dikembangkan kebijakan energi alternatif biogas untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat serta mendukung pencapaian tujuan kebijakan energi nasional.

Kata Kunci: evaluasi summatif, energi terbarukan, kebijakan energi, minimum evaluation procedure, program asimetris.

Abstract

The purpose of this research is to evaluate the conversion program from kerosene to Liquefied Petroleum Gas (LPG) on a target group in Gili Raja island of Sumenep Municipal, East Java. Previous study on this program was quite formative one and focusing on the efficiency and the effectiveness of the program implementation. In addition, by applying Minimum Evaluation Procedure's (MEP) method, this research questioned the implementation of the program consecutively from the output, the outcome as well as the impact. Furthermore, through a qualitative approach, this research will be able to describe context and setting naturally. Result of the research shows that there is illegal fees (levies) in the process of distributing the program package, also the limited access or the low utilization of the program package, as well as the non-existing evidence of the program's impact. Furthermore, it is found a local potential in the form of renewable energy that is generated from livestock's feces. Hence, it is recommended to establish a program, asymmetrically, in accordance with the local condition and the target group that ensures the occurrence of an intensive communication amongst program implementer, target group, and other stakeholders. Moreover, based on the potency of the target group of Gili Raja, an alternative policy on renewable energy should be developed in order to fulfill the need of energy for Gili Raja's people, as well as to support the achievement of the National energy policy.

Keywords*: summatif evaluation, renewable energy, energy policy, minimum evaluation procedure, asymmetric program.*

PENDAHULUAN

Sejak tahun 2007 program konversi minyak tanah ke LPG mulai di implementasikan pemerintah, salah satu tujuannya adalah mengurangi konsumsi minyak tanah. Selain itu, program ini bertujuan mengurangi anggaran subsisi energi dalam Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN), yaitu berbagai bentuk tindakan pemerintah yang bertujuan menurunkan biaya produksi energi, meningkatkan pendapatan produsen energi atau mengurangi biaya yang dibayar oleh konsumen energi (Anonim, 2010; Tumiwa dkk., 2011).

Sampai tahun 2010, PT. Pertamina (Persero) telah mendistribusikan paket perdana LPG 3 Kg sebanyak 47.617.533, paket dengan perincian, 44.930.280 paket untuk rumah tangga dan 2.687.253 paket untuk usaha mikro (Anonim, 2010). Namun sampai tahun 2011 konsumsi masyarakat terhadap BBM masih cukup tinggi, tahun 2008 konsumsi premium sebesar 19,42 juta KL dan solar 11,76 juta KL, tahun 2009 mencapai 21,22 juta KL dan solar sebesar 12,10 juta KL, tahun 2010 mencapai 22,93 juta KL dan solar 12,94 juta KL, dan kembali meningkat pada tahun 2011 menjadi 25,49 juta KL untuk konsumsi premium dan menjadi 14,49 juta KL untuk konsumsi solar (Anonim, 2012[a]). Diproyeksikan, tren peningkatan konsumsi terus terjadi sampai tahun 2014, kemudian mengalami penurunan pada tahun 2017 (Widianto, 2007).

Peningkatan konsumsi BBM di satu sisi tidak diimbangi dengan peningkatan produksi di sisi yang lain, bahkan produksi minyak tanah cenderung menurun. Dengan demikian program konversi minyak tanah ke LPG belum berdampak pada penurunan konsumsi BBM sebagai tujuan utama program. Selain itu, program belum mampu menurunkan anggaran subsidi energi, yang dibuktikan dengan tren peningkatan yang signifikan anggaran subsidi energi dalam APBN dari tahun 2005 sampai tahun 2011 (Tumiwa dkk., 2011).

Berdasarkan data tersebut maka argumentasi yang dibangun pada penelitian ini, implementasi program konversi minyak tanah ke LPG sebagai program turunan dari kebijakan energi nasional, secara keseluruhan cenderung gagal mencapai tujuan program. Keberhasilan implementasi program hanya terjadi pada sisi efisiensi implementasi, seperti ditunjukkan oleh beberapa hasil kajian berikut.

Kajian terhadap implementasi program konversi minyak tanah terhadap LPG salah satunya dilakukan Widayanti dan Sumiyatun (2009) di Desa Sumber Rahayu, Kecamatan Moyudan Kabupaten Sleman Yogyakarta, hasilnya menunjukkan implementasi program berjalan efektif dan efisien, penyaluran paket program telah tepat sasaran dan penerima program telah memanfaatkan program. Namun keterbatasan studi ini adalah ruang lingkupnya yang bersifat mikro dan sangat mungkin kasuistik dan tidak dapat digeneralisir pada kelompok sasaran lain ditempat berbeda. Keterbatasan studi tersebut semakin terlihat apabila dibandingkan dengan laporan hasil pemeriksaan (LHP) Badan Pemeriksa Keuangan (BPK) semester ke II tahun 2011 yang diterbitkan BPK pada tahun 2012. Laporan hasil pemeriksaan BPK menunjukkan program konversi minyak tanah ke *Liquied Petroleum Gas* (LPG) mengungkapkan adanya ketidaktepatan sasaran program (Anonim, 2012[b]).

Kajian serupa di Medan Sumatera Utara yang membandingkan data sebelum *(before)* dan sesudah *(after)* intervensi kebijakan atau program. Hasilnya menunjukkan penggunaan LPG terbukti lebih ekonomis daripada minyak tanah (Anonim, 2009). Selanjutnya studi terkait kinerja *(performance)* kompor gas dibandingkan dengan kinerja kompor tradisional juga dilakukan di India dan Meksiko (Smith dkk., 2007). Hasilnya menunjukkan bahwa *performance* kompor gas lebih baik dibandingkan kompor tradisional.

Secara konseptual, evaluasi merupakan proses untuk menjelaskan secara sistematis dan objektif seputar relevansi, efektivitas, efisiensi serta dampak program terhadap kelompok sasaran (Last, 2001; Gyorkos, 2003). Berdasarkan konsepsi tersebut, penelitian ini ditujukan untuk melakukan evaluasi program konversi minyak tanah ke LPG pada kelompok sasaran di pulau Gili Raja kabupaten Sumenep provinsi Jawa Timur.

Penggunaan metode *minimum evaluation procedure* (MEP) oleh Munro (2003) pada evaluasi program *recovery* pertanian di Zimbabwe yang diimplementasi pada tahun 1990-an telah menginspirasi peneliti untuk melakukan evaluasi terhadap program konversi minyak tanah ke LPG yang diimplementasi oleh pemerintah Indonesia untuk mengetahui dampak program melalui tahapan-tahapan implementasi, serta mengetahui keunikan kelompok sasaran. Dengan demikian, penelitian ini berbeda dari penelitian sebelumnya dan penting dilakukan, untuk mengetahui relevansi output program, efektivitas program serta dampak program terhadap kelompok sasaran.

METODE PENELITIAN

Pendekatan metodologis yang digunakan adalah kualitatif dengan metode deskriptif, sebuah penelitian terhadap *konteks* dan *setting* apa adanya atau alamiah (*naturalistic*), bukan melakukan eksperimen yang dikontrol secara ketat atau memanipulasi variabel (Denzin dan Lincoln, 2009; Lincoln dan Guba, 1985; Salim, 2006). Penggunaan desain penelitian ini kompatibel dengan fokus kajian yang bertujuan mengukur tercapainya tujuan program (dampak), sehubungan dengan adanya kompleksitas dan kerumitan proyek, klien serta pengaturan pelaksana program (Hancock dkk., 2009).

Kemudian metode analisis yang digunakan adalah prosedur evaluasi minimum (MEP). Sebuah metode yang dikenalkan pertama kali oleh *World*

Health Organization (WHO) untuk kajian evaluasi proyek air dan sanitasi. Prosedur evaluasi minimum (MEP) berkaitan dengan pendekatan kerangka kerja yang logis *(logical frame work)* untuk perencanaan program. Evaluasi didasarkan pada logika input, kegiatan, output dan serapan/penggunaan, yang mengarah pada dampak (Munro, 2003).

Penelitian difokuskan pada distribusi paket program atau pendistribusian kompor gas 1 (satu) tungku, tabung gas 3 Kg serta selang regulator, akses atau penggunaan kompor gas untuk memasak oleh masyarakat penerima serta adanya dampak program konversi minyak tanah ke LPG.

Dalam penelitian ini data dikumpulan melalui observasi dan wawancara mendalam terhadap penerima paket kompor gas 1 (satu) tungku. Hasil wawancara direkam dan dicatat kemudian diolah secara sistematis berdasarkan tahapan prosedur evaluasi minimun (MEP), yaitu proses distribusi paket program (kompor gas, tabung gas 3 Kg serta selang regulator), penggunaan (akses) paket program oleh kelompok sasaran serta dampak program terhadap kelompok sasaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Minimum Program Distribusi Paket Program

Tahap awal pendistribusian paket program, pelaksana program melakukan pendataan calon penerima paket bantuan berdasarkan KK (kepala keluarga). Setelah pendataan dilakukan, maka paket bantuan berupa kompor gas satu tungku, tabung gas 3 kg, selang dan regulator dibagikan kepada rumah tangga miskin desa Banmaleng, desa Banbaru, desa Jate dan desa Lombang pulau Gili Raja kecamatan Giligenting. Hal tersebut diakui Imam Hambali, salah seorang penerima paket program di desa Banmaleng:

"ya, dhak adek en e catet, ca'en eberrek'enah kompor, ya, ben tabungah, kabbeh pokok en, teap KK (kepala keluarga) epentaeh pesse dueboh ropeya"

"ya, awalnya, kami didata, beberapa minggu kemudian, kami mendapatkan kompor, tabung gas LPG 3 Kg, selang dan regulatornya. Ketika kami didata, katanya untuk mendapatkan kompor itu, tiap KK (kepala keluarga) harus membayar Rp. 2.000.00,- pada petugas".

Pernyataan tersebut menjelaskan distribusi paket program diimplementasikan tidak sesuai dengan isi kebijakan dengan adanya pungutan liar sebesar Rp. 2.000 untuk setiap rumah tangga calon penerima program oleh petugas pendata. Selain itu distribusi paket program didasarkan pada *soma* (rumah) yang didalamnya dapat terdiri dari 2 (dua) sampai 3 (tiga) kepala rumah tangga, bukan berdasarkan rumah tangga (kepala keluarga).

Akses Kelompok Sasaran

Akses kelompok sasaran terhadap program merupakan kondisi dimana kelompok penerima paket program menggunakan paket program berupa paket kompor gas untuk memasak. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik kabupaten Sumenep, diketahui masyarakat pulau Gili Raja masih menggunakan dua alat memasak, kayu bakar dan kompor gas, seperti pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 tersebut dapat diketahui bahwa jumlah pengguna kayu bakar lebih sedikit dibandingkan dengan pengguna gas. Namun, berdasarkan hasil observasi dan wawancara mendalam dapat dijelaskan bahwa, rumah tangga yang masuk dalam kategori memasak dengan menggunakan kayu bakar, merupakan rumah tangga yang sama sekali tidak menggunakan listrik atau gas untuk memasak. Artinya, meskipun rumah tangga tersebut telah mendapatkan bantuan paket program konversi minyak tanah ke LPG, rumah tangga ini sama sekali tidak menggunakan output program yang berupa paket kompor gas satu tungku. Sedangkan, rumah tangga yang masuk dalam kategori memasak dengan menggunakan listrik atau gas, masih sering menggunakan kayu bakar untuk memasak, artinya rumah tangga ini menggunakan dua alat masak sekaligus secara bergantian.

Pertimbangan ekonomis menjadi variabel utama masyarakat menggunakan kayu bakar yang didapatkan secara gratis melalui dua cara. *Pertama*, kayu bakar bersumber dari ranting-ranting pohon yang daunnya digunakan untuk makanan ternak peliharaan masyarakat. *Kedua*, masyarakat mendapatkannya dari kayu-kayu gelondongan yang

Tabel 1. Jumlah rumah tangga berdasarkan alat memasak di pulau Gili Raja

Desa	Kayu bakar	Gas / listrik	Jumlah	Penguna kayu bakar (%)
Lombang	154	1.274	1428	10,78
Jate	64	543	607	10,54
Banbaru	84	699	783	10,73
Banmaleng	102	921	1023	9,97

Sumber: Badan Pusat Statistik kabupaten Sumenep, 2013 (data diolah)

di-*baddhung* (dipotong-potong/diiris-iris) menjadi kecil-kecil, seperti dapat dilihat pada Gambar 1

Dengan demikian hampir semua rumah tangga penerima program tidak menggunakan atau tidak memanfaatkan fasilitas program dengan maksimal. Penggunaan kompor gas untuk memasak pada rumah tangga sasaran program hanya sebanyak 2-3 kali dalam seminggu, dengan durasi pemakaian 5-10 menit.

Dampak Program Terhadap Kelompok Sasaran

Dalam konsepsi MEP, ketika program tidak diakses atau tidak digunakan oleh rumah tangga kelompok sasaran, maka pertanyaan tentang dampak program tidak perlu diajukan. Argumentasinya, program atau layanan yang tidak digunakan oleh kelompok sasaran, tidak akan memiliki dampak. Namun, dalam kasus program konversi minyak tanah ke LPG di pulau Gili Raja, rumah tangga sasaran bukan sama sekali tidak mengakses atau tidak menggunakan kompor gas ketika memasak, sebagian rumah tangga sasaran masih menggunakan kompor gas dengan intensitas yang rendah dan mengakui adanya dampak program berupa efisiensi memasak atau memasak dengan kompor gas membutuhkan waktu lebih singkat daripada kayu bakar. Namun, secara ekonomis (dengan ukuran rumah tangga sasaran di pulau Gili Raja) penggunaan kayu bakar masih lebih murah dibandingkan dengan kompor gas, sebab kayu bakar diperoleh secara gratis dari lahan pertanian masing-masing rumah tangga

Potensi Energi Alternatif

Aktivitas bercocok tanam masyarakat pulau Gili Raja tergolong masih tradisional dan organik, salah satunya dapat dilihat dari penggunaan bibit, pupuk kandang maupun metode pengolahan lahan atau membajak ladang dengan *ananggaleh* menggunakan 2 ekor tenaga sapi. Karena itulah setiap rumah tangga di pulau Gili Raja memelihara hewan ternak, terutama sapi, baik sapi tersebut merupakan sapi milik (pemilik sekaligus peternak) atau sapi *ghadhu* (sapi milik orang lain yang dipelihara dengan sistem bagi hasil), seperti pada Tabel 2.

Berdasarkan tabel 2 tersebut dapat dijelaskan, semua rumah tangga di pulau Gili Raja memiliki hewan ternak. desa Lombang yang memiliki 1.217 rumah tangga, memiliki hewan ternak sebanyak 1.580 ekor, desa Jate dengan jumlah rumah tangga hanya 634, ternyata jumlah hewan ternaknya mencapai 1.513 ekor, artinya setiap rumah tangga di desa Jate memiliki lebih dari 2 ekor hewan ternak. Kemudian di desa Banbaru, terdapat 1.424 hewan ternak, dengan jumlah rumah tangga 698. Artinya, setiap rumah tangga di desa Banbaru memiliki hewan ternak lebih dari 3 ekor ternak. Selanjutnya di desa Banmaleng, terdapat 1.460 ekor ternak, dengan jumlah rumah tangga sebanyak 918 rumah tangga. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa setiap rumah tangga di desa Banmaleng memiliki hewan ternak antara 1-2 ekor.

Desain Kebijakan Pengembangan Energi Alternatif

Berdasarkan data tersebut seharusnya kebijakan energi nasional dengan berbagai jenis programnya dibangun secara asimetris *(heterogen)*, asimetris berarti sebuah program hanya dapat diberlakukan pada tempat dan sasaran tertentu, tidak untuk semua kelompok sasaran yang memiliki perbedaan karakter, budaya maupun potensi sosial ekonomi, hal tersebut untuk menghindari terjadi kesalahan implementasi *(bad implementation)* seperti yang

Tabel 2. Jumlah ternak berdasarkan jenis di pulau Gili Raja tahun 2012

No	Jenis ternak	Jumlah
1	Sapi	2630
2	Kambing	2746
3	Domba	601

Sumber: Badan Pusat Statistik kabupaten Sumenep, 2013



Gambar 1. Memasak dengan kayu bakar dan cara mendapatkan kayu bakar

terjadi pada implementasi program konversi minyak tanah ke LPG di pulau Gili Raja.

Dengan program yang bersifat asimetrik dalam kebijakan energi nasional, maka pemenuhunan kebutuhan energi di pulau Gili Raja dapat dilakukan dengan pengembangan energi terbarukan, berupa program pembangunan biogas yang menggunakan bahan baku kotoran ternak. Dimana kotoran sapi dan ternak lainnya sebelum dimanfaatkan untuk pupuk lahan pertanian, terlebih dahulu dapat dikelola menjadi sumber gas bagi rumah tangga untuk kebutuhan memasak, penerangan, bahkan listrik. Model pengembangan tersebut dapat dengan mudah dan massif dilakukan karena lebih cocok dengan karakter dan kondisi lokal masyarakat dengan konsep *policy shaping*, yaitu kebijakan yang dirumuskan berdasarkan potensi lokal serta kepentingan masyarakat, kemudian dibangun atas inisiatif dan dorongan masyarakat.

Hal tersebut sesuai dengan konsepsi kebijakan partisipatif, dimana masyarakat dilibatkan secara langsung dalam perumusan kebijakan untuk mengakomodasi kepentingan masyarakat (Najmulmunir, 2013). Dimana melalui keterlibatan masyarakat dan akomadasi kearifan lokal dalam perumusan kebijakan energi nasional serta program-program dibawahnya, maka kebijakan energi nasional akan berkontribusi dalam pengembangan perilaku berwawasan lingkungan masyarakat. Mengingat penerapan kearifan lokal yang dimiliki masyarakat akan berpengaruh positif terhadap perilaku berwawasan lingkungan masyarakat (Mulyadi, 2011).

Selain itu, pengembangan biogas dapat memberikan beberapa manfaat kepada petani diantaranya, ampas kotoran ternak yang telah diolah menjadi biogas dapat langsung digunakan menjadi pupuk, secara ekonomis masyarakat dapat memenuhi kebutuhan energi secara gratis atau bahkan dapat menjual energi yang berlebih, *biogas* dapat dikembangkan menjadi sumber tenaga listrik di Pulau yang belum terjangkau listrik dari negara. Dengan demikian, dalam skala kecil program pengembangan biogas dapat membantu pencapaian tujuan kebijakan energi nasional serta pelestarian lingkungan hidup.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data penelitian ini menyimpulkan. Distribusi paket program berupa kompor gas 1 tungku, selang regulator serta tabung gas 3 Kg tidak berjalan dengan efektif dengan adanya pungutan liar terhadap penerima program oleh petugas pendata dalam proses distribusi paket program. Selain itu, penggunaan kompor gas oleh kelompok sasaran penerima masih sangat rendah, sehingga program tidak memberikan impact sesuai tujuan program dan kebijakan energi nasional.

Berkaitan dengan kebijakan energi nasional, kelompok sasaran di pulau Gili Raja memiliki potensi energi alternatif, *sustainable*, *renewble* dan ramah lingkungan, yang dapat memenuhi kebutuhan energi penduduk Gili Raja, berupa sumber daya kotoran ternak yang dihasilkan dari 5977 ekor ternak, terdiri dari 2630 ekor sapi, 2746 ekor kambing dan 601 ekor domba yang dapat dikembangkan menjadi energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi penduduk pulau Gili Raja.

Oleh karena itu direkomendasikan, penetapan dan pengembangan program pemerintah hendaknya dibangun dan diimplementasikan secara asimetris atau program diimplementasikan berdasarkan karakteristik lokal, keadaan sosial ekonomi, politik maupun budaya lokal dan tidak diterapkan secara seragam untuk semua kelompok sasaran yang sangat beragam. Selain itu, implementor program harus memahami tujuan dan mekanisme program, kemudian mentransformasikannya, baik kepada kelompok sasaran maupun pelaksana kebijakan pada sektor lain. Implementor program konversi minyak tanah ke LPG harus mampu mengkomunikasikan program kepada implementor kebijakan kesehatan, pelestarian lingkungan maupun kebijakan-kebijakan lainnya. Dengan demikian, implementasi program tidak hanya akan menghasilkan output, outcome, tapi program juga dapat memiliki impact positif sesuai tujuan program. Berdasarkan potensi lokal masyarakat pulau Gili Raja, hendaknya dikembangkan kebijakan energi terbarukan berupa *biogas* untuk memenuhi kebutuhan masyarakat terhadap energi serta mengoptimalkan perilaku berwawasan lingkungan kepada masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim 2009. *Kajian Konversi Minyak Tanah Ke Gas Elpiji Di Sumatera Utara*, Badan Penelitian Dan Pengembangan Propinsi Sumatera Utara, Medan.

Anonim, 2010[a]. *Konversi Mitan Ke LPG Hemat Hingga Rp 25,21 triliun*, Majalah Media Informasi dan Komunikasi DEN 4: 14-15.

Anonim, 2010[b]. *World Energy Outlook 2010 (Pandangan Energi Dunia 2010)*, International Energy Agency OECD, Paris.

Anonim, 2012[a]. *Alihkan Anggaran bagi Infrastruktur*. Harian Kompas, edisi 12 Maret 2012. Jakarta.

Anonim 2012[b]. *Ikhtisar Hasil Pemeriksaan Semester II Tahun 2011*, BPK RI, Jakarta.

Anonim, 2013. *Kecamatan Giligenting dalam Angka*, BPS Kabupaten Sumenep, Sumenep.

Denzin, K.N. dan Lincoln, Y.S., 2009. *Handbook of Qualitative Research*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.

Gyorkos, T.W., 2003. *Monitoring and Evaluation of Large Scale Helminth Control Programmes*, Acta Tropica 86: 275-/282.

Hancock, P. Cooper, T. dan Bahn, S., 2009. *Evaluation of The Integrated Services Pilot Program from Western Australia*, Evaluation and Program Planning 32: 238–246

Last, J.M., 2001. *A Dictionary of Epidemiology*, fourth edition, Oxford University Press, New York.

Lincoln, Y.S., dan Guba, E.G., 1985. *Naturalistic Inquiry.* Sage Publication, Beverly Hills.

Mulyadi, 2011. *Pengaruh Kearifan Lokal, Locus Of Control dan Motivasi Terhadap Perilaku Berwawasan Lingkungan Petani dalam Mengelola Lahan Pertanian di Kabupaten Soppeng. Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 18(I):60 – 67

Munro, T.L., 2003. *Zimbabwe's Agricultural Recovery Programme in The 1990s: An Evaluation using Household Survey Data*, Food Policy 28: 437–458

Najmulmunir, N., 2013. *Pengaruh Partisipasi Masyarakat Terhadap Efektifitas Implementasi Rencana Tata Ruang Wilayah kabupaten Bekasi*. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 20(2): 213 – 220.

Salim, A., 2006. *Teori dan Paradigma Penelitian Sosial*, Edisi kedua, Penerbit Tiara Wacana, Yogyakarta.

Smith, R.K., Dutta, K., Chengappa, C., Gusain, P.P.S., Omar, O.M., Berrueta, V., Edwards, R., Bailis, R., dan Shieds, K.N., 2007. *Monitoring and Evaluation of Improved Biomass Cookstove Programs for Indoor Air Quality and Stove Performance: Conclusions from the Household Energy and Health Project.* Energy for Sustainable Development. XI (2): 5-18.

Tumiwa, F. Laan, T. Lang, K. dan Vis-Dunbar, D., 2011. *Panduan Masyarakat Tentang Subsidi Energi Di Indonesia*, Global Subsidies Initiative (GSI)-International Institute for Sustainable Development (IISD) bekerjasama dengan Institute for Essential Services Reform (IESR), Jakarta.

Widayanti, W. dan Sumiyatun, S.D., 2009. *Evaluasi Pelaksanaan Konversi Minyak Tanah ke Gas di Desa Sumber Rahayu, Kecamatan Moyudan Kabupaten Sleman*. Media Info Litkesos. 33(1): 63-74.

Widianto, E., 2007. *Kondisi Energi Primer (Minyak Dan Gas) Indonesia*. Pertemuan Nasional Forum Komunikasi Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia 2007. FKPTTEI, 5–6 Desember 2007, Yogyakarta.

TIM MGB

JATI DIRI MANUSIA INDONESIA DALAM PERSPEKTIF PEMBENTUKAN KARAKTER BANGSA



Gadjah Mada University Press

Kaelan, Budi Winarno, Soejadi, Sudjito, Sukandarrumidi, I Dewa Putu Wijana,
Tadjuddin Noer Effendi, Siti Malkhamah, Sri Suryawati, Totok Gunawan,
Soenarto Sastrowijoto, Muhjidin Mawardi, Sahid Susanto, Wega Trisunaryanti,
Karna Wijaya, Sunarru Samsi Hariadi, Sudarmadji, Soekotjo

JATI DIRI MANUSIA INDONESIA DALAM PERSPEKTIF PEMBENTUKAN KARAKTER BANGSA

Lampiran : C - 2

UGM Gadjah Mada University Press

JATI DIRI MANUSIA INDONESIA DALAM PERSPEKTIF PEMBENTUKAN KARAKTER BANGSA

Kaelan
Budi Winarno
Soejadi
Sudjito
Sukandarrumidi
I Dewa Putu Wijana
Tadjuddin Noer Effendi
Siti Malkhamah
Sri Suryawati
Totok Gunawan
Soenarto Sastrowijoto
Muhjidin Mawardi
Sahid Susanto
Wega Trisunaryanti
Karna Wijaya
Sunarru Samsi Hariadi
Sudarmadji
Soekotjo

GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS

Hak Penerbitan © 2015 GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS
P.O. Box 14, Bulaksumur, Yogyakarta 55281
E-mail : gmupress@ugm.ac.id
Homepage :http://www.gmup.ugm.ac.id

Cetakan pertama **Januari 2015**

Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun, baik cetak, photoprint, microfilm dan sebagainya.

1980.01.01.15

Diterbitkan dan dicetak oleh:
GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS
Anggota IKAPI
1312154-B5E

ISBN 979-420-890-6

DAFTAR ISI

PENGANTAR KETUA MGB v

PROLOG BUKU *KEMBALI KE JATI DIRI MANUSIA INDONESIA* ... 1

Dimensi Sosial-Budaya-Kemandirian 7

1. Jati Diri Manusia Indonesia 9
2. Sulitnya Menjadi Indonesia: Mencari "Pendasaran Baru" atas Indonesia 35
3. Manusia Indonesia Beserta Pemecahan Masalah 53
4. Karakter Manusia dan Hukum Indonesia 69
5. Abai Berbangsa dan Bernegara 89
6. Wangsalan dalam Bahasa Jawa 111
7. Pembangunan, Kemiskinan, dan Pengembangan Masyarakat: Sebuah Gagasan Pendekatan Pengentasan Kemiskinan 127
8. Perkembangan Transportasi dan Kedaulatan Teknologi 157
9. Kearifan Budaya Indonesia untuk Solusi Masalah Global Penggunaan Obat 178
10. Refleksi Kebangsaan Kembali ke Jati Diri Manusia Indonesia: Mencetak Manusia Mandiri 197
11. Etika Kehidupan Berbangsa dan Bernegara 213

Dimensi Sumber Daya Alam 233

1. Air, Kehidupan, dan Kedaulatan Bangsa 235
2. Jati Diri Manusia Indonesia: Keberadaan Lahan Irigasi Sebagai Perwujudan Karakter Bangsa Agraris Berbasis Beras 256
3. Pengembangan Sumber Energi Terbarukan secara Desentralisasi untuk Mewujudkan Masyarakat Mandiri Energi 284
4. Penguatan Ketahanan Energi Nasional Melalui Pemberdayaan Komunitas Biofuel 302
5. Kreasi Petani 327
6. Kearifan Lingkungan Masyarakat Pedesaan dalam Pengelolaan Sumber Daya Air 344

7. Mengembangkan Teknik Silvikultur Intensif (SILIN) untuk Mendukung Komitmen Pemerintah RI dalam Konferensi Tingkat Tinggi RIO+ 20 367

EPILOG BUKU *KEMBALI KE JATI DIRI MANUSIA INDONESIA* 387

BIODATA PENULIS 393

PENGEMBANGAN SUMBER ENERGI TERBARUKAN SECARA DESENTRALISASI UNTUK MEWUJUDKAN MASYARAKAT MANDIRI ENERGI

Prof. Dra. Wega Trisunaryanti, M.S., Ph.D.Eng.

ABSTRAK

Semakin tingginya tingkat pertumbuhan penduduk di dunia mengakibatkan konsumsi energi juga semakin meningkat. Indonesia sebagai negara berkembang sampai saat ini masih mengandalkan pasokan energi nasionalnya dari sektor energi fosil, seperti minyak bumi, batu bara, dan gas. Sumber energi terbarukan di Indonesia cukup melimpah. Indonesia adalah negara agraris karena sebagian besar penduduknya bercocok tanam. Total biomassa dari tanaman-tanaman tersebut setara dengan energi sebesar 49,81 GW. Pengembangan sumber energi terbarukan tidak cukup jika hanya dilakukan secara terpusat. Desentralisasi diperlukan untuk mempercepat pertumbuhan penggunaan sumber energi terbarukan. Dengan pemilahan sumber energi terbarukan yang tersedia secara bebas dan dapat disalurkan dalam skala kecil, desentralisasi pengembangan sumber energi terbarukan menjadi ujung tombak pengembangan energi di banyak negara berkembang. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melibatkan seluruh lapisan masyarakat. Masyarakat mandiri energi adalah masyarakat yang dapat memenuhi sendiri kebutuhan energinya. Dengan adanya masyarakat mandiri energi, beban kebutuhan energi nasional menjadi berkurang. Masyarakat yang mandiri energi dapat dibina melalui pelatihan-pelatihan pemanfaatan sumber bahan alam, seperti biomassa yang merupakan limbah tidak berguna menjadi lebih bermanfaat sebagai sumber energi baru dan terbarukan. Beberapa contoh produksi energi baru dan terbarukan tersebut adalah melalui pelatihan produksi biogas dari kotoran hewan, pengolahan limbah salak menjadi bioetanol, produksi biodiesel dari tanaman jarak pagar, dan pengolahan biomassa menjadi biofuel.

Kata kunci : biomassa, desentralisasi, biodiesel, biofuel, bioetanol, biogas.

LATAR BELAKANG

Sumber Energi Terbarukan sebagai Solusi Krisis Energi

Sumber energi dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu sumber energi terbarukan dan sumber energi tidak terbarukan. Sumber energi terbarukan merupakan bahan yang dapat menghasilkan energi dan dapat diperbarui ketersediaannya di alam. Sumber energi baru dan terbarukan contohnya energi yang berasal dari panas bumi, panas matahari, angin, air, gelombang laut, dan biomassa. Sumber energi yang tidak terbarukan yang lebih dikenal dengan istilah bahan bakar fosil adalah sumber energi yang terbatas ketersediaannya di alam meliputi minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Cadangan sumber energi tidak terbarukan ini di alam lambat laun makin menipis sehingga diperlukan sumber energi baru dan terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi dunia di masa depan. Jika pencarian dan pengembangan sumber energi baru dan terbarukan tidak dirintis sejak dini, dunia akan mengalami krisis energi yang berkepanjangan. Hal ini mengancam keberlangsungan regenerasi manusia di bumi. Krisis energi bukan saja merupakan tanggung jawab negara-negara maju penghasil minyak bumi, tetapi merupakan tanggung jawab manusia di seluruh dunia. Bangsa Indonesia sebagai bagian dari penduduk dunia ini juga harus bertanggung jawab terhadap pengembangan sumber energi baru dan terbarukan.

Semakin tingginya tingkat pertumbuhan penduduk mengakibatkan konsumsi energi semakin meningkat. Indonesia sebagai negara berkembang sampai saat ini masih mengandalkan pasokan energi nasionalnya dari sektor energi fosil, seperti minyak bumi, batu bara, dan gas. Cadangan minyak bumi di Indonesia sebesar 9 miliar barel, atau sebesar 0,4% dari cadangan minyak bumi dunia, dan produksi reratanya sejak tahun 2000 s.d. 2008 sebesar 414,6 juta barel per tahun. Jika kondisi ini tetap berlangsung, cadangan minyak bumi Indonesia akan habis dalam waktu 22 tahun ke depan. Cadangan gas alam Indonesia sebesar 182 triliun kaki kubik, atau sebesar 1,7% dari cadangan gas alam dunia, dan produksinya sebesar 3,0 triliun kaki kubik per tahun sehingga cadangan gas alam Indonesia masih cukup untuk 61 tahun. Cadangan batu bara nasional sebesar 19,3 miliar ton atau 0,4% dari cadangan batu bara dunia. Produksi batu bara di Indonesia sebesar 130 juta ton per tahun. Dengan demikian, cadangan batu bara Indonesia diperkirakan masih cukup untuk kebutuhan 147 tahun ke depan (Putrohari, 2009). Saat ini, sekitar 80% dari konsumsi energi dunia masih bergantung pada bahan bakar fosil (Goldemberg, 2006), dan diperkirakan cadangan minyak dunia akan habis pada tahun 2050 (dkk., 2009). Ketahanan dalam bidang energi di masa yang akan datang menjadi suatu masalah yang perlu disiapkan solusinya sejak dini.

Antisipasi awal yang dapat dilakukan adalah dengan menghemat penggunaan energi. Penghematan yang dilakukan oleh setiap individu dapat meminimalisasi kemungkinan terjadinya krisis energi. Namun, hemat saja tidak cukup. Diperlukan suatu sumber energi alternatif (nonfosil) yang dapat mengimbangi pertumbuhan manusia. Sumber energi alternatif yang terbarukan merupakan jalan keluar dari ancaman krisis energi di masa yang akan datang.

Banyak negara sudah mulai mengembangkan penggunaan energi alternatif. Energi dari angin, matahari, panas bumi, dan biomassa mulai diteliti untuk dijadikan sumber energi alternatif yang terbarukan. Bahkan, di beberapa negara maju sudah ada yang mengaplikasikan teknologinya untuk mendapatkan pasokan energi dari sumber energi terbarukan tersebut.

Masing-masing sumber energi terbarukan memiliki kendala keterbatasan untuk dapat diaplikasikan. Keterbatasan tersebut dapat berupa teknologi yang terlalu rumit, biaya yang mahal, atau keberlanjutannya tidak terjamin (*non-sustainable*). Energi matahari misalnya, untuk dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik, diperlukan sel surya yang mahal harganya. Untuk panas bumi, diperlukan teknologi yang rumit. Energi angin dan biomassa belum memenuhi kriteria keberlanjutan (*sustainability*). Energi angin bergantung kepada keberadaan angin, sedangkan untuk sumber energi yang berasal dari pengolahan biomassa, sebagian besar yang sudah dikembangkan berasal dari bahan pangan. Seperti di Brazil, bioetanol dan biodiesel dikembangkan dari gandum dan jagung. Jika kita mengambil biomassa yang merupakan bahan makanan untuk sumber energi, akibatnya adalah krisis bahan makanan. Menurut para ahli, biomassa dinilai kurang efektif untuk suplai energi secara global, tetapi keberlanjutannya dapat dikelola dalam skala kecil. Dalam pengembangan sumber energi baru dari biomasa, perlu dikembangkan penggunaan sumber biomassa yang bukan merupakan sumber bahan pangan manusia.

Potensi Sumber Energi Terbarukan di Indonesia

Sumber energi terbarukan di Indonesia cukup melimpah. Indonesia adalah negara agraris yang sebagian besar penduduk bercocok tanam. Total biomassa dari tanaman-tanaman tersebut setara dengan energi sebesar 49,81 GW. Potensi pembangkit listrik tenaga air sebesar 75,67 GW, mini/mikro hidro sebesar 458,75 MW, panas bumi 27 GW, tenaga angin 9,29 GW, dan tenaga surya rerata sebesar 4,8 kWh/m^2/hari (Putrohari, 2009). Selain sumber energi terbarukan tersebut, sumber energi terbarukan dapat pula diperoleh dari laut. Dengan luas lautan mencapai 5,8 juta km^2 berdasarkan perhitungan secara kartografis, Indonesia memiliki potensi sumber energi terbarukan berbasis gelombang laut yang melimpah. (Anonim, 2009[a]).

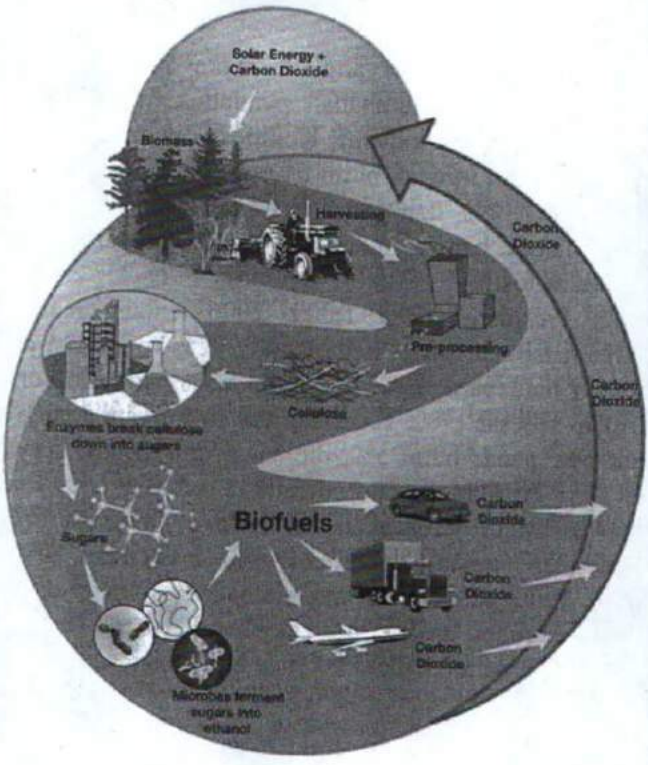
Komposisi Jenis Energi

Konsumsi energi nasional yang meningkat rata-rata sebesar 7% per tahun disebabkan adanya pertambahan penduduk, meningkatnya kegiatan ekonomi, dan perkembangan industri. Komposisi pemakaian jenis energi di Indonesia saat ini adalah minyak bumi 51,66%, gas alam 28,57%, batu bara 15,34%, tenaga air 3,11%, dan panas bumi 1,32% (Anonim, 2009[a]). Data tersebut menunjukkan bahwa Indonesia masih sangat bergantung pada sumber bahan bakar fosil.

Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional mengamanatkan bahwa pada tahun 2025, komposisi jenis energi di Indonesia adalah batu bara 33%, gas alam 30%, minyak bumi 20%, dan energi terbarukan sebesar 17%. Termasuk dalam 17% ini adalah bahan bakar nabati sebesar 5%, panas bumi 5%, biomassa, nuklir, air, surya, dan angin sebesar 5%, serta batu bara yang dicairkan sebesar 2%. Pengembangan sumber energi alternatif terbarukan dari sektor biomassa belum menjadi prioritas pemerintah. Inisiatif pemberdayaan masyarakat Indonesia yang mandiri energi, yaitu yang dapat memanfaatkan sumber energi baru dan terbarukan dari sumber selain minyak bumi (*fossil fuel*) perlu terus dikembangkan untuk meningkatkan kualitas hidup bangsa Indonesia.

Potensi Sumber Energi Baru dan Terbarukan yang Berasal dari Biomassa

Siklus konversi biomassa menjadi bahan bakar berupa biofuel dipaparkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus Biomassa (google.com)

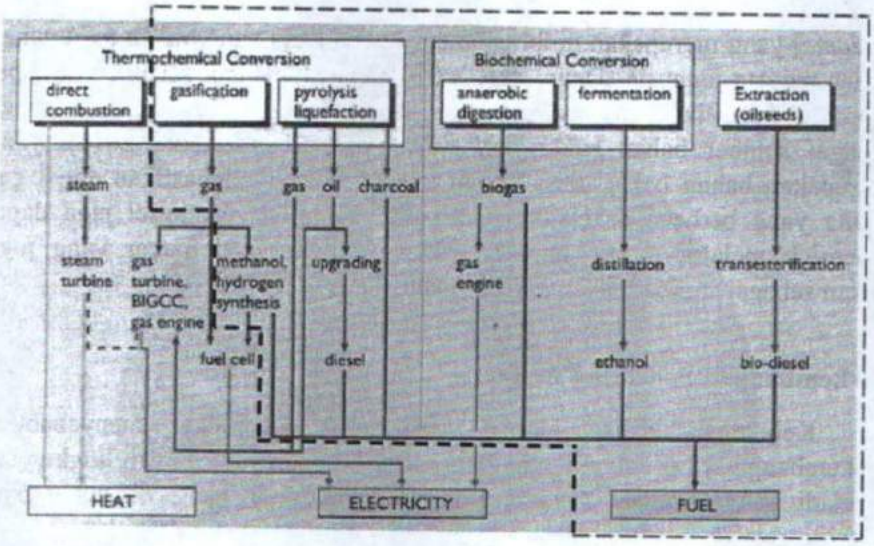
Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik. Biomassa meliputi bahan produk dan buangan. Contoh biomassa antara lain tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian dan limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Kayu bakar adalah salah satu jenis sumber energi dari biomassa tertua yang masih digunakan hingga saat ini. Namun, penggunaannya secara langsung menimbulkan efek negatif karena asap pembakarannya. Asap pembakaran dari kayu bakar dapat menyebabkan gangguan pernapasan jika terhirup dalam kurun waktu yang lama. Di samping itu, penggunaan bahan bakar tradisional dari kayu pepohonan lambat laun menyebabkan hutan Indonesia gundul, tandus, tidak dapat menahan air hujan sehingga menyebabkan banjir dan kelabilan ekosistem dunia. Hal ini sangat membahayakan keberlangsungan hidup manusia di bumi. Penggunaan biomassa sebagai sumber energi terbarukan terus berkembang dengan konversi biomassa menjadi bioetanol, biodiesel, dan biofuel. Bioetanol adalah bahan bakar yang diperoleh dari hasil fermentasi karbohidrat dan selulosa menggunakan enzim tertentu. Misalnya, fermentasi limbah, buah-buahan, dan sayuran. Selain limbah bahan pangan manusia,

bioetanol dapat diperoleh dari fermentasi rimpang bunga kana (*Canna rhizome*) yang merupakan umbi tanaman bunga kana yang bukan merupakan bahan pangan manusia (Dewi, dkk., 2010). Dari bioetanol selanjutnya dapat diproses katalitik (*steam reforming*) untuk menghasilkan gas hidrogen sebagai sumber bahan bakar *fuel cell* (Trisunaryanti, dkk., 2011). yang merupakan bahan bakar masa depan karena tidak menghasilkan emisi gas buang yang berbahaya selain uap air dan gas CO_2. Biodiesel juga dapat diperoleh melalui proses transesterifikasi minyak jarak pagar yang juga bukan sebagai sumber bahan pangan manusia.

Perkembangan Penelitian Biofuel

Kebutuhan energi global yang terus meningkat menyebabkan berkembangnya penelitian tentang energi terbarukan yang ramah lingkungan menjadi sangat pesat. Awalnya energi terbarukan yang dikembangkan peneliti adalah etanol yang berasal dari fermentasi karbohidrat seperti gandum dan jagung (Labeckas, 2006). Etanol yang berasal dari karbohidrat sering disebut dengan biofuel generasi pertama.

Sumber biofuel yang berasal dari karbohidrat, menimbulkan kekhawatiran karena pengembangan biofuel generasi pertama akan mengancam ketersediaan bahan pangan. Para peneliti beralih ke sumber biofuel selulosa yang kemudian disebut sebagai biofuel generasi kedua (Yan, S., 2010). Dewi, dkk., (2010) telah mengembangkan penelitian pembuatan bioetanol dari rimpang bunga kana. Selulosa juga memiliki kekurangan karena harus dipreparasi terlebih dahulu agar menjadi bentuk monosakaridanya sebelum kemudian difermentasi. Usaha konversi biomassa menjadi biofuel juga dikembangkan melalui metode nonfermentasi. Pirolisis dapat mengonversi biomassa menjadi biogas melalui gasifikasi, biofuel melalui pirolisis-lambat, dan bioarang melalui karbonisasi. Perkembangan penelitian terhadap sumber energi baru dan terbarukan dari bahan dasar biomassa yang meliputi konversi biomassa secara termokimia dan biokimia disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema perkembangan penelitian energi terbarukan dari biomassa (Google.com)

Dari Gambar 2 terlihat bahwa konversi termokimia dilakukan melalui tahap pembakaran langsung, gasifikasi, dan pirolisis. Pembakaran langsung untuk menghasilkan energi panas. Gasifikasi menghasilkan gas seperti hidrogen untuk bahan bakar mesin *fuel cell* sebagai sumber energi listrik. Pada konversi biokimia digunakan bakteri anaerob untuk menghasilkan biogas sebagai bahan bakar mesin dan rumah tangga. Proses fermentasi karbohidrat dan selulosa menghasilkan bioetanol. Proses produksi biodiesel dimulai dari ekstraksi minyak nabati maupun hewani kemudian ditransesterifikasi menggunakan katalis asam atau basa dalam media alkohol.

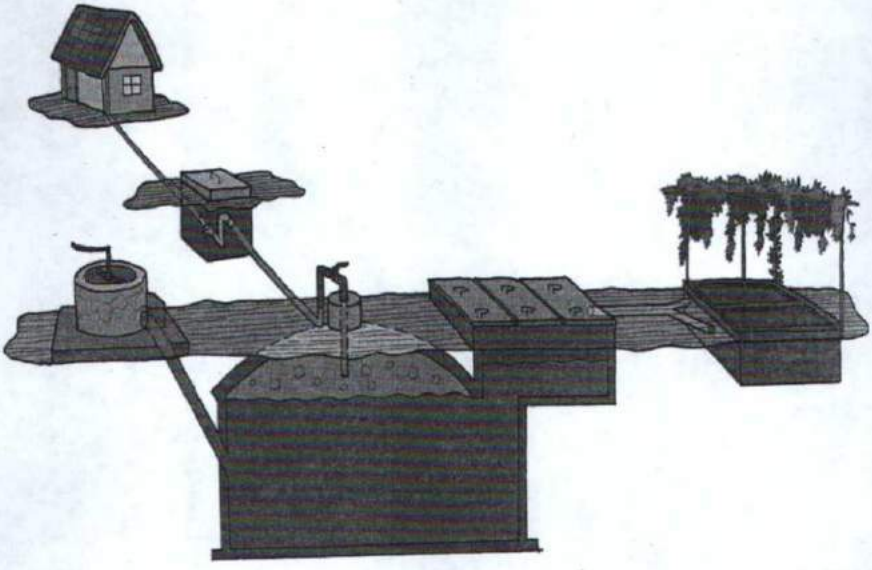
Masyarakat Mandiri Energi

Pengembangan sumber energi terbarukan tidak cukup jika hanya dilakukan secara terpusat. Desentralisasi diperlukan untuk mempercepat pertumbuhan penggunaannya. Dengan pemilahan sumber energi terbarukan yang tersedia secara bebas dan dapat disalurkan dalam skala kecil, desentralisasi pengembangan sumber energi terbarukan menjadi ujung tombak pengembangan energi di banyak negara berkembang. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melibatkan seluruh lapisan masyarakat. Masyarakat mandiri energi adalah masyarakat yang dapat memenuhi sendiri kebutuhan energinya. Dengan adanya masyarakat mandiri energi beban kebutuhan energi nasional menjadi berkurang. Namun, kebutuhan teknologi untuk pemanfaatan sumber energi alternatif tidak dapat

dipenuhi oleh semua individu. Keterbatasan pengetahuan menjadi salah satu kendalanya. Perlu dukungan dari berbagai kalangan untuk dapat menciptakan masyarakat mandiri energi. Teknologi pemanfaatan sumber energi alternatif perlu lebih disosialisasikan kepada masyarakat, baik melalui seminar, pelatihan, maupun edukasi dini dengan cara menyisipkan pengetahuan tersebut dalam kurikulum pendidikan. Pemerintah perlu mendukung dan memfasilitasi pemberdayaan masyarakat dalam bidang mandiri energi melalui kebijakannya maupun secara finansial.

Program Biogas Rumah (Biru)

Pemberdayaan masyarakat dalam bidang mandiri energi telah dilakukan oleh banyak pihak. Pemerintah melalui program Biru (Biogas Rumah) hasil kerja sama Organisasi Nirlaba Hivos dan bantuan dari SNV (Lembaga Pembangunan Belanda) mengenalkan kepada masyarakat model reaktor biogas rumah sebagai sumber energi lokal berkelanjutan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema reaktor biogas *fixed dome*

Pemanfaatan teknologi biogas secara langsung berkontribusi terhadap naiknya tingkat kesejahteraan hidup rumah tangga di pedesaan, khususnya bagi anak-anak dan perempuan. Hal ini sekaligus membuka kesempatan kerja dengan membuka sektor bisnis dan usaha (mulai dari pemasok hingga pekerja). Manfaat lain termasuk metode yang hemat waktu dan dana seperti

pengurangan berbagai bahan bakar yang tidak terbarukan, seperti kayu bakar, batu bara, dan bahan bakar fosil yang telah terbukti merusak baik lingkungan maupun kesehatan. Di samping itu, biogas dapat digunakan untuk mempromosikan hidup organik melalui penggunaan *bio-slurry* atau ampas biogas yang menyuburkan tanah sehingga menghasilkan panen perkebunan dan pertanian yang lebih tinggi hingga memengaruhi pertumbuhan ekonomi lokal. Pertumbuhan ekonomi lokal yang tinggi akan meningkatkan kualitas hidup manusia Indonesia (Anonim, 2009[b]).

Ada 6 bagian utama dari reaktor Biru yaitu: inlet (tangki pencampur) tempat bahan baku kotoran dimasukkan, reaktor (ruang anaerobik/hampa udara), penampung gas (kubah penampung), outlet (ruang pemisah), sistem pipa penyalur gas, dan lubang penampung ampas biogas atau lubang pupuk kotoran yang telah terfementasi.

Cara Kerja Reaktor Biogas

Campuran kotoran dan air (yang bercampur dalam inlet atau tangki pencampur) mengalir melalui saluran pipa menuju kubah. Campuran tersebut lalu memproduksi gas setelah melalui proses pencernaan di dalam reaktor. Gas yang dihasilkan lalu ditampung di dalam ruang penampung gas (bagian atas kubah). Kotoran yang sudah berfermentasi dialirkan keluar dari kubah menuju outlet. Ampas ini dinamakan *bio-slurry*. Ampas ini akan mengalir keluar melalui *overflow outlet* ke lubang penampung *slurry*. Gas yang dihasilkan di dalam kubah lalu mengalir ke dapur melalui pipa. Model Pembangunan Biogas Indonesia pada umumnya terdiri atas bagian-bagian berikut:

1. Inlet (tangki pencampur)
2. Pipa inlet (bisa diadaptasi untuk dihubungkan ke toilet)
3. Digester (mengolah kotoran hewan menjadi gas)
4. Penampung gas (kubah)
5. *Manhole*
6. *Outlet & overflow*
7. Pipa gas utama
8. Katup gas utama
9. Saluran pipa
10. *Waterdrain*
11. Pengukur tekanan
12. Keran gas
13. Kompor gas dengan pipa selang karet
14. Lampu (opsional)
15. Lubang *bio-slurry*

Aplikasi produksi biogas rumah (Biru) telah dilakukan di berbagai daerah di Indonesia. Di Yogyakarta dan Semarang telah dilakukan pemberdayaan masyarakat dalam penanganan limbah kotoran hewan (sapi dan kerbau) yang selanjutnya diproses dalam *reactor digester* untuk menghasilkan biogas rumah (Biru). Biru telah dimanfaatkan oleh ibu-ibu rumah tangga untuk memasak, penghangat air, dan lain-lain. Gambar 4 merupakan *reactor digester* produksi Biru di Semarang.

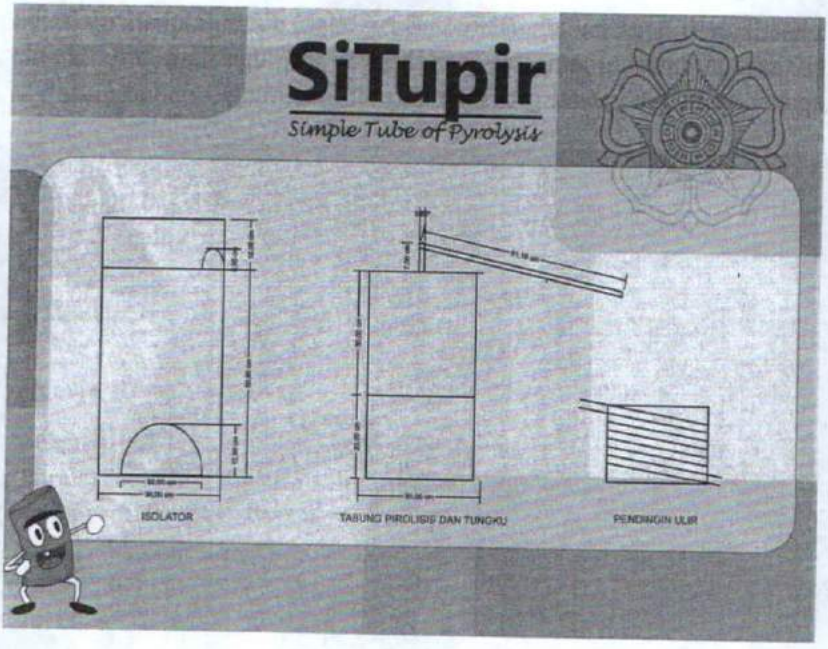


Gambar 4. Reaktor *fixed dome* Program Biru di Desa Batur, Kecamatan Getasan, Kab. Semarang

Konversi Biomassa dengan Metode Pirolisis

Dari bahan dasar biomassa yang merupakan sampah/limbah kulit buah dan sayuran busuk, dapat dihasilkan cairan sebagai sumber bahan bakar yang potensial bagi masyarakat (Majid dkk., 2011). Proses pirolisis dilakukan dalam reaktor mini sederhana yang dinamai SiTupir (*Simple Tube Pyrolysis*). Masyarakat dapat dibekali dengan teknologi ini karena sederhana dan mudah pengoperasiannya. Bahan dasar biomassa dapat diperoleh dari pasar-pasar tradisional maupun dari sisa-sisa pembuangan rumah tangga berupa kulit buah, sayuran sisa, sampah dedaunan, ranting-ranting dahan, dan rumput. Bahan dasar ini semuanya dibersihkan dan dipotong-potong menjadi bagian-bagian kecil agar mudah dipirolisis. Pekerjaan ini dapat dilakukan oleh

masyarakat di pedesaan terutama ibu rumah tangga, bahkan anak-anak sambil bermain. Reaktor SiTupir dapat dibuat oleh kaum laki-laki secara sederhana dengan biaya yang relatif murah dan mudah pengerjaannya.



Gambar 5. Skema alat pirolisis SiTupir

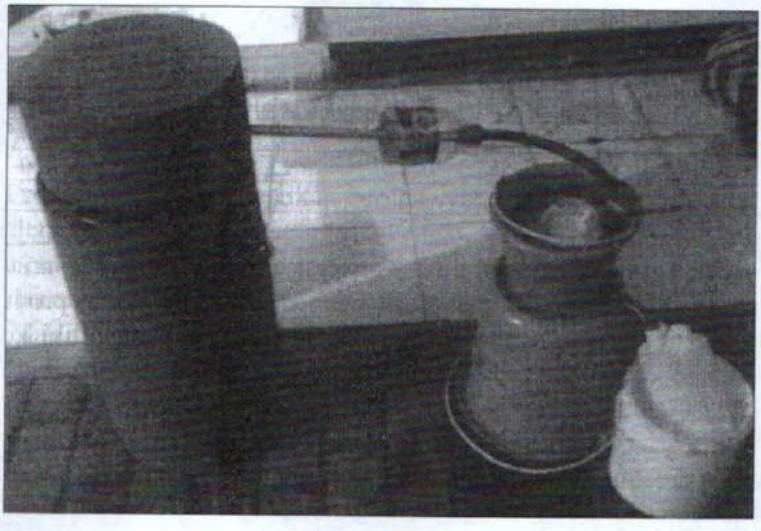
Alat pirolisis yang banyak digunakan dalam penelitian dan industri memiliki desain yang kompleks serta bahan yang mahal. Komponen dari rangkaian alat pirolisis yang digunakan meliputi tabung pirolisis, pipa konektor, tabung kondensor, dan isolator panas. Pada alat pirolisis yang digunakan untuk produksi asap cair oleh PT Tropica Nucifera Industry, tabung pirolisis dibuat dari bahan *stainless steel*. Dalam ukuran besar, penggunaan *stainless steel* sebagai bahan tabung pirolisis memakan biaya yang cukup besar. Tabung kondensor juga terbuat dari pipa ulir *stainless steel* yang direndam dalam tabung berisi air. Isolator yang digunakan berupa bata yang direkatkan dengan campuran lempung dan semen tahan api yang harganya cukup mahal.

Agar proses pirolisis dapat dilakukan dengan mudah oleh masyarakat dibuat alat pirolisis sederhana yang dinamai SiTupir (Gambar 5). SiTupir merupakan singkatan dari *Simple Tube of Pyrolisis*. SiTupir skala pilot dibuat dengan bahan *stainless steel* dengan rasio ukuran yang sesuai dari ukuran SiTupir yang terbuat dari drum oli bekas. Kondensor terbuat dari selang

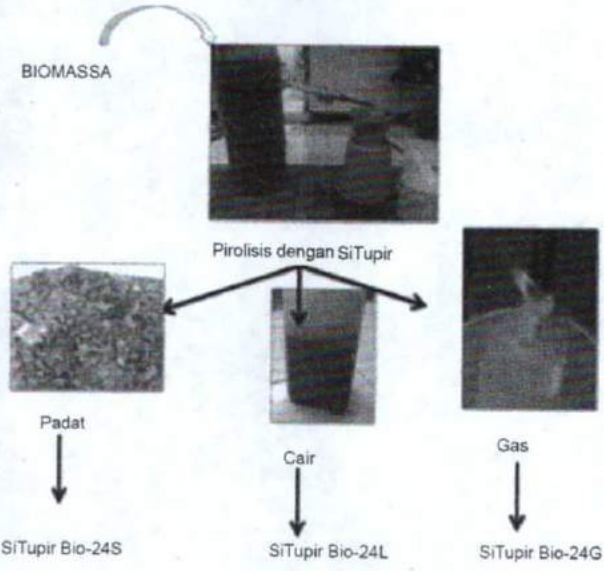
benang yang diulir dalam ember, sedangkan isolatornya berupa gerabah dari lempung (Gambar 6).

Proses pirolisis merupakan salah satu alternatif untuk mengolah sampah. Sampah organik yang merupakan komponen utama dapat diolah untuk menghasilkan bermacam bahan energi. Hasil pirolisis cair, yang selama ini dikenal dengan asap cair, telah digunakan sebagai bahan pengawet makanan. Hasil dari pirolisis sangat bergantung oleh suhu. Pada suhu tinggi (lebih dari 700°C) akan dihasilkan lebih banyak gas. Proses ini disebut dengan gasifikasi atau karbonasi. Proses gasifikasi dilakukan untuk mendapatkan produk padat berupa arang dengan jumlah banyak. Pada suhu rendah (kurang dari 700°C) produk utama berupa produk cair, yang lazim dikenal dengan asap cair (Gambar 7). Selama ini asap cair banyak digunakan sebagai pengawet makanan karena distilatnya mengandung senyawa fenolik sebagai komponen utama. Di Kanada, asap cair juga digunakan untuk pemberi cita rasa "*smoked beef*" pada daging sapi yang direndam di dalam distilat asap cair.

Asap cair harus didistilasi terlebih dahulu untuk dapat digunakan sebagai bahan pengawet atau pemberi cita rasa karena mengandung tar. Tar dari asap cair merupakan senyawa hidrokarbon dengan rantai hidrokarbon yang lebih panjang.



Gambar 6. Alat Pirolisis SiTupir



Gambar 7. Diversifikasi Biomassa Melalui Pirolisis dengan Alat SiTupir

KONVERSI PRODUK CAIR

Tabel 1. Konversi Produk dari Masing-masing Jenis Sampah Organik

Jenis Sampah	Konversi (% b/b)		
	Padat	Cair	Gas
Sampah Kayu	41,24	39,82	18,94
Sampah Kertas	56,20	22,20	21,60
Sampah Kulit Buah	10,52	60,35	29,12

Tabel 1. menunjukkan nilai konversi produk yang bervariasi dari 3 jenis sampah organik. Sampah kulit buah memiliki konversi produk cair yang paling tinggi, yaitu sebesar 60,35%. Sampah kayu memiliki konversi produk cair sebesar 39,82% dan sampah kertas memiliki konversi produk cair sebesar 22,20%.

Faktor yang memengaruhi jumlah produk cair yang dihasilkan adalah keberadaan senyawa semi volatil yang ada pada umpan. Disebut semi volatil karena senyawa tersebut tidak teruapkan dengan dijemur di bawah sinar matahari, tetapi dapat teruapkan ketika diberi panas dari luar. Pada kulit durian diperkirakan senyawa semi volatil tersebut didominasi senyawa pemberi aroma durian. Dapat diamati, pada saat berlangsungnya proses tercium aroma durian yang sangat menyengat.

Jumlah produk cair yang dihasilkan sesuai dengan jumlah senyawa semi volatil yang berada dalam umpan. Kayu memiliki senyawa semivolatil yang lebih sedikit daripada kulit durian, sedangkan kertas, memiliki jumlah paling sedikit. Kertas merupakan biomassa yang diolah dengan tujuan untuk mendapatkan material kering yang dapat digunakan untuk berbagai hal sehingga jumlah produk cair dari pirolisis sampah kertas paling kecil.

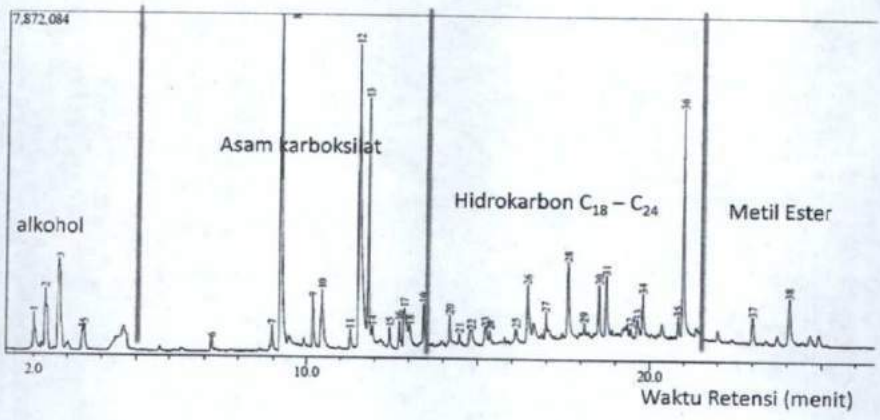
Hasil tersebut sesuai dengan nilai konversi arang yang dihasilkan. Konversi produk padat (arang) tertinggi dicapai oleh sampah kertas sebesar 56,20%, sampah kayu sebesar 41,24%, dan sampah kulit buah durian sebesar 10,52%. Pirolisis sampah kertas menghasilkan arang yang lebih banyak karena kertas tersusun dari senyawa hidrokarbon nonvolatil sehingga sebagian besar menjadi arang. Sampah kulit durian menghasilkan arang paling sedikit karena sedikit mengandung senyawa nonvolatil yang berubah menjadi arang. Sampah kayu memiliki jumlah senyawa semivolatil dan nonvolatil yang sesuai sehingga jumlah arang yang dihasilkan masih cukup besar, mencapai 41,24%.

Produk gas yang dihasilkan merupakan senyawa hidrokarbon rantai pendek yang berwujud gas. Jika dilakukan penelitian lebih lanjut, produk gas dapat diolah lebih lanjut menjadi bahan bakar gas. Produk gas yang dihasilkan memberikan nyala api yang lebih besar dan sedikit jelaga ketika didekatkan korek pada buangan gas hasil pirolisis. Namun, dalam pirolisis dengan panas bara, hasil gas yang dihasilkan sedikit karena suhu yang digunakan di bawah 500°C dan laju pemanasannya lambat.

KARAKTERISASI PRODUK CAIR

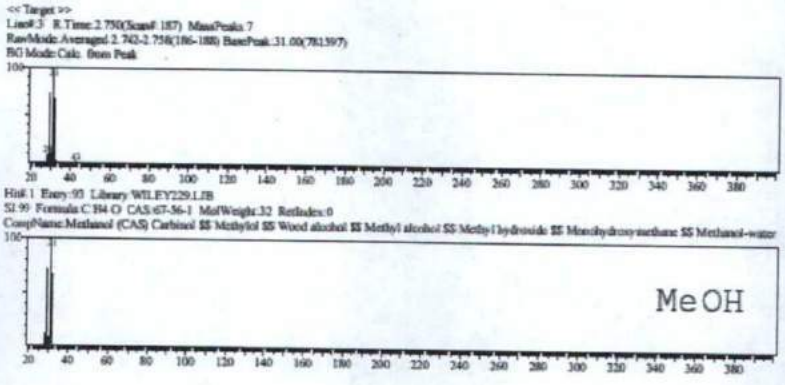
Produk cair yang dihasilkan berupa cairan encer dengan warna cokelat pekat dengan bau yang sangat menyengat. Produk cair yang dihasilkan merupakan campuran dari beberapa senyawa yang terpirolisis. Pada saat awal proses pirolisis dijalankan, produk cair yang keluar memiliki karakteristik encer dan berwarna cokelat jernih. Semakin lama proses pirolisis berlangsung, produk cair yang keluar semakin berwarna cokelat pekat. Adanya tar pada hasil pirolisis menunjukkan perubahan warna yang semakin cokelat pekat. Tar memiliki kekentalan yang lebih besar daripada asap cair sehingga diperkirakan tar memiliki rantai hidrokarbon yang lebih panjang.

Hasil dari uji kelarutan produk cair terhadap air dan bensin menunjukkan bahwa produk cair tidak larut pada bensin, tetapi larut pada air sehingga produk cair bersifat polar. Diperkirakan fraksi nonpolar terdispersi dalam fasa polar.

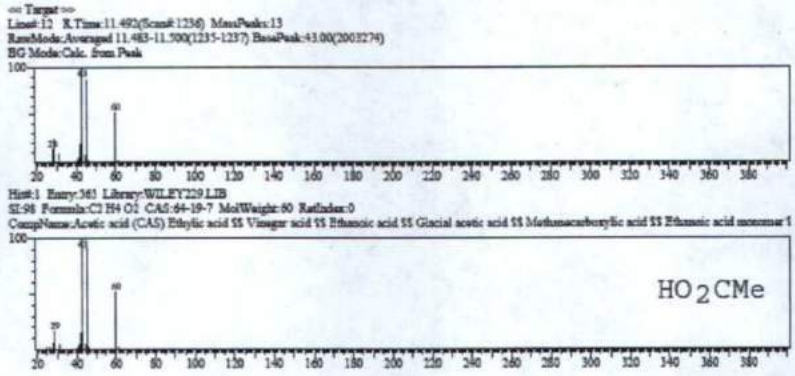


Gambar 8. Kromatogram Produk Cair Pirolisis

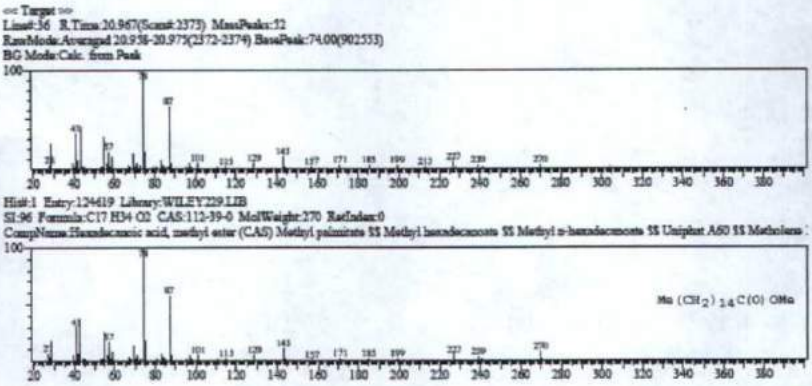
Hasil kromatogram (GC) pada Gambar 8 menunjukkan bahwa produk cair terdiri dari 38 senyawa yang berbeda. Produk cair tersebut merupakan bahan yang dapat diolah lebih lanjut menjadi bahan bakar. Senyawa fenolik merupakan senyawa alkohol siklis, sedangkan tar, dapat diolah lebih lanjut melalui perengkahan untuk menghasilkan senyawa hidrokarbon lebih pendek berupa fraksi bensin atau yang lebih dikenal dengan parafin.



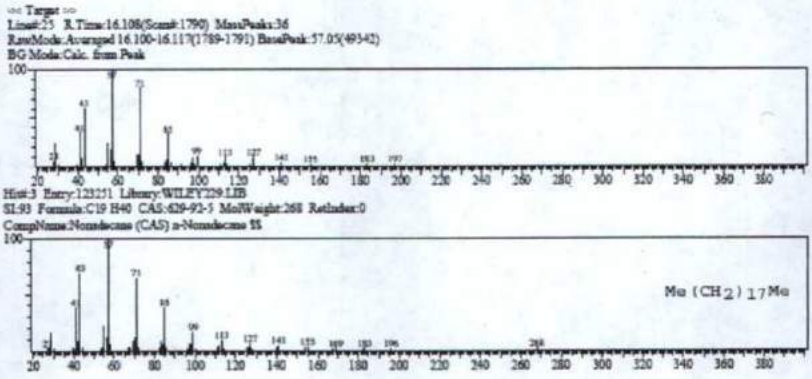
Gambar 9. Spektra MS dari puncak ke-3



Gambar 10. Spektra MS dari puncak ke-12



Gambar 11. Spektra MS dari puncak ke-26



Gambar 12. Spektra MS dari puncak ke-35

Dari hasil karakterisasi kromatografi gas–spektrometrimasa (GC-MS) pada Gambar 9–12, terlihat senyawa yang terkandung dalam fraksi cair hasil pirolisis didominasi oleh senyawa dengan gugus fungsi alkohol, asam karboksilat, metil ester, senyawa hidrokarbon rantai panjang.

Produk padat yang dihasilkan (SiTupir Bio-24S) adalah karbon/arang. Karbon dapat dimanfaatkan menjadi briket dengan menambahkan senyawa perekat seperti amilum untuk kemudian dicetak menjadi briket. Secara umum, briket memiliki nilai kalor yang lebih tinggi daripada arang biasa. Produk gas dari pirolisis (SiTupir Bio-24G) hanya dikarakterisasi dengan uji bakar. Dari hasil analisis uji bakar diperoleh nyala api dengan warna biru.

Produk cair dari SiTupir adalah cairan yang mengandung bahan dasar penyusun biofuel. Hasil pirolisis dini harus diproses lebih lanjut melalui proses katalisis (*catalytic cracking* dan *hydrocracking*) untuk menghasilkan fraksi bahan bakar bensin atau diesel yang berkualitas tinggi. Pada bagian ini diperlukan peran sektor industri, yaitu untuk menampung dan mengolah produk cair hasil pirolisis menjadi bahan bakar siap pakai. Perlu sebuah sinergi dari berbagai pihak untuk mewujudkan masyarakat mandiri energi. Peneliti dan akademisi, dapat berperan dengan mengembangkan penelitian terapan dan menyosialisasikan kepada masyarakat. Kebijakan, program-program yang mendukung serta bantuan finansial dari pemerintah akan mempercepat terwujudnya masyarakat mandiri energi.

KESIMPULAN

Pengembangan sumber energi terbarukan perlu dilakukan secara desentralisasi dengan melibatkan masyarakat. Sumber energi yang dapat dikembangkan secara desentralisasi adalah sumber energi yang tersedia bebas di alam dan dapat disalurkan dalam skala kecil, contohnya adalah biogas dan pemanfaatan biomassa (sampah) melalui pirolisis. Produk pirolisis dengan alat SiTupir merupakan sumber energi alternatif yang dapat diolah lebih lanjut oleh industri untuk mendapatkan sumber energi siap pakai.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2012. http://3.bp.blogspot.com/-SLEPjgpt3ec/T504wqXmHzI/AAAAAAAAAWM/aMfo8qsS6gE/s1600/biomass-fuel-production-process.jpg

Anonim. 2009a. *Energi Gelombang Laut: Selama Ada Ombak, Energi Akan Didapat*, http://www.esdm.go.id/news-archives/56-artikel/ 2585-energi-gelombang-laut-, 17 Juni 2009

Anonim. 2009b. http://www.biru.or.id/index.php/biru-program/

Dewi, K., W. Trisunaryanti, E.S. Soetarto. 2010. *Development of Bioethanol Production from Canna Rhizome*. International Conference of Biology, Environment and Chemistry. 237-240.

Goldemberg, J. 2006. "The Promise of Clean Energy". *Energy Policy*; 34, 2185-2190.

Google.com.,16 Juni 2013, "Siklus Biomassa".

Labeckas, G., Slavinskas S. 2006. *Renew Energy* 31:849.

Majid, A.B., W. Trisunaryanti, L. Amilia, A.D. Rahmadi, dan I. Oktapiany. 2011. "Pembuatan SiTupir sebagai Tempat Sampah Organik serta Pengolahannya untuk Produksi Bahan Dasar Biofuel". Laporan Penelitian. LPPM UGM.

Putrohari, R.D. 2009. *Potensi Geothermal vs Minyak Bumi*, http://rovicky.blogspot.com. 17 Juni 2009.

Saxena, R.C., D.K. Adhikari, and H.B. Goyal. 2009. "Biomass-based Energy Fuel Through Biochemical Routes: A Review", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 13(1), 167–178.

Trisunaryanti, W., Triyono, S. Purwono, dan K. Dewi. 2011. "Characteristics of Metals Supported-Zeolites Catalysts on Steam Reforming of Bioethanol". *J. Mat. Sci. Eng.*, 5, 3, pp. 341–346.

Yan, S., C. Di Maggio, S. Mohan, M. Kim, S.O. Salley , Ng. K.Y. Simon. 2010. "Advancements in Heterogeneous Catalysis for Biodiesel Synthesis". *Top Catal* (2010) 53:721–736.

Pengujian Sistem Konversi Energi Suara menjadi Energi Listrik menggunakan Piezoelektrik

Eddy Wijanto[1], Budi Harsono[2], Rendy Renandy[3], Ade Septian[4], Kevin Sutanto[5]

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Kristen Krida Wacana – Jakarta
[1]eddy.wiyanto@ukrida.ac.id, [2]budi.harsono@ukrida.ac.id,
[3]rendy.2015te002@civitas.ukrida.ac.id, [4]ade.2015te007@civitas.ukrida.ac.id,
[5]kevin.2015te008@civitas.ukrida.ac.id

Ringkasan

Beberapa penelitian terkait energi terbarukan, seperti energi air, angin, dan bahkan nuklir telah dilakukan. Namun, suara sebagai energi mekanik, ternyata juga memiliki potensi untuk menjadi salah satu alternatif energi. Sebagai konsekuensi dari Hukum Kekekalan Energi, energi suara dapat diubah menjadi energi listrik. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian sistem konversi energi suara menjadi energi listrik, dengan memanfaatkan komponen piezoelektrik. Berdasarkan data *baseline* dari beberapa area jalan dan pabrik, dilakukan pengukuran dengan menggunakan *signal generator* sebagai sumber suara dan *piezoelectric* sebagai *transducer* yang mengkonversi energi suara menjadi energi listrik. Nilai frekuensi yang dihasilkan berada pada kisaran tertentu, dan nilai tertinggi berkisar diantara 760-780 Hz. Semakin dekat sumber suara, resonansi semakin sering terjadi dan tegangan yang dihasilkan *Piezoelectric Transducer* semakin besar.

Kata kunci: energi terbarukan, energi suara, konversi energi, piezoelektrik

1. Pendahuluan

Berdasarkan data dari *Statistical Review of World Energy*, Indonesia dengan jumlah penduduk terbesar keempat di dunia setelah Cina, India, dan Amerika Serikat, berada pada posisi ke 20 pada tingkat konsumsi energi dunia dengan total konsumsi sebesar 1,1% dari total energi dunia. Data yang dikeluarkan oleh kementerian ESDM dalam *Blue Print* Pengelolaan Energi Nasional menunjukkan bahwa dengan kondisi produksi minyak saat ini dan perjanjian bagi hasil yang sedang berlaku, Indonesia harus mengimpor minyak mentah sebesar 487 ribu barel per hari dan produk minyak sebesar 212 ribu barel per hari, melebihi besar ekspor minyak mentahnya sebesar 514 ribu barel per hari [1].

Kebutuhan akan energi di Indonesia makin berkembang seiring dengan pesatnya peningkatan pembangunan di bidang teknologi, industri, dan informasi. Dengan tingginya konsumsi energi di Indonesia dan semakin berkurangnya cadangan energi fosil, maka Indonesia sudah saatnya untuk secara serius mengembangkan energi non fosil, diantaranya dengan energi terbarukan. Berbagai bentuk energi terbaru telah dikembangkan, diantaranya tenaga angin, tenaga uap, biomassa, dan sebagainya [1].

Tabel 1. Ketersediaan Energi

No.	Jenis Energi	Ketersediaan Energi (MW)
1.	Batubara	28.050
2.	Gas	14.760
3.	Minyak	320
4.	Solar	4.060
5.	Panas Bumi	430
6.	Air	10.310
7.	*Biomass*	460
8.	Lain-lain	370

Hukum Kekekalan Energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, energi hanya dapat berubah bentuk. Dengan hukum tersebut, pada dasarnya energi suara juga dapat diubah bentuknya menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan manusia. Lokasi-lokasi dengan tingkat kebisingan yang tinggi, seperti di jalan raya, dimana arus lalu lintas cukup padat di Indonesia, khususnya di kota-kota besar; di pabrik, juga memiliki tingkat kebisingan yang tinggi. Melihat adanya peluang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan sebuah sistem konversi energi suara kebisingan menjadi energi listrik [1].

2. Konsep Dasar

2.1 Energi Terbarukan

Konsep energi terbarukan mulai dikenal pada tahun 1970. Ide pengembangan energi terbarukan muncul seiring dengan semakin terbatasnya energi fosil yang merupakan energi tak terbarukan. Pada dasarnya, energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat dengan cepat dipulihkan kembali secara alami dan prosesnya berkelanjutan. Energi terbarukan senantiasa tersedia di alam dalam waktu yang relatif sangat panjang [1].



Gambar 1. Energi Terbarukan [1]

Energi terbarukan bersifat ramah lingkungan, aman, dan terjangkau masyarakat. Penggunaan energi terbarukan lebih ramah lingkungan karena mampu mengurangi pencemaran lingkungan dan kerusakan lingkungan dibandingkan dengan energi tak terbarukan. Adapun contoh dari energi terbarukan adalah sebagai berikut:

1. Angin

   Angin merupakan salah satu sumber energi yang terbarukan. Selama bumi ini masih ada, maka angin akan tetap ada selamanya karena ketersediaannya tidak

terbatas. Angin seringkali dimanfaatkan dalam teknologi kincir angin, khususnya di negara dengan intensitas angin yang tinggi. Angin ini akan mendorong turbin dari kincir angin yang dapat menghasilkan energi listrik.

2. Matahari
   Matahari merupakan sumber energi paling penting dalam kehidupan manusia. Sumber energi panas dari matahari juga banyak digunakan untuk berbagai macam aktivitas, seperti fotosintesis buatan, listrik tenaga surya, dan sebagainya.
3. Panas Bumi
   Sumber energi panas bumi atau geothermal merupakan energi panas dari kerak bumi. Energi geothermal diperoleh akibat peluruhan radioaktif dan juga pelepasan kalor atau panas secara terus-menerus di dalam bumi.
4. *Biofuel*
   Biofuel merupakan bahan bakar yang dihasilkan dari bahan-bahan organik. Sumber dari energi terbarukan ini adalah tanaman yang memiliki kandungan gula tinggi, seperti tebu dan sorgum, serta tanaman yang memiliki kandungan minyak nabati tinggi, seperti kelapa sawit, ganggang, dan jarak.
5. Air
   Energi air juga merupakan energi alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Sumber energi ini didapatkan dengan memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik yang dimiliki oleh air.
6. Biomassa
   Biomassa merupakan energi terbarukan yang mengacu pada bahan biologis yang berasal dari organisme yang masih hidup ataupun yang belum lama mati.

2.2. Suara dan Energi Suara

Suara atau kebisingan merupakan salah satu sumber energi yang tersedia secara luas. Suara pada dasarnya merupakan gelombang mekanik yang dihasilkan dari osilasi tekanan melalui beberapa media. Suara yang dapat didengar oleh indera pendengaran manusia memiliki frekuensi dari sekitar 20 Hz sampai 20.000 Hz. Di udara pada suhu dan tekanan standar, panjang gelombang suara berkisar dari 17 m sampai 17 mm.

Energi suara adalah energi yang dihasilkan oleh getaran suara saat melakukan perjalanan melalui udara, air, atau ruang lainnya. Frekuensi dari sumber energi suara yang pertama adalah infrasonik. Infrasonik adalah suara yang sangat lemah karena jumlah getaran yang dihasilkan pada gelombang infrasonik kurang dari 20 getaran per detik. Audiosonik adalah jenis suara yang dapat didengar oleh manusia. Gelombang Ultrasonik adalah gelombang dengan jumlah getaran suara lebih dari 20.000 getaran per detik.

Kebisingan adalah polusi suara yang pada umumnya terjadi pada daerah-daerah pemukiman yang padat, kawasan industri, dan lain-lain. Oleh karena itu, kebisingan yang merupakan energi suara yang terbuang, biasanya diminimalisasi. Efek psikologis dan kesehatan yang ditimbulkan oleh kebisingan, antara lain tuli, merasa tertekan, hipertensi, dan lain-lain. Untuk mencegah hal-hal tersebut, pekerja yang berada di daerah dengan tingkat kebisingan tinggi pada umumnya diwajibkan memakai pelindung [2].

Sebagai salah satu bentuk energi, kebisingan dapat dimanfaatkan. Hambatan dalam penggunaan energi kebisingan ini, antara lain kekonsistenan dari sumber energi

kebisingan. Untuk kawasan industri yang mengoperasikan mesin-mesin secara terus-menerus, kebisingan relatif konstan. Solusi untuk permasalahan ini antara lain dengan mengefektifkan komponen penyimpanan energi.

Salah satu pemanfaatan energi kebisingan adalah pada *Sound-Driven Piezoelectric Nanowire*. Penelitian ini dilakukan oleh beberapa peneliti asal Korea Selatan dimana dalam penelitian ini sumber energi telepon akan diperoleh dari energi suara pembicaraan dan suara lain yang ada di sekitarnya, seperti suara kebisingan yang dihasilkan oleh kendaraan yang melintas [3]. Adapun kelemahan dari penelitian ini adalah tingkat energi yang dihasilkan masih cukup kecil dan belum ada mekanisme optimalisasi dan penyimpanan energi.

Penelitian lain mengenai pemanfaatan energi suara dilakukan oleh Orest Symko yang memanfaatkan energi suara yang berasal dari udara untuk mengubahnya menjadi energi listrik. Prosesnya dilakukan dengan sebuah silinder yang ditempatkan di antara *hot heat exchanger* dan *cold heat exchanger*. Selanjutnya panas diberikan sehingga udara akan mengalir dan akan mengeluarkan suara dengan frekeunsi tertentu. Adanya frekeunsi ini akan mengakibatkan terjadinya fenomena resonansi. Frekuensi ini akan mengakibatkan silinder bergerak dan menekan piezoelektrik sehingga menghasilkan energi listrik. Penelitian ini lebih berfokus kepada perancangan sensor suara.

Berdasarkan dua penelitian sebelumnya, pada penelitian ini akan dirancang sebuah sistem konversi energi suara menjadi energi listrik, sebagai konsekuensi dari Hukum Kekekalan Energi, dimana suara sebagai energi mekanik dapat diubah menjadi energi listrik [4]. Penelitian ini diawali dengan pengambilan data *baseline* di beberapa lokasi dengan tingkat kebisingan suara yang cukup tinggi, seperti pabrik dan jalan raya. Berdasarkan hasil data awal tersebut, *signal generator* digunakan sebagai pengganti sumber suara. Suara yang dihasilkan dari *signal generator* kemudian difokuskan dengaan memanfaatkan tabung resonansi untuk selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik dengan piezoelektrik.

2.3. Piezoelektrisitas

Piezoelektrisitas adalah sebuah fenomena saat sebuah gaya yang diterapkan pada suatu bahan menimbulkan muatan listrik pada permukaan bahan tersebut yang disebabkan oleh adanya distribusi muatan listrik pada sel-sel kristal. Nilai koefisien muatan piezoelektrik berada pada rentang 1–100 pico coloumb/Newton.

Piezoelectric berasal dari bahasa Yunani, yaitu *piezo* yang berarti tekanan dan *electric* yang berarti listrik. Material *Piezoelectric* pertama kali ditemukan pada tahun 1880 oleh Jacques dan Pierre Curie. Jacques dan Pierre Curie mengombinasikan pengetahuan akan piroelektrisitas (kemampuan bahan-bahan tertentu untuk menghasilkan sebuah potensial listrik saat bahan-bahan itu dipanaskan atau didinginkan) dengan pemahaman akan struktur dan perilaku sebuah kristal pada kristal turmalin, kuarsa, dan garam rossel. Dari uji coba tersebut diketahui bahwa kristal kuarsa dan garam rossel memperlihatkan kemampuan piezoelektrisitas paling besar saat itu [5]. Bahan piezoelektrik adalah suatu bahan yang apabila diberikan tekanan mekanik akan menghasilkan medan listrik, sebaliknya apabila medan listrik diterapkan pada bahan *piezoelectric* akan terjadi deformasi mekanik. Sifat yang *reversible* ini membuat material *Piezoelectric* dapat berfungsi sebagai transduser dan aktuator [6].

Adapun kelebihan dari *piezoelectric* adalah *piezoelectric* tidak memerlukan daya dari luar dan dapat digunakan pada perangkat yang berukuran kecil, sedangkan kelemahan

dari *piezoelectric* adalah adanya kebocoran muatan pada material *piezoelectric*, sehingga ada suatu konstanta waktu penyimpanan tegangan setelah diberikan gaya [7].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data *Baseline*

Untuk merancang sistem konversi energi suara kebisingan menjadi energi listrik, dilakukan pengambilan data *baseline* di beberapa area jalan dan pabrik. Adapun hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Ruas Jalan: Kawasan Perumahan Banjar Wijaya Tangerang
   Hasil yang diperoleh:
   a. Rata-Rata Kebisingan Suara sekitar 87 dB
   b. Frekuensi berkisar antara 50-500 Hz
   c. Lokasi jalan jarang dilalui kendaraan bermotor.
   Jalan Daan Mogot
   Hasil yang diperoleh:
   a. Rata-Rata Kebisingan Suara sekitar 90 dB
   b. Frekuensi berkisar antara 50-100 Hz
   c. Lokasi jalan cukup banyak dilalui kendaraan bermotor sebagai jalan utama
2. Pabrik: PT Karilla Berkat Abadi, Berlokasi di Jl. Quary D. No. 38 RT. 05 RW. 01 Kp. Lulut, Desa Lulut, Kec. Klapanunggal, Kab. Bogor. Konsentrasi Produk: Katup Tabung LPG dan Katup Tabung Baja LPG
   Kesimpulan dari hasil pengambilan data di PT Karilla Berkat Abadi:
   a. Rata-rata kebisingan suara sekitar 100 dB
   b. Frekuensi berkisar antara 5-10 kHz
   PT Indodaya Cipta Lestari; Lokasi: Jl. Nusa Indah No. 62/63, Kapuk, Cengkareng, Kota Jakarta Barat, DKI Jakarta. Konsentrasi Produk: Trafo (*Transformator*) dan *Power Supply*

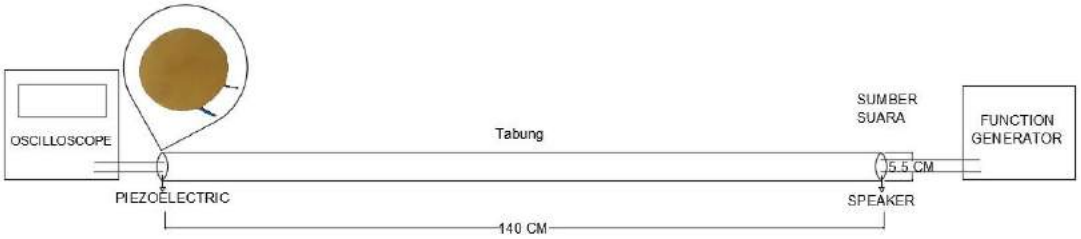
3.2 Hasil Pengamatan

Berdasarkan data *baseline* yang telah diperoleh, dilakukan pengukuran dengan menggunakan *signal generator* sebagai sumber suara, tabung resonansi untuk memfokuskan suara yang akan dikonversi, piezoelektrik sebagai *transducer* pengubah energi getaran suara menjadi energi listrik. Adapun pengukuran dilakukan dengan beberapa kondisi yang berbeda.

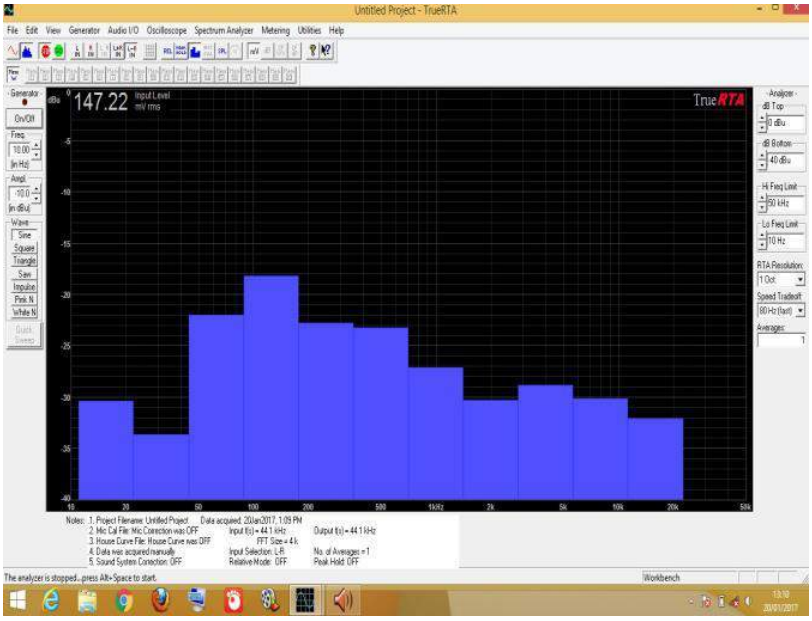
1. Kondisi I: Sumber suara sejauh 2,5 cm dari ujung tabung yang diamati, Panjang tabung 0,99 m dengan diameter 5,5 cm
2. Kondisi II: Sumber suara sejauh 2 cm dari ujung tabung yang diamati, Panjang tabung 1,40 m dengan diameter 4 cm
3. Kondisi III: Sumber suara sejauh 14 cm dari ujung tabung yang diamati, Panjang tabung 0,99 m dengan diameter 5,5 cm
4. Kondisi IV: Sumber suara diletakkan 14 cm dari ujung tabung yang diamati, Panjang tabung adalah 1,40 m dan mempunyai diameter 4 cm

Berdasarkan hasil pengukuran yang sudah dilakukan, dapat dirangkum dalam Gambar 7 – 10. Dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa nilai frekuensi yang dihasilkan akan berada pada kisaran tertentu, dan nilai tertinggi selalu berkisar diantara

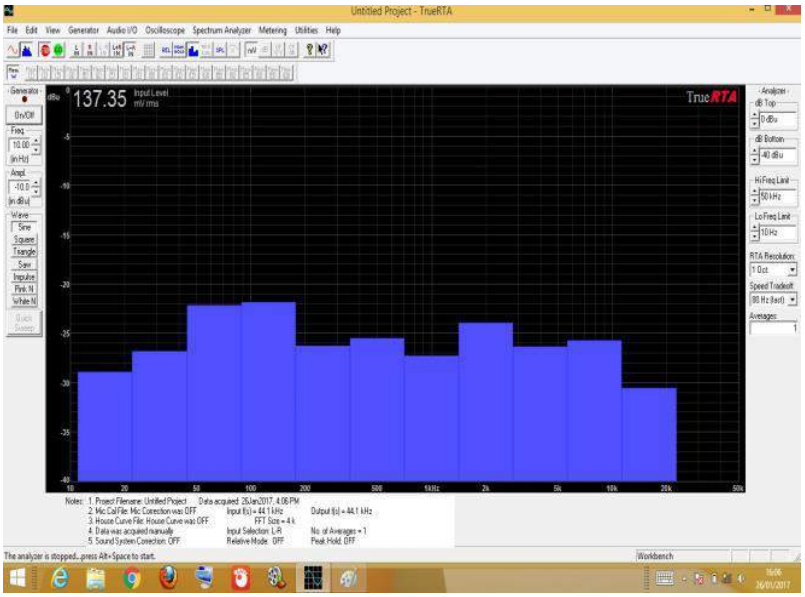
760-780 Hz. Semakin dekat sumber suara, resonansi semakin sering terjadi dan tegangan yang dihasilkan *Piezoelectric Transducers* semakin besar. Semakin panjang tabung yang digunakan, semakin rendah frekuensi yang dihasilkan



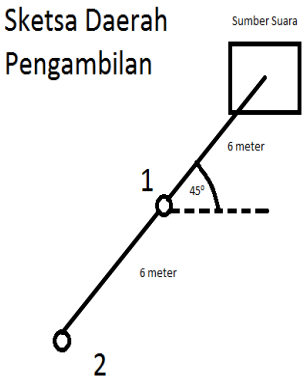
Gambar 2. Rancang bangun *Piezoelectric*



Gambar 3. Hasil pengukuran di Kawasan Perumahan Banjar Wijaya, Tangerang



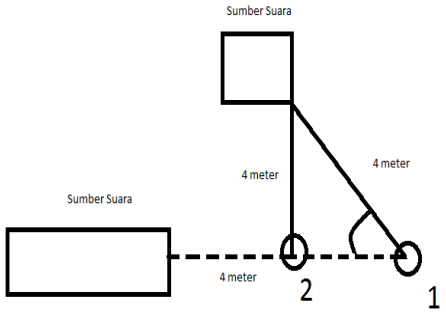
Gambar 4. Hasil pengukuran di Jalan Daan Mogot



Gambar 5. Titik pengambilan data

Tabel 2. Hasil pengamatan di PT Karilla Berkat Abadi

Pengamatan ke-	Hasil Posisi 1	Hasil Posisi 2
Satu	101,9 dB	97,7 dB
Dua	101,9 dB	98,1 dB
Tiga	101,5 dB	102,3 dB
Empat	102,0 dB	101,2 dB
Lima	102,2 dB	101,1 dB



Gambar 6. Titik pengambilan data

Tabel 3. Hasil pengamatan di PT Indodaya Cipta Lestari

Pengamatan ke-	Hasil Posisi 1	Hasil Posisi 2
Satu	97,9 dB	99,7 dB
Dua	98,3 dB	100,4 dB
Tiga	99,0 dB	99,9 dB
Empat	98,6 dB	100,1 dB
Lima	99,1 dB	100,0 dB

Tabel 4. Hasil pengamatan untuk Kondisi I

	Frekuensi									
	254,1 Hz	323,8 Hz	432,1 Hz	608,2 Hz	768,3 Hz	934,3 Hz	1,10 kHz	1,42 kHz	1,77 kHz	2,57 kHz
Vpeak to peak	14,2 mV	16,8 mV	32,8 mV	22,4 mV	272 mV	89,6 mV	42,4 mV	24,0 mV	21,2 mV	40,6 mV

Tabel 5. Hasil pengamatan untuk Kondisi II

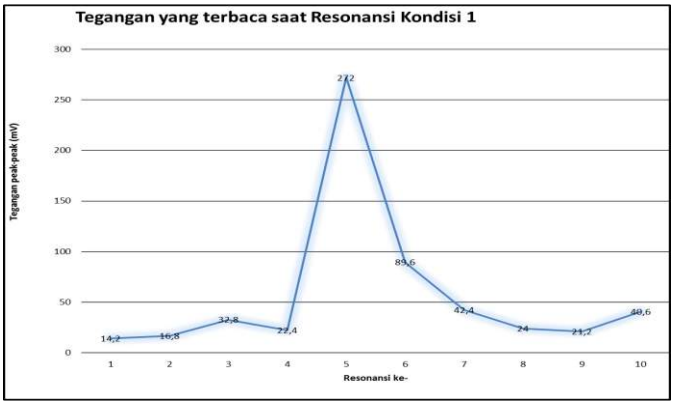
	Frekuensi									
	227,3 Hz	426,4 Hz	561,6 Hz	783,1 Hz	906,3 Hz	1,02 kHz	1,14 kHz	1,56 kHz	2,42 kHz	2,65 kHz
Vpeak to peak	12,8 mV	29,2 mV	36,4 mV	230,4 mV	62,4 mV	24,0 mV	17,6 mV	12,0 mV	17,2 mV	38,4 mV

Tabel 6. Hasil pengamatan untuk Kondisi III

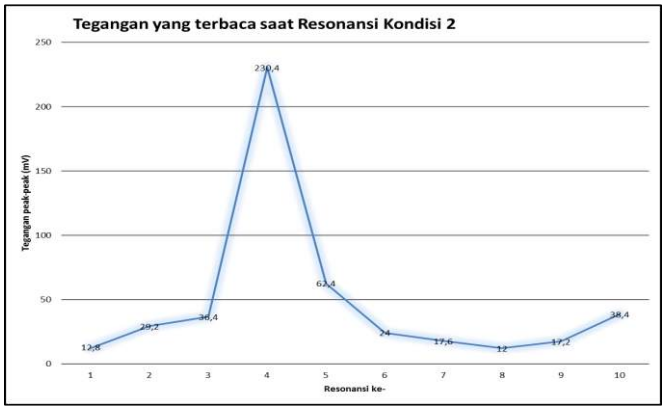
	Frekuensi				
	618,3 Hz	785,8 Hz	954,2 Hz	1,12 kHz	1,41 kHz
Vpeak to peak	9,0 mV	40 mV	18,4 mV	17,0 mV	8,8 mV

Tabel 7. Hasil pengamatan untuk Kondisi IV

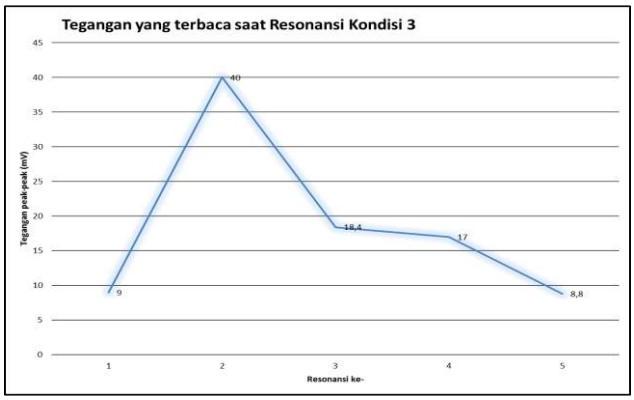
	Frekuensi				
	784,8 Hz	950,3 Hz	1,18 kHz	1,68 kHz	2,61 kHz
Vpeak to peak	33,6 mV	11,6 mV	7,2 mV	11,4 mV	20,6 mV



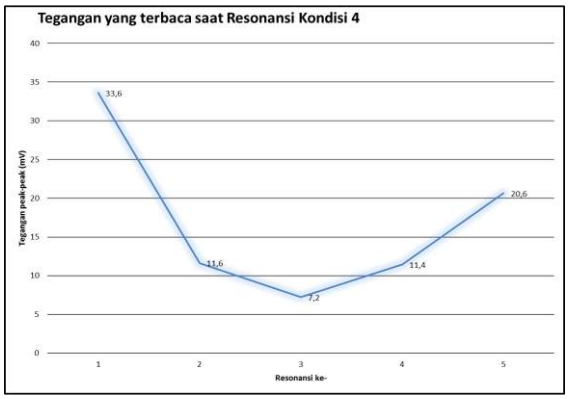
Gambar 7. Grafik hasil pengukuran Vpp untuk kondisi I



Gambar 8. Grafik hasil pengukuran Vpp untuk kondisi II



Gambar 9. Grafik hasil pengukuran Vpp untuk kondisi III



Gambar 10. Grafik hasil pengukuran Vpp untuk kondisi IV

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisisnya, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengukuran data *baseline*, untuk area jalan raya, intensitas suara antara 87-90 dB sedangkan untuk area pabrik, intensitas suara 97-101 dB
2. Tegangan keluaran *Piezoelectric Transducers* akan semakin besar apabila sumber suara semakin dekat dengan ujung tabung.
3. Nilai frekuensi saat terjadi resonansi berkisar di antara 760 – 780 Hz, dan berbanding terbalik dengan panjang tabung yang dipakai.
4. Energi suara memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif yang terbarukan
5. Posisi alat terhadap sumber suara menentukan besaran energi listrik yang dihasilkan

Daftar Pustaka

[1]. Kementerian ESDM RI, "Peluang Menawan Bisnis Energi Terbarukan di Indonesia", *Kompasiana*, 2017.

[2]. Schaijk, Van, Elfrink, Kamel, Goedbloed, "Piezoelectric AIN Energy Harvesters for Wireless Autonomous Transducer Solutions", *IEEE Sensors Conference*, 2008.

[3]. Cha, Seung Nam, Ju-Seok Seo, Seong Min Kim, Hyun Jin Kim, Young Jun Park, Sang-Woo Kim, Jong Min Kim, "Sound-Driven Piezoelectric Nanowire-Based Nanogenerators", *Advanced Materials*, pp. 4726-4730, 2010.

[4]. Gupta, Alankrit, Vivek Goel, Vivek Yadav, "Conversion of Sound to Electric Energy", *International Journal of Scientific and Engineering Research*, Vol. 05 Issue 1, January 2014.

[5]. Saadon, Salem, Othman, "A Review of Vibration-Based MEMS Piezoelectric Energy Harvesters", *Energy Conversion and Management*, Vol. 52 Issue 1, pp. 500-504, January 2011.

[6]. Kim, Heung Soo, Joo-Hyong Kim, Jaehwan Kim, "A Review of Piezoelectric Energy Harvesting Based on Vibration", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 12 No. 8, pp. 1129-1141, 2011.

[7]. Minazara, Vasic, Costa, Poulin, "Piezoelectric Diaphragm for Vibration Energy Harvesting", *Ultrasonics*, Vol. 22, pp. e609–e703, December 2006.

Penyimpanan Energi Listrik Dalam Bentuk Hidrogen Melalui Proses Hidrolisis Larutan Kalium Hidroksida

Agus Budianto[1*], Iwan Ilhamsyah[2], Iman Akbar[3]

Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

e-mail : budichemical@itats.ac.id[*]

ABSTRACT

The search for new and renewable energy continues to be carried out to replace the fossil energy. One of the points of interest is the hydrogen energy from water or solution. The electrolysis method converts electrical energy into hydrogen energy which is easy to store and distribute. This research aims to determine the effect of the clamp voltage and electric current and the surface area of the electrode on the flow rate of hydrogen gas production. Research shows that changes in the voltage, electric current and surface area of the conversion of electrical energy to hydrogen by electrolysis can increase the flow rate of hydrogen products. Increasing the voltage from 9 volts to 15 volts at 1.2 Ampere electric current increases the flow rate of hydrogen gas products by 16.8% to 11.8 ml/min.

Keywords*: Energy, Fossil, Hydrogen, flow rate, Renewable*

ABSTRAK

Pencarian energi baru dan terbarukan terus dilakukan untuk mengganti energi fosil. Salah satu energi yang menarik adalah energi hidrogen dari air atau larutan. Metode elektrolisis untuk mengubah energi listrik diubah menjadi energi hidrogen yang mudah disimpan dan didistribusikan. Penelitian bertujuan untuk mendapatkan pengaruh tegangan jepit dan arus listrik serta luas permukaan elektrode terhadap laju alir produksi gas Hidrogen. Penelitian menunjukkan bahwa perubahan tegangan jepit, arus listrik dan luas permukaan pada konversi energi listrik menjadi hidrogen dengan metode elektrolisis dapat meningkatkan laju alir produk hidrogen. Peningkatan tegangan 9 volt menjadi 15 volt pada arus listrik 1,2 Ampere meningkatkan laju alir produk gas hidrogen sebesar 16,8% menjadi 11,8 ml/min.

Kata kunci : Energi, Fosil, Hidrogen, laju alir, Terbarukan.

PENDAHULUAN

Bahan bakar di dunia saat ini umumnya menggunakan bahan bakar dari fosil dan penggunaannya semakin meningkat setiap tahun. Sedangkan bahan bakar fosil di dunia telah menipis dan bersifat *non renewable* [1]–[6]. Banyak penelitian tentang energi baru terbarukan untuk mengatasi ketergantungan dengan energi Fosil. Seperti penelitian tentang pembuatan biofuel dari berbagai minyak nyamplung [5]–[8], CPO dan RBD palm oil [9]–[11], minyak kemiri [5], [12], minyak bintaro [12], [13], minyak kelapa [14]–[16], minyak kemiri sunan [5], PFAD [17]–[19], stearin [20], [21], minyak jarak [22], pelastik bekas [23] dan minyak goreng bekas [24], [25] . Namun demikian penggunaan bahan bakar dri minyak tumbuhan tersebut masih harus dilengkapi dengan sumber energi lain seperti Energi Hidrogen.

Hidrogen merupakan bahan bakar paling bersih. Hasil pembakaran tidak mengandung emisi karbon dan emisi SOx dan NOx . Pembakaran hidrogen menghasilkan energi dengan emisi uap air. Pembakaran gas hidrogen membentuk uap air menghasilkan energi 13.434 MJ/kg uap air. Energi yang luar biasa besar. Selain dapat diproduksi dari biomassa, gas alam, reaksi antara basa atau asam dengan logam hidrogen. Penggunaan biomassa sebagai bahan baku sangat menarik namun prosesnya sangat panjang dan *yield* yang rendah sedangkan penggunaan bahan baku gas alam bukan merupakan energi terbarukan karena berasal dari fosil. Penggunaan metode elektrolisis menarik karena dapat mengubah energi listrik dari energi matahari menjadi energi hidrogen yang mudah untuk disimpan dan dipindahkan.

Permasalahan yang paling sering muncul dalam membentuk hidrogen menggunakan metode hidrolisis adalah kecilnya efisiensi, jenis larutan yang paling efektif, jenis katode dan anode yang digunakan dan tegangan dan arus yang paling tepat. Penelitian untuk mengetahui pengaruh arus, dan tegangan terhadap laju alir hidrogen sangat menarik untuk dilakukan.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian tentang produksi hidrogen dengan bahan baku air air laut dengan kondisi operasi normal, elektrolisis sel berperilaku menghasilkan H_2/Cl_2 dari pada H_2/O_2. Laju produksi hidrogen dan evaluasi klorin. Salah satu hasil penelitian tersebut dengan larutan klorida dengan konsentrasi dalam kisaran 4,48-62,70 gm/lt [26]. *Review* Elektrolisis Air basa, PEM Water Elektrolisis dan Air Suhu Tinggi untuk produksi hidrogen. Efisiensi yang lebih rendah adalah salah satu yang terbaik telah dilakukan. Upaya pengembangan dan penelitian diperlukan untuk mengatasinya kerugian seperti konsumsi energi, biaya dan perawatan, daya tahan, keandalan dan keamanan. Analisis termodinamika menunjukkan kebutuhan energi secara teori dan aktual, resistensi yang ditawarkan oleh sistem dan juga membahas efisiensi yang berbeda, parameter ini akan membantu untuk mengidentifikasi masalah utama untuk perbaikan. Ketahanan elektrolisis untuk mengurangi elektrode tegangan permukaan, modifikasi profil permukaan elektrode dan pelapis permukaan, dan yang lebih penting, mengelola gas resistensi gelembung [27].

Perilaku sel elektrolisis air dengan elektrode *stainless steel* juga telah diteliti dengan bahan baku akuades, air sumur dan larutan soda. Penelitian dengan waktu 900 detik dengan tegangan 12 V, temperatur dan pH diamati selama proses elektrolisis. Hasil penelitian menunjukkan periaku yang berbeda beda karena perbedaan jenis dan kuantitas material yang terlibat dalam elektrolisis. [28]. Penelitian tentang analisis laju alir gas hidrogen dan gas oksigen pada elektrolisis larutan kalium hidroksida juga telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi larutan kalium hidroksida dapat menurunkan hambatan larutan. Peningkatan konsentrasi larutan kalium hidroksida juga dapat meningkatkan produksi gas hidrogen dan oksigen [29]. Penelitian lain meneliti tentang penggunaan elektrolisis plasma air laut dengan aditif kalium hidroksida dan etanol. Penelitian mempelajari pengaruh konsentrasi aditif dan tegangan terhadap laju alir hidrogen. Hasil penelitian menunjukkan tegangan terbaik 225 volt dengan penggunaan 15% etanol dan 75 g kalium hidroksida dengan laju alir hidrogen 149,43 ml/s [30].

METODE PENELITIAN

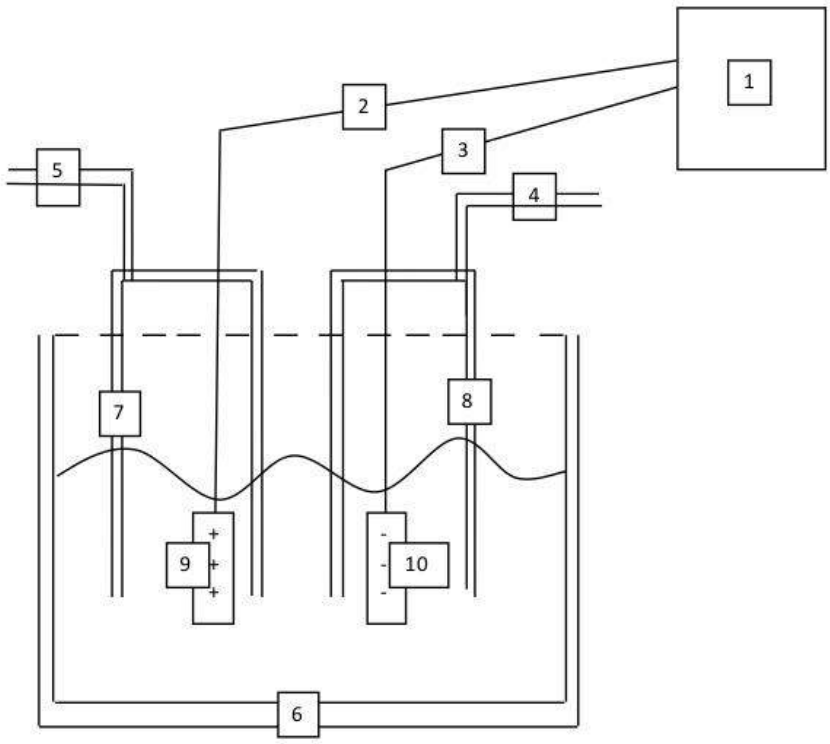
Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan kalium hidroksida, akuades dan larutan detergent.

Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *power supply*, alat elektrolisis, *avometer*, kabel, selang, tabung, grafit.

ISSN (print) : 2686-0023
ISSN (online) : 2685-6875



Gambar 1 Rangkaian Peralatan hidrolisis air membentuk hidrogen

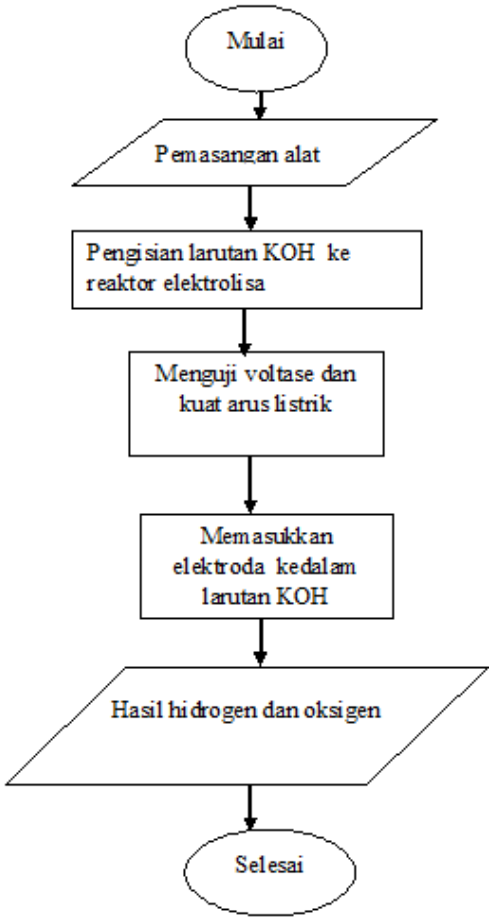
Keterangan gambar :

1. *Power Supply*
2. Kabel anode
3. Kabel katode
4. Selang keluar hidrogen
5. Selang keluar oksigen
6. Alat elektrolisis
7. Tabung isi oksigen
8. Tabung isi hidrogen
9. Anode
10. Katode

Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengalirkan arus listrik searah pada kedua elektrode yang telah dicelupkan ke dalam larutan kalium hidroksida. Voltase diset sesuai variabel yang diinginkan, arus listrik juga diatur sesuai variabel. Amperemeter dan voltmeter dipasang sedemikian rupa sehingga kondisi operasi dapat dicatat. Ketika arus listrik mengalir maka stop *watch* mulai dijalankan. Reaksi akan terjadi dua reaksi di katode dan anode. Produk hidrogen dialirkan melalui pipa yang tersedia, produk dilanjutkan menuju tangki penyimpan. Data hasil percobaan berupa voltase, kuat arus dan volume hidrogen serta waktu. Percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa cepat hidrogen yang terbentuk dengan perubahan arus, tegangan

Alur Penelitian



Gambar 2. Alur Pembuatan Hidrogen dari *Power Supply* dengan metode elektrolisis

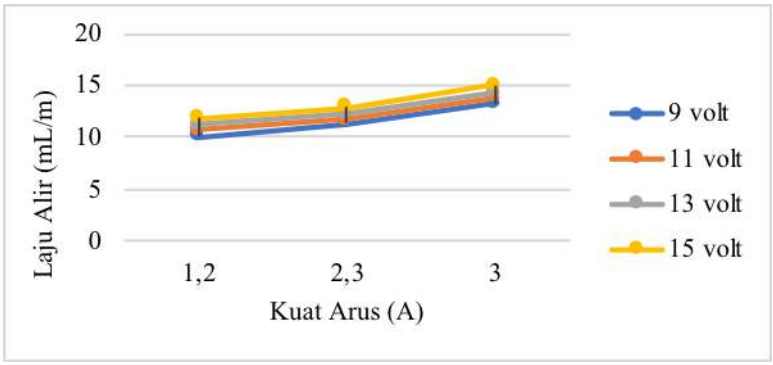
HASIL DAN ANALISA

Pada penelitian ini telah di lakukan pembuatan hidrogen dengan metode elektrolisis dari larutan kalium hidroksida yang konsentrasi sebesar 5% sebanyak 5 liter yang menggunakan alat elektrolisis selama 30 menit. Elektrode yang digunakan adalah batu grafit yang cukup baik sebagai penghantar listrik dengan harga yang terjangkau dibandingkan dengan penghantar listrik seperti platina, perak, raksa yang digunakan oleh Arbie Marwan dkk (2010).

Pengaruh Kuat Arus Listrik Terhadap Laju Alir Hidrogen

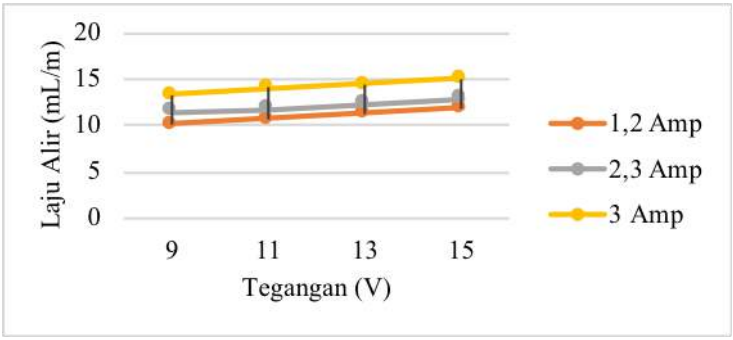
Gambar 3 menunjukkan laju alir hidrogen pada berbagai kuat arus dan tegangan pada proses hidrolisis larutan kalium hidroksida. Peningkatan kuat arus meningkatkan laju alir hidrogen demikian juga peningkatan tegangan. Pada kuat arus menjadi 3 ampere maka laju alir akan naik dan hasil yang didapat adalah 13,97mL/m. Hal ini terjadi karena jumlah arus listrik berbanding lurus dengan reaksi elektrolisis. Hanya dengan tegangan 9 volt atau 1/25 dari 225 menghasilkan laju alir yang lebih kecil dibandingkan penelitian elektrolisis plasma [30].

ISSN (print) : 2686-0023
ISSN (online) : 2685-6875



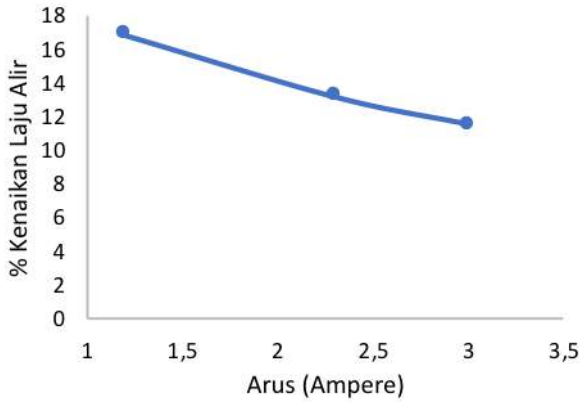
Gambar 3. Pengaruh Kuat Arus terhadap Laju Alir Hidrogen pada proses elektrolisis larutan kalium hidroksida

Pengaruh Tegangan Listrik Terhadap Laju Alir Hidrogen



Gambar 4. Pengaruh Tegangan jepit terhadap Laju Alir Hidrogen pada proses elektrolisis larutan kalium hidroksida

Gambar 4. Menujukkan pengaruh tegangan jepit terhadap laju alir hidrogen pada proses elektrolisis larutan kalium hidroksida. Laju alir hidrogen berkisar pada 11,1 – 15,0 mL/mnt. Kenaikan tegangan sebesar 66,67 % terhadap arus listrik yang tetap 1,2 A, 2,3 A dan 3 A meningkatkan produksi gas hydrogen secara berurutan 16,8, 13,8 dan 11,5% seperti terlihat pada Gambar 5. :



Gambar 5. Pegaruh kenaikan tegangan 66% dari 9 Volt terhadap % kenaikan laju alir gas Hidrogen.

Hal ini menunjukkan kenakan tegangan dapat meningkatkan produk hydrogen tetapi kenaikan yang tinggi menurunkan % peningkatan produknya. Sehingga penggunaan tegangan yang rendah memiliki kelebihan dibandingkan tegangan tinggi. Hal ini dapat dijelaskan adanya tegangan lebih yang akan meningkatkan kehilangan energi dalam proses hidrolisis ini.

KESIMPULAN

Kadar hidrogen dari proses elektrolisis dari larutan KOH menggunakan metode elektrolisis menunjukkan pada tegangan 9 volt dan perubahan kuat arus sebesar 1,2A; 2,3A; 3A didapatkan nilai laju alir berturut-urut adalah 10,10mL/m, 11.40mL/m, 13.27mL/m. pada tegangan 15 volt dan perubahan arus 1,2A; 2,3A; 3A didapat nilai laju alir 11.80mL/m, 12.90mL/m, 15.00mL/m. Bertambahnya luas penampang elektroda menghasilkan kuat arus yang naik juga pada gambar 4.1 dan 4.3 dapat dilihat bahwa perbandingan kenaikan grafik sama.

DAFTAR PUSTAKA

[1] I. G. A. A. Parahita, Y. W. Mirzayanti, I. Gunardi, A. Roesyadi, and D. H. Prajitno, "Production of Biofuel via Catalytic Hydrocracking of Kapuk (Ceiba pentandra) Seed Oil with NiMo/HZSM-5 Catalyst," *MATEC Web Conf.*, vol. 156, p. 06001, 2018.

[2] A. Budianto, D. H. Prajitno, A. Roesyadi, and K. Budhikarjono, "Hzsm-5 catalyst for cracking palm oil to biodiesel: A comparative study with and without pt and pd impregnation," *Sci. Study Res. Chem. Chem. Eng. Biotechnol. Food Ind.*, vol. 15, no. 1, pp. 81–90, 2014.

[3] Y. W. Mirzayanti, F. Kurniawansyah, D. H. Prajitno, and A. Roesyadi, "Zn-Mo/HZSM-5 catalyst for gasoil range hydrocarbon production by catalytic hydrocracking of ceiba pentandra oil," *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 13, no. 1, pp. 136–143, 2018.

[4] Y. Putrasari, A. Praptijanto, W. B. Santoso, and O. Lim, "Resources, policy, and research activities of biofuel in Indonesia: A review," *Energy Reports*, vol. 2, pp. 237–245, 2016.

[5] A. Budianto, D. H. Prajitno, and K. Budhikarjono, "Biofuel production from candlenut oil using catalytic cracking process with Zn/HZSM-5 catalyst," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 9, no. 11, pp. 2121–2124, 2014.

[6] A. Budianto, W. S. Pambudi, S. Sumari, and A. Yulianto, "PID control design for biofuel furnace using arduino," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 16, no. 6, 2018.

[7] B. Agus, S. Sumari, P. Wahyu Setyo, and Wahyudi, "Production of Various Chemicals from Nyamplung Oil with Catalytic Cracking Process," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 11, no. 37, pp. 1–7, 2018.

[8] A. Budianto, S. Sumari, and K. Udyani, "Biofuel production from nyamplung oil using catalytic cracking process with Zn-HZSM-5/γ alumina catalyst," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 22, pp. 10317–10323, 2015.

[9] N. P. Asri *et al.*, "Transesterification of Vegetables Oil Using Suband Supercritical Methanol," *Reaktor*, vol. 14, no. 2, p. 123, 2012.

[10] A. Roesyadi, D. Hariprajitno, N. Nurjannah, and S. D. Savitri, "HZSM-5 catalyst for cracking palm oil to gasoline: A comparative study with and without impregnation," *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 7, no. 3, pp. 185–190, 2013.

[11] M. A. Tadda *et al.*, "A review on activated carbon: process, application and prospects," *J. Adv. Civ. Eng. Pract. Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 7–13, 2016.

[12] L. Marlinda, "Rekayasa Katalis Double Promotor Berbasis Hierarchical H-ZSM-5 untuk Memproduksi Biofuel dari Minyak Nabati," p. 152, 2017.

[13] Khairil *et al.*, " The potential biodiesel production from Cerbera odollam oil (Bintaro) in Aceh ," *MATEC Web Conf.*, vol. 159, p. 01034, 2018.

[14] M. Chinnamma *et al.*, "Production of coconut methyl ester (CME) and glycerol from coconut (Cocos nucifera) oil and the functional feasibility of CME as biofuel in diesel engine," *Fuel*, vol. 140, pp. 4–9, 2015.
[15] A. Bouaid, H. Acherki, A. García, M. Martinez, and J. Aracil, "Enzymatic butanolysis of coconut oil. Biorefinery approach," *Fuel*, vol. 209, pp. 141–149, 2017.
[16] V. Vara Prasad, "Performance of 4 Stroke Diesel Engine Using Coconut Oil As Biofuel Material," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 4, pp. 5312–5319, 2017.
[17] M. Y. Annur, Y. Yelmida, and Z. Zultiniar, "Perengkahan Katalitik Palm Fatty Acid Distillate Menjadi Biofuel Menggunakan katalis Natrium Karbonat dengan variasi Temperatur dan Konsentrasi katalis Natrium Karbonat," *J. Online Mhs. Fak. Tek. Univ. Riau*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2015.
[18] D. S. Hajj, D. A. Rp, and A. Budianto, "Pembuatan Biofuel dengan Proses Perengkahan dari Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menggunakan Katalis CaO," pp. 607–614.
[19] B. Blesvid, Yelmida, and Zultinar, "Perengkahan Katalitik Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menjadi Biofuel Dengan Katalis Abu TKS Variasi Temperatur dan Berat Katalis," *J. Rekayasa Kim. dan Lingkung.*, vol. vol 10 No, pp. 1–6, 2013.
[20] A. Budianto, S. Sumari, W. S. Pambudi, and N. Andriani, "Uji Coba Produksi Biofuel dari RBD Stearin dalam Reaktor Fixed Bed dengan Metode Cracking," in *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, 2019, pp. 735–740.
[21] R. Tambun, R. P. Saptawaldi, M. A. Nasution, and O. N. Gusti, "Pembuatan Biofuel dari Palm Stearin dengan Proses Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis ZSM-5," *J. Rekayasa Kim. Lingkung.*, vol. 11, no. 1, p. 46, 2016.
[22] A. Santoso, Sumari, D. Sukarianingsih, and R. M. Sari, "Optimization of Synthesis of Biodiesel from Jatropha curcas L. with Heterogeneous Catalyst of CaO and MgO by Transesterification Reaction Using Microwave," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1093, no. 1, 2018.
[23] A. Budianto, "Pirolisiss Botol Plastik Bekas Minuman Air Mnieral Jenis Pet Menjadi Fuel," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. V*, pp. 201–206, 2017.
[24] M. A. Hazzamy and I. Zahrina, "Pembuatan Biofuel dari Minyak Goreng Bekas Melalui Proses Catalytic Cracking dengan Katalis Fly Ash," 2013.
[25] A. Prihanto and T. A. B. Irawan, "Pengaruh Temperatur, Konsentrasi Katalis Dan Rasio Molar Metanol-Minyak Terhadap Yield Biodisel Dari Minyak Goreng Bekas Melalui Proses Netralisasi-Transesterifikasi," *Metana*, vol. 13, no. 1, p. 30, 2018.
[26] K. M. Zohdy and M. A. Kareem, "Hydrogen Production Using Sea Water Electrolysis," *Hydrog. Prod. Using Sea Water Electrolysis*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2010.
[27] M. M. Rashid, M. K. Al Mesfer, H. Naseem, and M. Danish, "Hydrogen Production by Water Electrolysis: A Review of Alkaline Water Electrolysis, PEM Water Electrolysis and High Temperature Water Electrolysis," *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, no. 3, pp. 2249–8958, 2015.
[28] I. Supiah, "Perilaku sel elektrolisis air dengan elektroda stainless steel," *Pros. Semin. Nas. Kim. Dan Pendidik. Kim.*, vol. 03, no. 02, pp. 1–9, 2010.
[29] A. M. Putra, "Analisis Produktifitas Gas Hidrogen Dan Gas Oksigen Pada Elektrolisis Larutan Koh," *J. Neutrino*, vol. 2, no. 2, pp. 141–154, 2012.
[30] Muthaharussayidun, S. Anis, and A. Widya, "UJI PRODUKSI GAS HIDROGEN MELALUI ELEKTROLISIS PLASMA AIR LAUT," pp. 10–16, 2014.

ISSN (print) : 2686-0023
ISSN (online) : 2685-6875

JURNAL ILMIAH SEMESTA TEKNIKA
Vol. 13, No. 2, 155-164, November 2010

Peran Sumber Energi Terbarukan dalam Penyediaan Energi Listrik dan Penurunan Emisi CO_2 di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta

(The Role of Renewable Energy Sources in Electrical Energy Supply and CO_2 Emission Reduction in Yogyakarta Province)

RAHMAT ADIPRASETYA AL HASIBI

ABSTRACT

Electrical energy modelling involving renewable energy was produce using LEAP software. The model is based on electrical energy demand, renewable energy potential, and development planning in Yogyakarta Province. Renewable energy sources that have been simulated in this model are solar energy, wind energy, and micro hydro energy. The model describes the role of renewable energy in producing electrical energy to supply electrical energy demand in Yogyakarta Province. Furthermore, the role of renewable energy in CO_2 emission reduction has also been simulated by the model. By optimal development, renewble energy gives 11,86 % share of electrictiy demand and reduce CO_2 emission by 11,62%.

Keywords: energy model, renewable energy, CO_2 emission, LEAP software

PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan energi dan semakin tingginya perhatian publik terhadap perlindungan lingkungan mengarahkan pada pembangkitan energi listrik dengan *green technology*. Teknologi *photovoltaic* (PV) merupakan teknologi yang dapat langsung digunakan untuk mengubah energi matahari langsung menjadi energi listrik. Teknologi PV memiliki emisi CO_2 yang rendah dan struktur modular yang fleksibel (Moorthy et al, 2008). Teknologi pembangkitan energi listrik lainnya dengan emisi CO_2 yang rendah adalah teknologi *micro hydro* dan teknologi turbin angin. Emisi CO_2 yang dihasilkan dari kedua teknologi ini adalah 15 x 10^{-6} tCO_2/kWh dan 21 x 10^{-6} tCO_2/kWh (Lenzen, 2008).

Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan provinsi tanpa sumber energi listrik dengan sistem pembangkit listrik konvensional. Di Provinsi DIY tidak ada pembangkit listrik skala kecil, menengah dan besar yang digunakan untuk penyediaan kebutuhan energi listrik. Kebutuhan energi listrik di DIY disuplai dari luar provinsi, yaitu dari pembangkit-pembangkit listrik yang berada di Jawa Tengah, Jawa Barat dan Jawa Timur melalui sistem interkoneksi Jawa-Madura-Bali (JAMALI).

Di lain pihak, Provinsi DIY memiliki potensi sumber-sumber energi terbarukan yang dapat dioptimalkan dalam penyediaan energi listrik. Potensi-potensi sumber energi terbarukan yang ada di Provinsi DIY antara lain adalah radiasi matahari, energi angin, dan *Micro Hydro Power Plant* (MHPP). Potensi radiasi matahari di Provinsi DIY adalah 4,8 kWh/m^2/hari. Kecepatan angin yang ada di sepanjang pantai Provinsi DIY adalah 4 s.d. 5 m/detik. Potensi keseluruhan MHPP yang ada di Provinsi DIY adalah 1.188,6 kw (Anonimus, 2008).

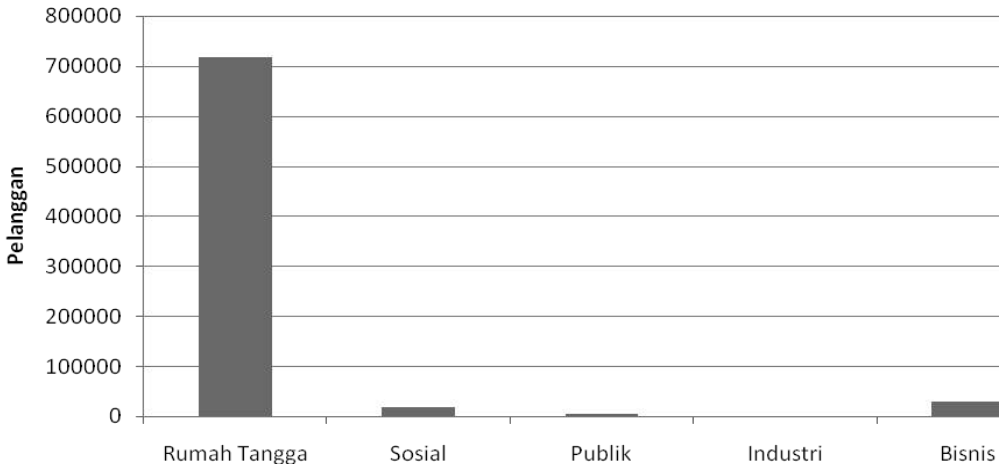
Sebuah model skenario pengembangan energi terbarukan sebagai penyediaan energi listrik dikembangkan dalam studi ini dengan menggunakan perangkat lunak *Longe-range Energy Alternative Planning* (LEAP). Dengan menggunakan LEAP, potensi energi terbarukan yang ada disimulasikan sebagai energi primer yang digunakan dalam pembangkitan energi listik di Provinsi DIY. Kontribusi energi terbarukan dalam penyediaan energi listrik dan perannya dalam menekan pertumbuhan emisi CO2 dijabarkan secara detail dari hasil simulasi LEAP.

PROFIL PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK

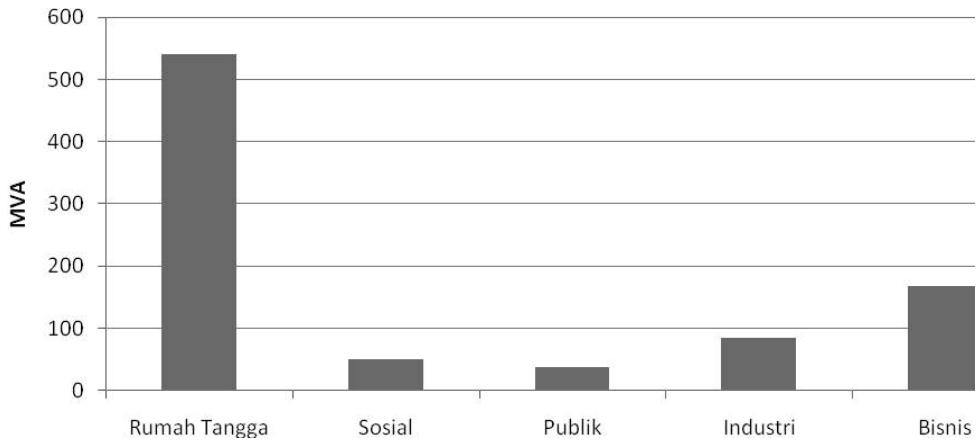
Berdasarkan data yang diperoleh dari statistik PLN tahun 2008, jumlah pelanggan listrik berdasarkan kelompok pelanggan dapat dilihat pada Gambar 1. Dari Gambar 1 terlihat bahwa pelanggan listrik di Provinsi DIY sangat didominasi oleh pelanggan dari kelompok rumah tangga, yaitu sebanyak 717.270 pelanggan. Pelanggan dari kelompok bisnis dan sosial berturut-turut adalah sebanyak 28.844 dan 18.941 pelanggan. Sektor publik memiliki jumlah pelanggan sebanyak 4.778. Kelompok pelanggan industri merupakan kelompok pelanggan dengan jumlah pelanggan paling sedikit, yaitu sebanyak 460 pelanggan (Anonimus, 2009).

Jumlah keluruhan daya tersambung di Provinsi DIY tahun 2008 adalah sebesar 882,48 MVA. Daya tersambung untuk masing-masing kelompok pelanggan diperlihatkan pada Gambar 2. Daya tersambung kelompok rumah tangga adalah sebesar 541,10 MVA, diikuti oleh kelompok bisnis, kelompok industri dan sosial berturut-turut adalah sebesar 167,57 MVA, 85,00 MVA dan 50,80 MVA (Anonimus, 2009).

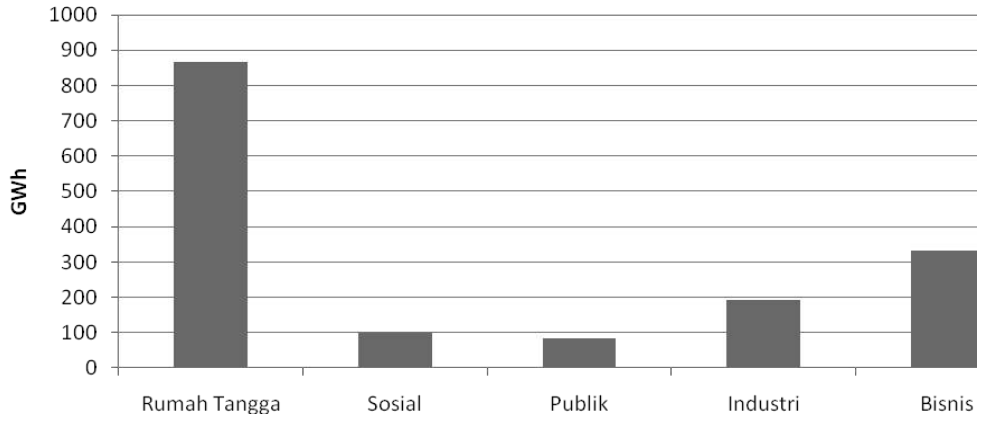
Penggunaan energi listrik untuk setiap kelompok pelanggan diperlihatkan pada Gambar 3. Kelompok rumah tangga merupakan kelompok pelanggan dengan penggunaan energi listrik terbesar di tahun 2008, yaitu sebesar 867,15 GWh. Kelompok bisnis dan industri menggunakan energi listrik pada tahun yang sama berturut-turut sebesar 333,75 GWh dan 193,21 GWh. Kelompok pelanggan sosial hanya menggunakan energi listrik sebesar 100,74 GWh di tahun 2008, sedangkan penggunaan energi listrik sektor publik sebesar 83,61 GWh (Anonimus, 2009).



GAMBAR 1. Jumlah pelanggan listrik berdasarkan kelompok pelanggan di Provinsi DIY tahun 2008



GAMBAR 2. Jumlah daya tersambung berdasarkan kelompok pelanggan di Provinsi DIY tahun 2008



GAMBAR 3. Jumlah energi yang terjual berdasarkan kelompok pelanggan di Provinsi DIY tahun 2008

KEADAAN DEMOGRAFI DAN EKONOMI

Dinamika sektor energi dalam hal *accessibility*, ketersediaan, dan *acceptability* dapat mempengaruhi pertumbuhan ekonomi dan sebaliknya. Sedangkan pertumbuhan ekonomi merupakan penggerak sektor energi yang memiliki tiga komponen penting, yaitu kecederungan demografi, kapasitas institusional, dan teknologi (Anonimus, 2003).

Dalam studi yang dilakukan, parameter penggerak sektor energi di Provinsi DIY adalah pertumbuhan penduduk. Parameter yang mewakili keadaan demografi adalah jumlah rumah tangga, sedangkan pertumbuhan ekonomi merupakan parameter yang mewaili keadaan perekonomian.

Keadaan Demografi

Berdasarkan data yang dipublikasikan oleh Biro Pusat Statistik (BPS) Provinsi DIY, jumlah penduduk di tahun 2008 adalah sebesar 3.468.502 orang dengan pertumbuhan penduduk sebesar 1,00 %. Pertumbuhan penduduk di tahun 2008 relatif lebih rendah jika dibanding dengan pertumbuhan penduduk di tahun 2007, yaitu sebesar 1,37 %. Jumlah penduduk untuk masing-masing kabupaten dan kota di Provinsi DIY dapat dilihat pada Tabel 1 (Anonimus, 2009).

Untuk menghasilkan model energi listrik yang lebih rinci, penduduk di Provinsi DIY dibagi menjadi 4 kelompok pendapatan untuk daerah pedesaan dan pekotaan. Pembagian kelompok bedasarkan pendapatan ini ditentukan berdasarkan Sensus Ekonomi Nasional (SUSENAS) tahun 2008. Jumlah penduduk di setiap kelompok pendapatan dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 1. Jumlah penduduk Provinsi DIY tahun 2008

No.	Kabupaten/Kota	Populasi
1.	Kulonprogo	374.783
2.	Bantul	909.812
3.	Gunungkidul	686.772
4.	Sleman	1.040.220
5.	Yogyakarta	456.915
	Total Provinsi DIY	3.468.502

TABEL 2. Jumlah penduduk berdasarkan kelompok pendapatan di Provinsi DIY tahun 2008

Desa

No.	Kelompok Pendapatan	Jumlah Penduduk
1.	Di bawah garis kemiskinan	183.776
2.	Di bawah 1,5 kali garis kemiskinan	341.064
3.	Menengah	471.061
4.	20% teratas	242.991
	Total	1.238.893

Kota

No.	Kelompok Pendapatan	Jumlah Penduduk
1.	Di bawah garis kemiskinan	211.204
2.	Di bawah 1,5 kali garis kemiskinan	283.954
3.	Menengah	1.290.877
4.	20% teratas	443.575
	Total	2.229.609

Dari Tabel 2 terlihat bahwa kelompok pendapatan menengah merupakan kelompok pendapatan dengan jumlah penduduk tertinggi, baik di pedesaan maupun di perkotaan.

Keadaan Ekonomi

Pada tahun 2008, pertumbuhan ekonomi di Provinsi DIY yang diwakili oleh indikator Pertumbuhan Domestik Regional Bruto (PDRB) adalah sebesar 5,02 %. Pertumbuhan di tahun 2008 ini lebih tinggi jika dibanding pertumbuhan di tahun 2007 yang mencapai 4,31 %. Sedangkan berdasarkan harga konstan, nilai PDRB di tahun 2008 mencapai Rp. 19.208.936 juta dengan PDRB perkapita mencapai Rp. 5,54 miliar. Nilai PDRB berdasarkan harga konstan untuk masing-masing sektor pengguna energi listrik dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

TABEL 3. Nilai PDRB sektor bisnis Provinsi DIY tahun 2008

No.	Sub-Sektor	PDRB (juta rupiah)
1.	Hotel dan Penginapan	342.329
2.	Perdangan Besar dan Eceran	1.693.640
3.	Rumah Makan	1.929.414
4.	Jasa Keuangan	1.790.556
5.	Jasa Hiburan	79.678
6.	Jasa Sosial	443.028
	Total	6.278.645

TABEL 4. Nilai PDRB sektor industri Provinsi DIY tahun 2008

No.	Sub-Sektor	PDRB (juta rupiah)
1.	Makanan	982.181
2.	Tekstil	525.873
3.	Kayu	342.350
4.	Kertas	141.035
5.	Kimia	121.038
6.	Non-logam	122.219
7.	Permesinan	211.422
8.	Lainnya	195.864
	Total	2.641.984

Tabel 3 berisi tentang nilai PDRB untuk sektor bisnis. Di dalam sektor komersial ini terdiri dari 6 sub-sektor. Di dalam struktur PDRB, jasa sosial merupakan bagian dari sektor bisnis. Total nilai PDRB sektor bisnis di tahun 2008 adalah sebesar Rp. 6.278.645 juta.

Pada Tabel 4 tampak bahwa sektor industri terdiri dari 8 sub-sektor. Total nilai PDRB sektor industri di tahun 2008 adalah sebesar Rp. 2.641.984 juta. Sub-sektor makanan sangat mendominasi struktur sektor industri. Subsektor ini berkontribusi sebesar 37,18% dari total nilai PDRB di sektor industri.

INTENSITAS PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK

Penyusunan model energi dengan LEAP menggunakan metode intensitas energi. Intensitas energi merupakan ukuran penggunaan energi terhadap sektor aktivitas. Nilai intensitas energi dihitung berdasarkan konsumsi energi listrik di setiap sektor (sub-sektor) dibagi dengan level aktivitas (Heaps, 2009).

Untuk sektor rumah tangga, level aktivitas diwakili oleh jumlah penduduk. Dengan demikian intensitas energi listrik di sektor rumah tangga merupakan penggunaan energi listrik per kapita per tahun. Untuk sektor bisnis dan sektor industri, level aktivitas diwakili oleh nilai PDRB. Dengan demikian intensitas energi listrik di sektor bisnis dan sektor industri merupakan penggunaan energi listrik per juta rupiah per tahun.

Perhitungan intensitas energi listrik di sektor rumah tangga didasarkan pada hasil SUSENAS tahun 2008. Intensitas energi listrik di sektor industri dihitung berdasarkan hasil Sensus Industri Tahunan tahun 2008, sedangkan intensitas di sektor bisnis dihitung berdasarkan hasil Survey Komersial Nasional yang disesuaikan dengan tingkat penyediaan energi listrik di sektor komersial. Hal ini disebabkan tidak adanya survey di sektor komersial yang dilakukan pada tingkat provinsi. Hasil perhitungan intesitas energi listrik untuk masing-masing sektor dapat dillihat di Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7.

SPESIFIKASI DAN ASUMSI-ASUMSI MODEL ENERGI

Spesifikasi Model Energi

Model energi yang dianalisis menggunakan tahun dasar 2008 dan tahun akhir simulasi di tahun 2025.

TABEL 5. Intensitas energi listrik sektor rumah tangga tahun 2008

Desa		
No.	Kelompok Pendapatan	Intensitas energi listrik (MWh/kapita/tahun)
1.	Di bawah garis kemiskinan	0,0764
2.	Di bawah 1,5 kali garis kemiskinan	0,1140
3.	Menengah	0,2070
4.	20% teratas	0,2737
Kota		
No.	Kelompok Pendapatan	Intensitas energi listrik (MWh/kapita/tahun)
1.	Di bawah garis kemiskinan	0,1880
2.	Di bawah 1,5 kali garis kemiskinan	0,2133
3.	Menengah	0,2584
4.	20% teratas	0,4877

TABEL 6. Intensitas energi listrik sektor bisnis tahun 2008

No.	Sub-Sektor	Intensitas energi listrik (MWh/juta rupiah/tahun)
1.	Hotel & Penginapan	0,2462
2.	Perdangan Besar dan Eceran	0,0554
3.	Rumah Makan	0,1268
4.	Jasa Keuangan	0,0135
5.	Jasa Hiburan	0,6219
6.	Jasa Sosial	0,0488

TABEL 7. Intensitas energi listrik sektor industri tahun 2008

No.	Sub-Sektor	Intensitas energi listrik (MWh/juta rupiah/tahun)
1.	Makanan	0,0277
2.	Tekstil	0,2066
3.	Kayu	0,0179
4.	Kertas	0,0219
5.	Kimia	0,0816
6.	Non-logam	0,0734
7.	Permesinan	0,1002
8.	Lainnya	0,0413

Penentuan dasar didasarkan pada ketersediaan data penggerak sektor energi, yaitu data tentang demografi dan ekonomi di Provinsi DIY, sedangkan tahun akhir simulasi ditentukan berdasarkan Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang menetapkan akhir tahun simulasi adalah tahun 2025.

Proyeksi penggunaan energi listrik dibagi berdasarkan sektor-sektor pengguna energi listrik yang terdiri dari 3 sektor, yaitu rumah tangga, bisnis, dan industri. Sektor sosial dan sektor publik dimasukkan sebagai sub-sektor di dalam sektor bisnis. Hal ini merupakan penyesuaian struktur PDRB terhadap struktur penyediaan energi listrik dari Perusahaan Lisrtik Negara (PLN).

Asumsi-Asumsi Model Energi

Model energi yang disusun terdiri dari dua buah skenario, yaitu skenario *Business as Ususal* (BAU) dan skenario Diversifikasi (DIV). Skenario BAU merupakan skenario yang didasarkan pada keadaan yang berlaku di tahun dasar simulasi dari segi pola konsumsi serta kebijakan-kebijakan pemerintah yang berkaitan dengan sektor energi. Di dalam skenario DIV, peran energi terbarukan dalam penyediaan energi listrik diikutsertakan dalam model energi.

1. Variabel penggerak

Pertumbuhan penduduk diasumsikan berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan oleh Badan Koordinasi Keluarga Berencana Nasional (BKKBN). Pertumbuhan penduduk di Provinsi DIY hasil perhitungan BKKBN dapat dilihat di Tabel 8.

TABEL 8. Asumsi pertumbuhan penduduk di Provinsi DIY

No.	Interval tahun	Pertumbuhan penduduk
1.	2010-2015	0,81%
2.	2015-2020	0,63%
3.	2020-2025	0,44%

Pertumbuhan PDRB di akhir tahun simulasi sebesar 6 %. Pertumbuhan PDRB ini didasarkan pada skenario optimis di dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan Daerah (RUKD) tahun 2003.

Selain paramater penggerak yang berupa pertumbuhan penduduk dan PDRB, rasio elektrifikasi juga merupakan parameter penggerak yang sangat menentukan konsumsi energi listrik. Rasio elektrifikasi diasumsikan mencapai 100 % di tahun 2020 sesuai dengan target PLN.

2. Kontribusi energi terbarukan

Skenario pengembangan energi terbarukan diutamakan pada potensi MHPP, energi angin, dan energi radiasi matahari. Berdasarkan *roadmap* di dalam Rencana Umum Energi Daerah (RUED) Provinsi DIY, pengembangan MHPP akan dimulai pada tahun 2010 secara bertahap dengan target maksimal seluruh potensi yang ada dapat digunakan sebagai MHPP .

Potensi energi angin yang potensial untuk dikembangkan adalah potensi energi angin yang terdapat di sepanjang pantai selatan. Potensi energi angin di sepanjang pantai selatan adalah sampai dengan 10 MW dan khusus di pantai Sundak, Srandakan, Baron, dan Samas potensi energi angin dapat mencapai 10 MW – 100 MW (Anonimus, 2009).

Pengembangan energi radiasi matahari sebagai penyedia energi listrik diarahkan sebagai *solar home system* (SHS). Penggunaan SHS ditujukan untuk keluarga dengan kelompok pendapatan menengah dan 20 % teratas. Target penggunaan SHS yang ada di dalam RUED di tahun 2010 adalah sebesar 30 % dari pelanggan R2 dan R3 atau sebesar 11,50 MW. Pertumbuhan kapasitas SHS ditargetkan setara dengan pertumbuhan penduduk untuk kedua kelompok pendapatan tersebut, yaitu sebesar 0,69 % di antara tahun 2010 - 2025 (Anonimus, 2009).

3. Emisi CO_2

Emisi CO_2 yang dihasilkan dari implementasi energi terbarukan sebagai penyedia energi listrik dapat dilihat pada Tabel 9 (Lenzen, 2008). Emisi CO_2 ini merupakan emisi *life cycle* dari setiap teknologi energi terbarukan sebagai pembangkit listrik.

Faktor emisi CO_2 dari proses pembangkitan energi listrik oleh PLN adalah sebesar 0,719 x 10^{-3} tCO_2/kWh. Faktor emisi ini dihitung berdasarkan jumlah emisi CO_2 yang dihasilkan untuk menghasilkan keseluruhan energi listrik.

TABEL 9. Faktor emisi CO_2 berdasarkan sumber energi terbarukan

Sumber Energi	tCO_2/kWh
Energi angin	$21{,}0 \times 10^{-6}$
Hydro	$15{,}0 \times 10^{-6}$
Radiasi matahari	$6{,}00 \times 10^{-6}$

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Hasil simulasi model energi dengan menggunakan LEAP terdiri dari kebutuhan energi listrik, kapasitas pembangkitan dari sumber energi terbarukan, dan dampak lingkungan. Hasil simulasi penggunaan energi listrik dikelompokkan berdasarkan sektor pengguna energi listrik. Peranan sumber energi terbarukan dalam penyediaan listrik dianalisis berdasarkan energi listrik yang dapat dibangkitkan berdasarkan skenario pengembangan kapasitas pembangkitan dengan sumber energi terbarukan. Untuk analisis dampak lingkungan, emisi CO_2 tanpa dan dengan sumber energi terbarukan dibandingkan sehingga dapat diamati perbedaan emisi CO_2 untuk setiap sekenario. Seluruh hasil simulasi dengan LEAP didasarkan pada asumsi-asumsi yang telah dilakukan.

Hasil Simulasi Kebutuhan Energi Listrik Setiap Sektor

Hasil simulasi kebutuhan energi listrik di Provinsi DIY untuk setiap sektor diperlihatkan pada Gambar 4. Pertumbuhan kebutuhan energi listrik rata-rata per tahun selama periode simulasi adalah sebesar 3,7 %. Dengan pertumbuhan ini, kebutuhan energi listrik di akhir tahun simulasi (2025) adalah sebesar 2.792,56 GWh.

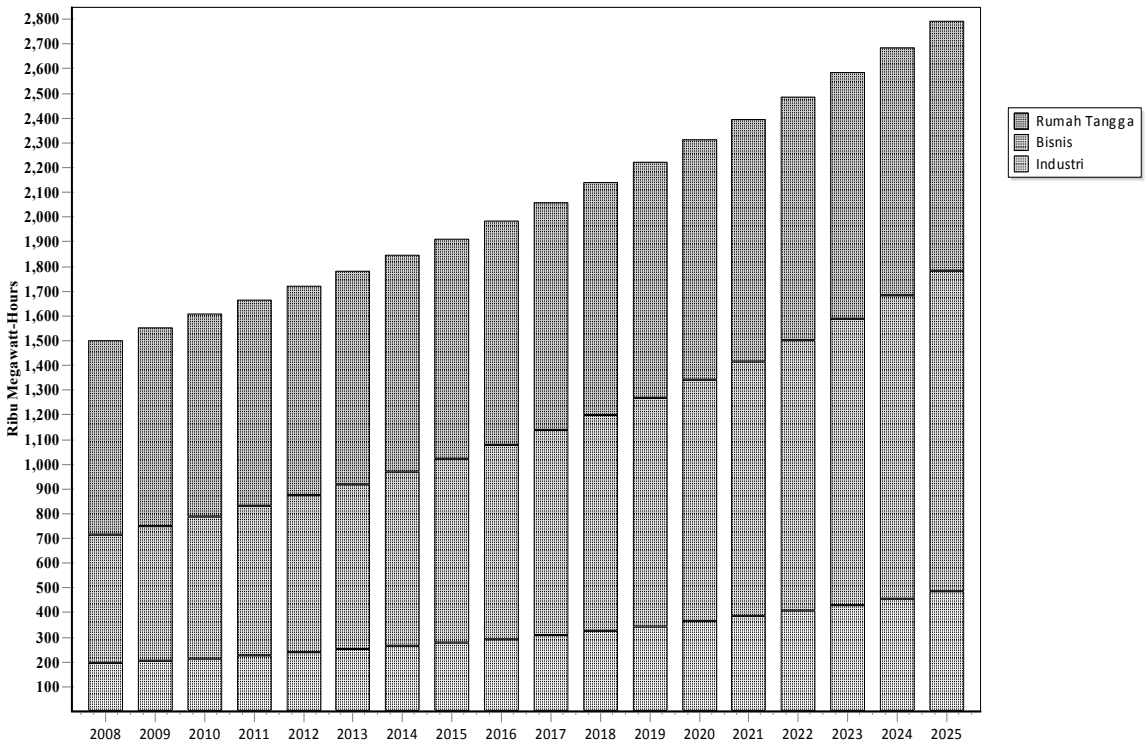
Pertumbuhan kebutuhan energi listrik rata-rata per tahun selama periode simulasi untuk setiap sektor adalah 1,48 % untuk sektor rumah tangga, 5,54 % untuk sektor bisnis dan industri. Sedangkan kebutuhan energi listrik untuk setiap sektor di tahun 2025 adalah sebesar 1.011,42 GWh untuk sektor rumah tangga, 1.298,17 GWh untuk sektor bisnis, dan 482,96 GWh untuk sektor industri. Dari hasil simulasi pada Gambar 4 terlihat bahwa kebutuhan energi listrik di akhir tahun simulasi lebih didominasi oleh sektor bisnis.

Hasil Simulasi Pengembangan Energi Terbarukan

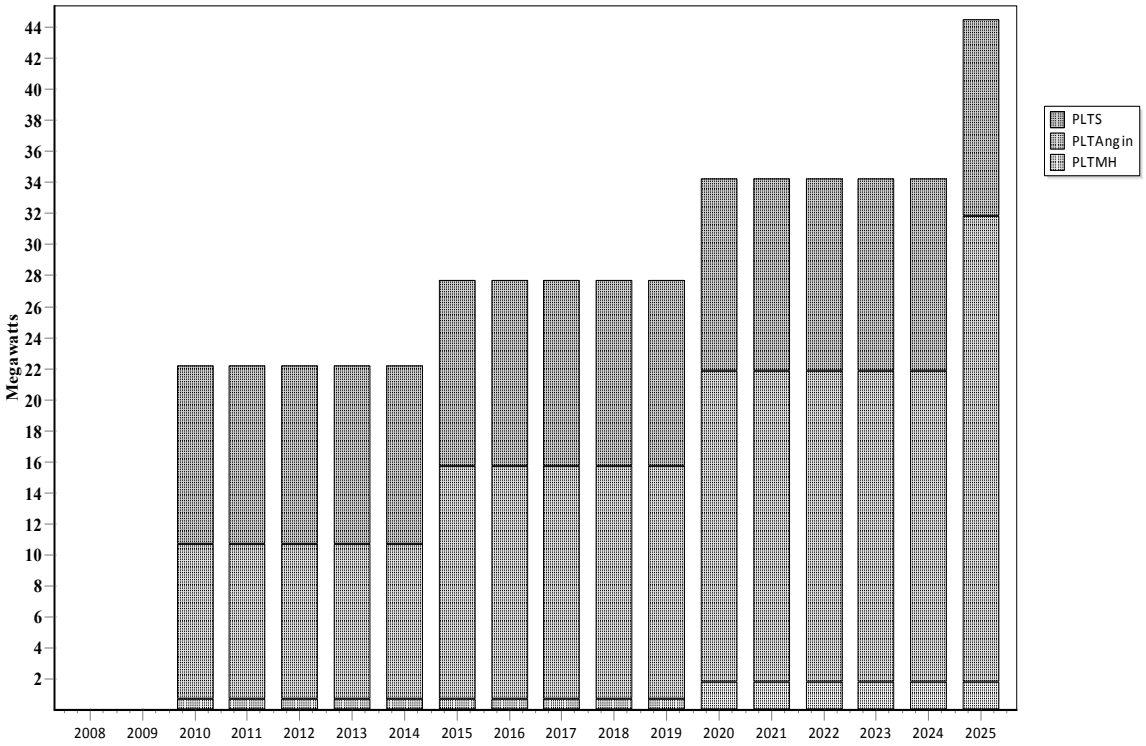
Kapasitas pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan dan besar energi listrik yang dibangkitkan diilustrasikan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Kapasitas dan energi yang dibangkitkan tersebut diperoleh berdasarkan asumsi-asumsi pengembangan energi terbarukan yang telah ditentukan. Dalam skenario diversifikasi, energi terbarukan dengan sumber energi radiasi matahari, energi angin, dan MHPP mulai dikembangkan pada tahun 2010. Di tahun 2010, PLTS yang dikembangkan adalah sebesar 11,50 MW. PLTAngin dan PLTMH dikembangkan berturut-turut sebesar 10 MW dan 0,70 MW. Sebagai hasil asumsi pengembangan PLTS, 12,70 MW PLTS akan dikembangkan di tahun 2025 di sektor sumah tangga di kelompok pendapatan menengah dan 20 % teratas. Pengembangan PLTAngin di tahun 2025 mencapai kapasitas sebesar 30 MW. Pengembangan PLMH di tahun 2025 mencapai 1.8 MW dengan asumsi seluruh potensi kapasitas MHPP di Provinsi DIY dapat dikembangkan.

Pada Gambar 6 tampak bahwa pada tahun 2010, total energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit dengan sumber energi terbarukan adalah sebesar 194,47 GWh. Sedangkan di tahun 2025, energi listrik yang dihasilkan dari ketiga pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan sebesar 389,82 GWh.

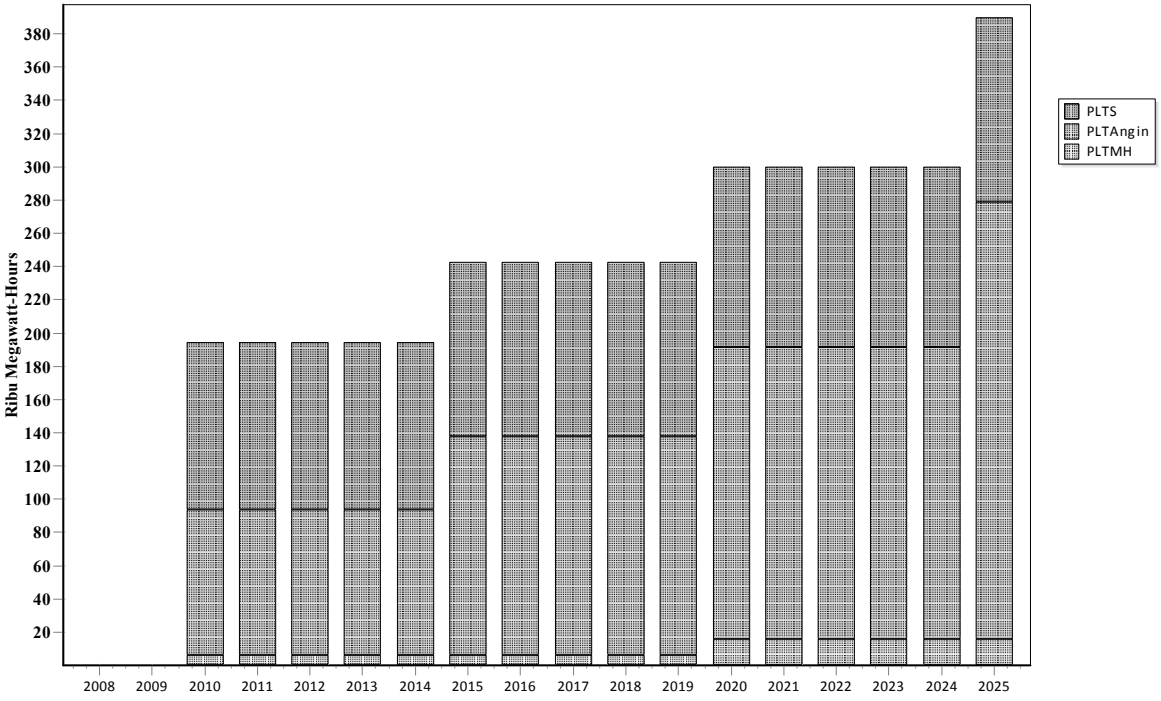
Peran sumber energi terbarukan dalam penyediaan energi listrik di Provinsi DIY diperlihatkan pada Gambar 7. Di dalam Gambar 7 terlihat bahwa sebagian kebutuhan energi listrik dari tahun 2010 sampai tahun 2025 diperoleh dari *output* pembangkit listrik PLTS, PLTAngin, dan PLTMH. Kontribusi rata-rata dari tahun 2010 – 2025 dari ketiga jenis pembangkit ini adalah sebesar 11,86 % dari keseluruhan kebutuhan energi listrik pada inverval tahun yang sama.



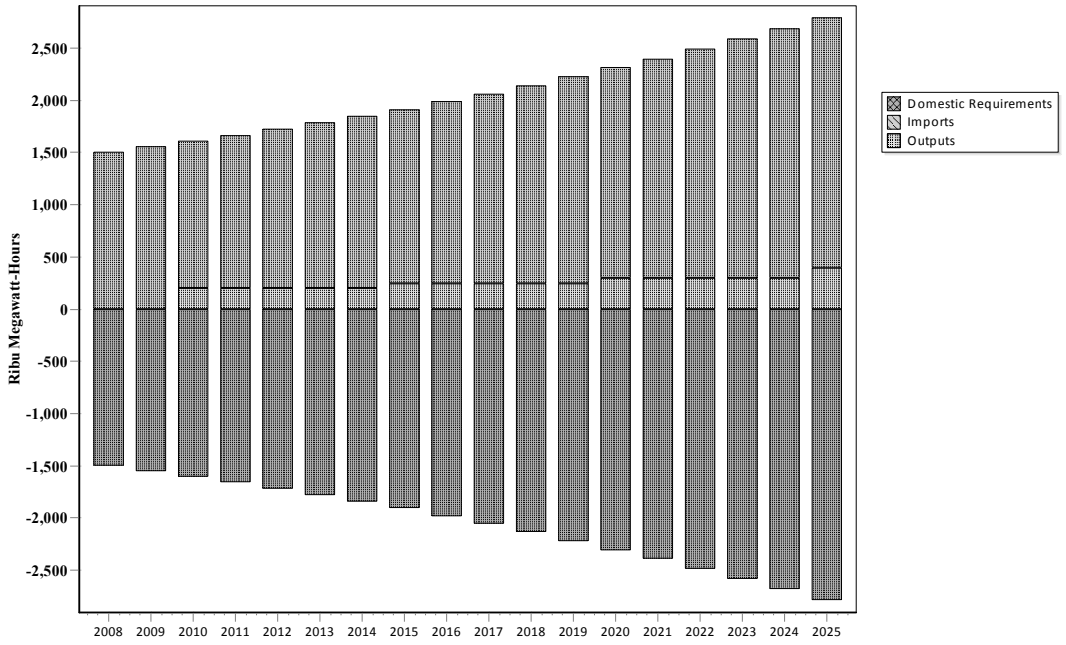
GAMBAR 4. Hasil simulasi kebutuhan energi listrik tahun 2008 – 2025 untuk setiap sektor



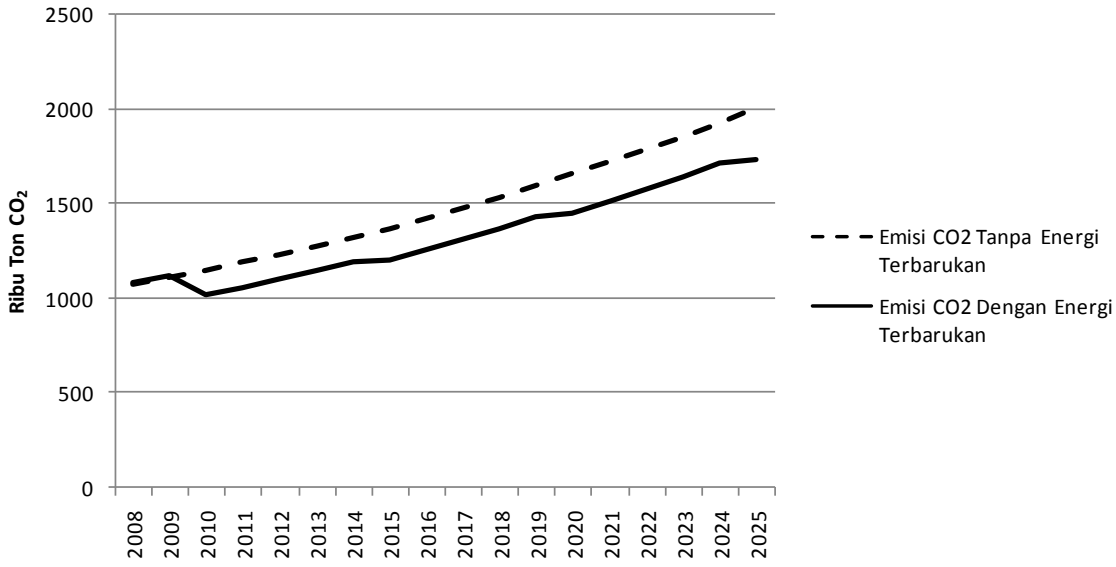
GAMBAR 5. Hasil simulasi kapasitas pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan



GAMBAR 6. Hasil simulasi energi yang dibangkitkan dengan menggunakan sumber energi terbarukan



GAMBAR 7. Peran sumber energi terbarukan dalam penyediaan energi listrik di Provinsi DIY



GAMBAR 8. Peran sumber energi terbarukan dalam penurunan emisi CO_2

Peran Energi Terbarukan dalam Penurunan Emisi CO_2

Gambar 8 memperlihatkan grafik emisi CO_2 dari aktivitas pembangkitan energi listrik. Dari gambar tersebut terlihat bahwa emisi CO_2 yang dihasilkan oleh PLN untuk membangkitkan energi listrik yang digunakan di Provinsi DIY tanpa peran sumber energi terbarukan lebih tinggi jika dibandingkan dengan pembangkitan energi listrik dengan melibatkan sumber energi terbarukan. Di tahun 2010, emisi CO_2 yang dihasilkan tanpa keterlibatkan energi terbarukan adalah sebesar 1,155.43 ribu Ton CO_2 dan menjadi 2,007.88 ribu Ton CO_2 di tahun 2025. Dengan dikembangkannya PLTS, PLTAnign, dan PLTMH di tahun 2010, emisi CO_2 yang dihasilkan adalah sebesar 1,018.15 Ribu Ton CO_2 dan menjadi 1,734.02 Ribu Ton CO_2 di tahun 2025. Dalam interval 2010 – 2025, rata-rata penurunan emisi CO_2 dengan keterlibatan sumber energi terbarukan adalah sebesar 11,62 %. Tanpa keterlibatan energi

terbarukan, pertumbuhan emisi CO_2 di tahun 2025 mencapai 4,04% per tahun. Dengan keterlibatan energi terbarukan, pertumbuhan emisi CO_2 di tahun 2025 dapat ditekan menjadi 0,85 % per tahun.

KESIMPULAN

Berdasarkan skenario pengembangan energi terbarukan, peran energi terbarukan dalam penyediaan energi listrik di Provinsi DIY sangat signifikan. Hal ini diperlihatkan dengan kontribusi energi terbarukan dalam penyediaan energi listrik dapat mencapai 11,86 % dari keseluruhan kebutuhan energi listrik di Provinsi DIY. Kontribusi energi terbarukan dapat ditingkatkan dengan melibatkan jenis energi terbarukan lainnya seperti energi yang berasal dari biomasa dalam bentuk sampah kota maupun limbah pertanian. Selain berkontribusi dalam penyediaan energi listrik, pengembangan energi terbarukan dapat menurunkan jumlah emisi CO_2 yang dihasilkan sebagai akibat aktivitas pembangkitan energi listrik. Dalam skenario pengembangan yang disimulasikan, peran energi terbarukan dalam penurunan emisi CO_2 mencapai 11,62 % dari emisi CO_2 tanpa energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonimus. (2003). *A Report of the World Energy Council: Drivers of the Energy Scene*, World Energy Council, London, UK.

Anonimus. (2008). *Regional Energy Outlook of Yogyakarta Province*, CAREPI Project, Universitas Muhammdiyah Yogyakarta & Energy research Center of the Netherlands.

Anonimus. (2009). *Statistik Ketenagalistrikan dan Energi Tahun 2008*, Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Anonimus. (2009). *Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dalam angka 2009*, Biro Pusat Statistik Provinsi DIY.

Anonimus. (2009). *Rencana Umum Energi Daerah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*, Bagian energi dan sumber daya mineral Dinas Pekerjaan Umum Provinsi DIY.

Heaps, C. (2009). *A Deep Carbon Reduction Scenario for China*, Stockholm Environmental Institute, Stockholm, Sweden.

Lenzen, M. (2008). *Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclearenergy: A review*, Energy Conversion and Management.

Moorhty, M. K., Kumar, D.V.A., & Reddy, J.N. (2008). Control of Grid Connected PV Cell Distributed Generation Systems, *IEEE Region 10 Conferences*, 18 - 21 November 2008, Hyderabad, India.

PENULIS:

Rahmat Adiprasetya Al Hasibi✉

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Bantul 55183, Yogyakarta,.

✉ Email: rahmat.alhasibi@gmail.com

PERANCANGAN ALAT *INDUCSION HEATING* PADA PENGOLAHAN TEH SANGRAI DENGAN TEKNOLOGI ENERGI TERBARUKAN (*SOLAR CELL*)

Evrita Lusiana Utari

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Respati Yogyakarta
Jl. Laksda Adisucipto Km 6,3 Depok, Sleman, Yogyakarta 55281
E-mail : evrita_lusiana@yahoo.com[1]

ABSTRACT

Indonesia receives solar energy whose average daily energy radiation per unit area per unit time is about 4.8 kilowatts / m2. Solar energy is one of the most abundant, pollution-free, and optimally explored renewable energy sources. Indonesia located in the tropics is very suitable and has the potential to develop solar energy. In the utilization of solar energy, it is necessary to develop a technology capable of converting solar energy into the desired energy of electrical energy. The supply of electric energy during the day can still be controlled by solar cell, while at night controlled by Aki.

This technology is known as solar cells or internationally known as solar cell or photovoltaic. Induction heating is the onset of heat on the metal exposed to the induction of the magnetic field, this is because the metal arising Eddy current or navel currents in a circular direction surrounding the magnetic field occurrence of the navel due to the magnetic induction that cause magnetic flux that penetrates the metal, causing heat metal.

Designing Induction Heating Tool is a combination of solar cell technology with induction heating which benefits to the processing of tea production. This tool is able to induce the specimen so that the specimen becomes hot until it reaches the dry point reaches 100ºC. Power required to supply 300 Watt heater.

Keywords : *Solar Cell, Inductin Heating, Photovoltaic.*

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan aspek kehidupan yang kini menjadi sorotan manusia di seluruh dunia. Semakin menipisnya cadangan minyak bumi sebagai bahan bakar utama menyadarkan manusia untuk segera mencari alternatif pengganti yang bersifat terbarukan dan juga lebih ramah lingkungan. Salah satu sumber energi terbarukan yang belum dimanfaatkan dengan optimal adalah cahaya matahari. Indonesia yang terletak di khatulistiwa memiliki potensi penyinaran matahari yang luar biasa besar. Matahari bersinar selama 12 jam setiap hari, sepanjang tahun, dengan intensitas yang tinggi 4,8 kWH/m2/hari.

Menipisnya cadangan energi fosil di Indonesia dan kenyataan yang harus kita terima bahwa pemakaian energi berbahan dasar dari fosil telah menjadi salah satu penyebab terjadinya kelangkaan energi, maka sudah saatnya untuk menggalakkan pengembangan dan pemanfaatan energi terbarukan yang dimiliki. Indonesia memiliki potensi dan cadangan energi terbarukan yang besar, seperti tenaga matahari, panas bumi, dan air, termasuk lautan.

Pada pengembangan energi terbarukan di Indonesia untuk menggantikan energi konvensional ditandai dengan banyak pengembangan energi alternatif untuk menggantikan energi konvensional, seperti: pembangunan PLTU, PLTS, dan PLTA yang menggantikan pembangkit listrik berasal dari bahan bakar minyak dan batu bara. Indonesia mengoptimalkan pengembangan sumber energi alternatif supaya mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi yang tak dapat diperbaharui (fosil).

Indonesia menerima energi surya yang radiasi energi harian rata - rata per satuan luas per satuan waktu sebesar kira - kira 4,8 kilowatt/m^2. Energi surya adalah salah satu sumber energi terbarukan yang melimpah, bebas polusi dan dapat dieksplorasi secara optimal. Indonesia yang terletak didaerah tropis sangat cocok dan berpotensi dalam mengembangkan energi surya. Dalam pemanfaatan energi surya, perlu dikembangkan suatu teknologi yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi yang diinginkan yakni energi listrik. Teknologi ini dikenal dengan istilah sel surya atau dalam dunia internasional lebih dikenal dengan *solar cell* atau *photovoltaic*.

Sel surya adalah piranti untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Energi listrik tersebut diperoleh dari sel surya yang menerima cahaya langsung dari matahari dan memunculkan efek *fotovoltaik*. Efek *fotovoltaik* pertama kali ditemukan oleh Edmond Becquerel pada tahun 1839. Pada tahun 1912 Einstein menjelaskan secara teori mekanisme fenomena tersebut namun hanya sebatas eksperimen dilaboratorium. Teknologi sel surya telah mengubah cara pandang manusia terhadap energi dan memberi solusi baru bagi manusia untuk memperoleh energi listrik tanpa perlu membakar bahan bakar fosil sebagaimana pada minyak bumi, gas alam, dan batu bara serta tidak pula dengan menempuh jalan reaksi fisi nuklir. Berkembangnya teknologi sel surya ini tidak terlepas dari kemajuan teknologi semikonduktor.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan penelitian yang berjudul *prototype* pemanfaatan *solar cell* sebagai sumber energi pada sistem otomatisasi lampu penerangan taman oleh (W. Yossie, 2013). Perancangan dan pembuatan lampu penerangan taman otomatis terdiri dari beberapa komponen penting antara lain catu daya, *solar cell*, sistem minimum, lampu dan LCD. Prinsip kerja dari lampu penerangan taman otomatis adalah mendeteksi adanya tegangan yang dihasilkan *solar cell* dalam pengkonversian energi. Besar tegangan tersebut digunakan sebagai acuan untuk menyalakan atau mematikan lampu secara otomatis. *Timer* hanya bekerja ketika sensor cahaya (*solar cell*) terjadi gangguan dengan waktu selama 1 jam, selebihnya sensor cahaya yang bekerja untuk mengotomatisasi lampu. Unjuk kerja dari alat, ketika malam hari semua beban pada alat dalam kondisi aktif (*ON*), sehingga arus yang mengalir sekitar 270 mA. Suplai energi listrik saat siang hari masih dapat dikontrol oleh *solar cell*, sedangkan dimalam hari dikontrol oleh baterai *Li-Po* 3600 mAH. Baterai tersebut dapat bertahan untuk suplai energi listrik pada malam hari, yaitu sekitar 14 jam, namun yang dibutuhkan hanya 12 jam maka dapat dikatakan cukup untuk menyuplai energi pada alat.

Berdasarkan penelitian (Faslucky, 2012), optimalisasi tegangan keluaran dari *solar cell* menggunakan lensa pemfokus cahaya matahari studi optimalisasi tegangan keluaran dari *solar cell* menggunakan lensa pemfokus cahaya matahari (lensa konvergen) bertujuan untuk mengetahui sebarapa besar pengaruh penggunaan lensa terhadap peningkatan nilai intensitas cahaya dan tegangan yang dihasilkan oleh *solar cell*, *solar cell* merupakan *converter* energi cahaya menjadi energi listrik. *Solar cell* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *solar cell* jenis *policrystal* dan *amorphous*. Metode penelitian dilakukan dengan cara mengukur nilai intensitas, voltase dan arus listrik dari *solar cell*, kemudian menghitung nilai daya dan efisiensi dari *solar cell* dan membandingkan nilainya antara *solar cell* yang menggunakan lensa konvergen dan yang tidak menggunakan lensa konvergen. Berdasarkan hasil data penelitian, lensa konvergen mempengaruhi besarnya daya dari cahaya yang digunakan, sehingga intensitas dan energi cahaya meningkat dan mempengaruhi nilai voltase dan arus listrik dari *solar cell*. Untuk *solar cell* jenis *policrystal* efisiensi dapat ditingkatkan

sampai 35.08%. Kemudian untuk *solar cell* jenis *amorphous* dapat ditingkatkan sampai 31.77%.

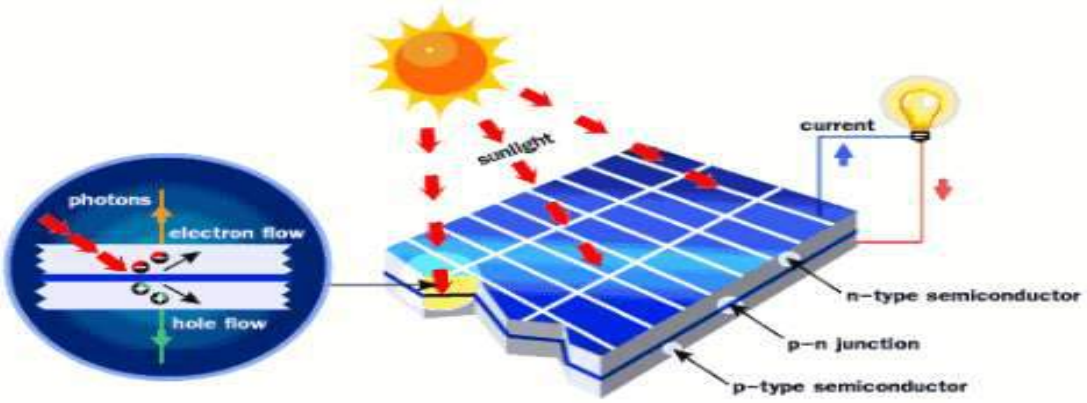
Menurut (Noviansyah,2013), yang mengambil penelitian tentang pemanas induksi kapasitas 200 Watt yang disebabkan karena pada logam timbul arus *eddy* yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet terjadinya arus pusar akibat dari induksi magnet yang menimbulkan fluks magnetik yang menembus logam, sehingga menyebabkan panas pada logam. Untuk membuat pemanas induksi diperlukan suatu alat yang mampu menghasilkan energi listrik yang besar. Alat ini mampu menginduksi *specimen* tersebut sehingga specimen menjadi panas hingga mencapai titik cairnya. Titik cair dari specimen ini bernilai ± 660 ºC.

2.1. *Solar Cell*

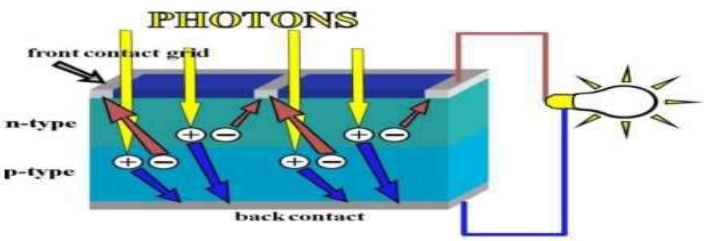
Solar cell atau Panel Surya adalah alat untuk mengkonversikan tenaga matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas efek *photovoltaic*.*Solar cell* dapat dilihat pada gambar 1.

2.2. Prinsip Dasar Teknologi *Solar Cell* (*Photovoltaic*) Dari Bahan Silokon

Solar cell merupakan suatu perangkat semi konduktor yang dapat menghasilkan listrik jika diberikan sejumlah energi cahaya. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam Kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah energi. Salah satu bahan semikonduktor yang biasa digunakan sebagai sel surya adalah kristal silikon.



Gambar 1. Skema *Solar Cell*.
(Sumber: *http://trebuchet-magazine.com/wp-content/uploads/2013/02/solar-cells.jpg*)



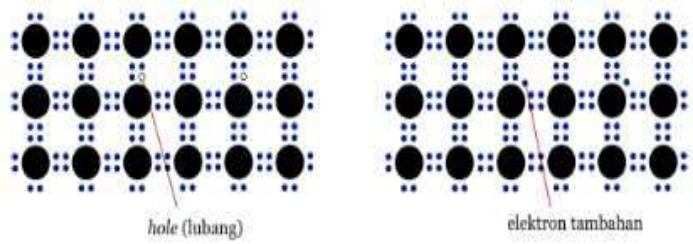
Gambar 2. Cara Kerja *Solar Cell*.
(Sumber : *http://energisurya.files.wordpress.com/2007/solar-cell.jpg*)

2.3. Semikonduktor Tipe P dan Tipe N

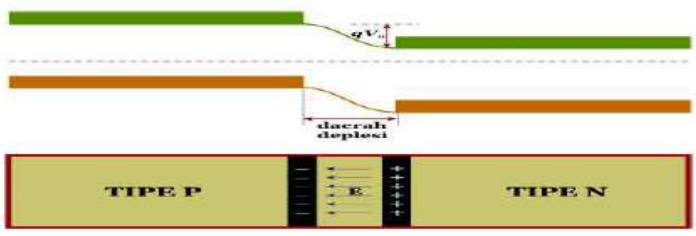
Ketika suatu Kristal silikon ditambahkan dengan unsur golongan kelima, misalnya arsen, maka atom - atom *arsen* itu akan menempati ruang diantara atom - atom *silicon* yang mengakibatkan munculnya elektron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas tersebut berasal dari kelebihan elektron yang dimiliki oleh *arsen* terhadap linkungan sekitarnya, dalam hal ini adalah *silicon*. Semikonduktor jenis ini kemudian diberi nama semikonduktor tipe-n. Hal yang sebaliknya terjadi jika Kristal *silicon* ditambahkan oleh unsur golongan ketiga, misalnya boron, maka kurangnya elektron valensi boron dibandingkan dengan *silicon* mengakibatkan munculnya *hole* yang bermuatan positif pada semikonduktor tersebut. Semikonduktor ini dinamakan semikonduktor tipe-p. Adanya tambahan pembawa muatan tersebut mengakibatkan semikonduktor ini akan lebih banyak menghasilkan pembawa muatan ketika diberikan sejumlah energi tertentu, baik pada semikonduktor tipe-n maupun tipe-p.

2.4. Sambungan P-N

Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n disambungkan maka akan terjadi difusi *hole* dari tipe-p menuju tipe-n dan difusi elektron dari tipe-n menuju tipe-p. Difusi tersebut akan meninggalkan daerah yang lebih positif pada batas tipe-n dan daerah lebih negatif pada batas tipe-p. Adanya perbedaan muatan pada sambungan p-n disebut dengan daerah depresi akan mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya arus *drift*. Arus *drift* yaitu arus yang dihasilkan karena kemunculan medan listrik. Namun arus ini terimbangi oleh arus difusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan p-n tersebut. Sebagaimana yang kita ketahui bersama, elektron adalah partikel bermuatan yang mampu dipengaruhi oleh medan listrik. Kehadiran medan listrik pada elektron dapat mengakibatkan elektron bergerak. Hal inilah yang dilakukan pada *solar cell* sambungan p-n, yaitu dengan menghasilkan medan listrik pada sambungan p-n agar elektron dapat mengalir akibat kehadiran medan listrik tersebut. (Sumber : *http://energisurya.files.wordpress.com*).



Gambar 3. Semikonduktor Tipe-P (Kiri) dan Tipe-N (Kanan).
(Sumber : Ady Iswanto, Staf Divisi Riset 102FM ITB, 2008)



Gambar 4. Diagram Energi Sambungan P-N Munculnya Daerah Deplesi.
(Sumber : Ady Iswanto, Staf Divisi Riset 102FM ITB, 2008)

2.5. Prinsip Dasar *Solar Cell (Photovoltaic)* Dari Bahan Tembaga

Photovoltaic berdasarkan bentuk dibagi dua, yaitu *photovoltai*c padat dan *photovoltaic* cair. *Photovoltaic* cair prinsip kerjanya hampir sama dengan prinsip elektrovolt, namun perbedaanya tidak adanya reaksi oksidasi dan reduksi secara bersamaan (redoks) yang terjadi melainkan terjadinya pelepasan elektron saat terjadi penyinaran oleh cahaya matahari dari pita valensi (keadaan dasar) ke pita konduksi (keadaan elektron bebas) yang mengakibatkan terjadinya perbedaan potensial dan akhirnya menimbulkan arus.Pada *solarcell* cair dari bahan tembaga terdapat dua buah tembaga yaitu tembaga konduktor dan tembaga semikonduktor. Tembaga semikonduktor akan menghasilkan muatan elektron negatif jika terkena cahaya matahari, sedangkan tembaga konduktor akan menghasilkan muatan elektron positif. Karena adanya perbedaan potensial akhinya akan menimbulkan arus.

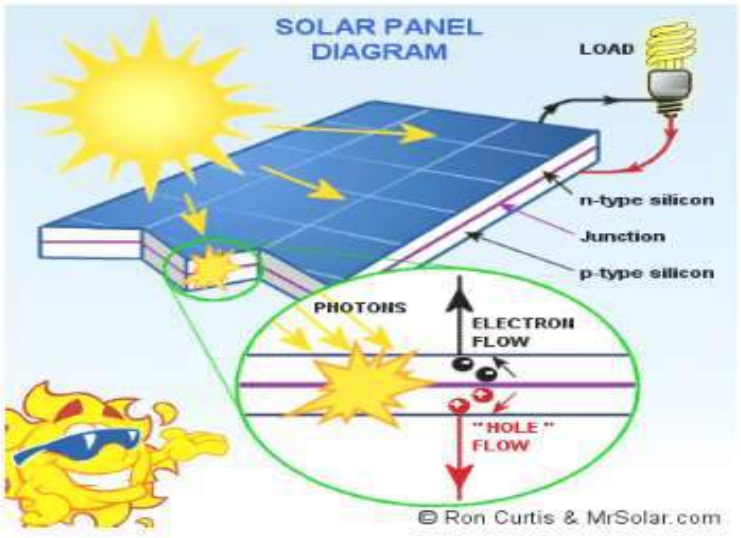
2.6. Instalasi *Solar Cell* Dengan Sistem Seri *Solar Cell*

Hubungan seri suatu sel surya didapat apabila bagian depan (+) sel surya utama dihubungkan dengan bagian belakang (-) sel surya kedua (Owen Bishop, 2004). Hubungan seri dari sel surya dapat dilihat pada gambar 6. Tegangan sel surya dijumlahkan apabila dihubungkan seri satu sama lain.

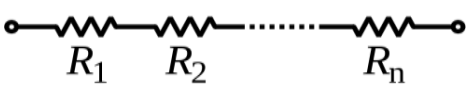
Utotal = U1= U2= U3= Un.....(1)

Arus yang timbul dari hubungan ini langsung dijumlahkan.

Itotal = I1= I2= I3= In.....(2)



Gambar 5. Struktur *Solar Cell* Silikon p-n *Junction*.
(Sumber : *http://solarcell.com.jpg*)



Gambar 6. Hubungan Seri.
(Sumber : *http://elektronikadasar.wordpress.com.jpg*)

2.7. Instalasi *Solar Cell* Dengan Sistem Pararel *Solar Cell*

Rangkaian parallel *solar cell* didapat apabila terminal kutub positif dan negatif *solar cell* dihubungkan satu sama lain (Owen Bishop, 2004). Hubungan parallel dari *solar cell* dapat dilihat pada gambar 7. Tegangan *solarcell* yang dihubungkan parallel sama dengan satu *solar cell*.

*U*total = U1=U2=U3=Un.....(3)

Arus yang timbul dari hubungan ini langsung dijumlahkan.

Itotal= I1+ I2+ I3+ In.....(4)

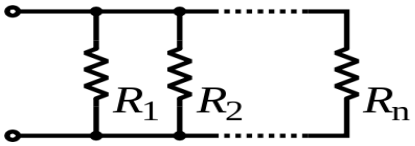
2.8. Modul Surya / *Photovoltaik* (Pv)

Modul sel surya *photovoltaik* merubah energi surya menjadi arus listrik DC. Arus listrik DC yang dihasilkan ini akan dialirkan melalui *Solar Charger Controler* (PWM). Komponen utama sistem surya *fotovoltaik* adalah modul yang merupakan unit rakitan beberpa sel surya *fotovoltaik*. Modul *fotovoltaik* tersusun dari beberpa sel *fotovoltaik* yang dihubungkan secara seri dan paralel. Biaya yang dikeluarkan untuk membuat modul sel surya sebesar 30% dari biaya total. Lima hal utama yang mempengaruhi performasi dari modul *fotovoltaik* :

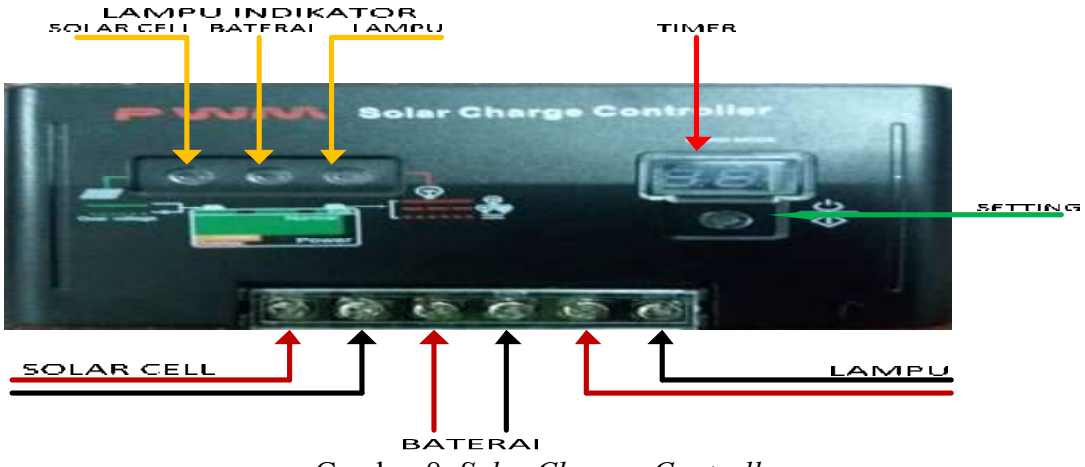
1. Bahan pembuatan *Photovoltaic*.
2. Resistansi beban.
3. Intensitas cahaya matahari.
4. Suhu / temperatur Modul *Photovoltaic*.
5. Bayangan.

2.9. *Solar Charger Controller* (PWM)

Solar Charger Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar Charger Controller* mengatur kelebihan pengisihan karena baterai sudah penuh. *Solar Charger Controller* menerapkan teknologi *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban.



Gambar 7. Hubungan Parallel.
(Sumber : *http://elektronikadasar.wordpress.com.jpg*)



Gambar 8. *Solar Charger Controller*.

2.10. Baterai / Aki

Baterai / Aki yaitu alat penyimpan energi listrik, dapat menyimpan energi listrik dalam satuan WattJam. Aki yang digunakan untuk penyimpan daya / sumber daya dengan spesifikasi aki kering merk *panasonic* dengan keluaran 12 Volt 100 Ah. Ukuran atau dimensi 407 x 173 x 236 mm dengan berat 31 kg. Sebuah aki dengan kapasitas 12 Volt, 7,2 Ampere, berarti aki tersebut memiliki kapasitas 12 x 7,2 = 86,4 WattJam, artinya apabila kita menggunakan beban pemanas sebesar 300 Watt, membutuhkan jumlah aki yang sebanyak 8 buah dengan kapasitas 12 Volt, 7,2 Ampere. Dengan pemasangan aki diparalel maka kapasitas daya menjadi 691,2 Watt. Aki di bagi dalam 2 jenis yaitu aki basah dan aki kering.

2.11. *Induction Heating*

Pemanas induksi adalah timbulnya panas pada logam yang terkena induksi medan magnet, hal ini disebabkan karena pada logam timbul arus *eddy* atau arus pusar yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet terjadinya arus pusar akibat dari induksi magnet yang menimbulkan fluks magnetik yang menembus logam, sehingga menyebabkan panas pada logam. Induksi magnet adalah kuat medan magnet akibat adanya arus listrik yang mengalir dalam konduktor.

Pemanasan Induksi juga disebut sebagai proses pemanasan non kontak yang menggunakan listrik frekuensi tinggi untuk menghasilkan panas yang konduktif secara elektrik. Karena non kontak, proses pemanasan tidak mencemari bahan yang sedang dipanaskan. Hal ini juga sangat efisien karena panas yang sebenarnya dihasilkan didalam benda kerja. Sehingga emanas induksi cocok untuk beberapa aplikasi yang unik dalam industri.

2.12. Pemanas, Kabel dan Penggorengan

Pemanas, Kabel, dan Penggorengan adalah beberapa komponen pendukung yang dibutuhkan untuk aplikasi perancangan *solar cell* untuk penerangan. Lampu dab kabel merupakan beban yang memiliki besaran tergantung dengan besar daya dan panjang kabel yang dibutuhkan. Tiang berguna sebagai penyangga pada panel modul *Solar Cell*.

3. METODELOGI PENELITIAN

3.1. Pemilihan Data Komponen dan Alat

Pemilihan data komponen berdasarkan tingkat kebutuhan rancangan pada alat *induction heating* dan alat *solar cell* sesuai dengan kebutuhan. Komponen-komponen yang dibutuhkan meliputi komponen dasar, komponen utama, dan komponen pendukung.

A. Komponen Dasar

Komponen - komponen dasar meliputi resistor, kapasitor, dioda, LED, dan LCD.

B. Komponen Utama

Komponen utama meliputi sensor suhu, mikrokontroler Arduino Uno, sensor suhu dan modul *solar cell* meliputi papan *solar cell*, baterai penyimpanan berupa aki dan konverter sebagai perubahan tegangan.

C. Komponen Pendukung

Komponen pendukung komponen meliputi indikator tampilan dan indikator suara. Sedangkan komponen pendukung alat adalah tiang penyangga untuk instalasi *solar cell.*

3.2. Jalannya / Alur Pikir Penelitian

Adapun tahapan dalam penelitian ini diilustrasikan pada gambar 10.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perancangan Rangkaian *Heater*

Dalam perancangan rangkaian heater sebagai pemanas dengan menggunakan jenis *Tubuler Heater*. Jenis *heating* berbentuk tabung digunakan untuk aplikasi pengolahan *oven* pengering. Untuk bentuk tekukan dan daya disesuaikan dengan kebutuhan.

4.2 Perancangan Alat *Induction Heating*

Pemanas induksi atau yang bisa disebut juga *induction heating* adalah sebuah alat atau rangkaian yang mampu menghasilkan panas dan memanaskan benda dengan sistem induksi. Benda yang dipanaskan tersebut mendapatkan sumber panas dari induksi medan magnet yang sangat cepat, panas bukan berasal dari sebuah elemen pemanas yang panas ketika diberikan sumber tegangan. (Purnomo & Hari 2014).

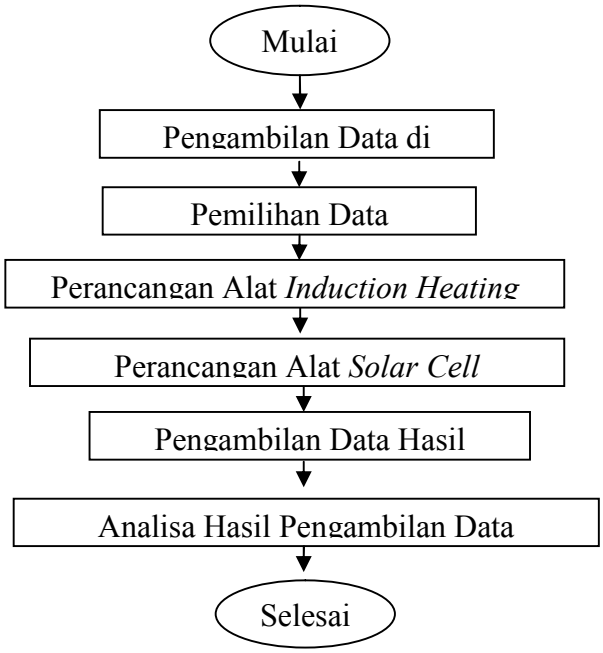
Perancangan Alat *induction heating* dengan menentukan rangkaian - rangkaian yang nantinya akan dibutuhkan dalam proses *induction heating* meliputi yaitu : rangkaian pemanas / *heater*, rangkaian pembagi tegangan, rangkaian penguat, rangkaian *power Suppy* dan rangkaian penampil sebagai Indikator tingkat panas yang dibutuhkan. Dengan keluaran panas mencapai 80°C – 100°C.

4.3 Perancangan Alat *Solar Cell*

Perancangan alat *solar cell* dengan membuat rangkaian penyimpan Daya sesuai dengan kapasistas yang dibutuhkan dalam proses *Induction Heating.* Dengan spesifikasi dibutuhkan 2 papan *solar cell* (200 W untuk tiap papannya), Sebagai penyimpan dayanya menggunakan Aki 100 A, 12 V.

4.4. Analisis Hasil Perancangan Alat

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang dapat dipertanggung jawabkan, maka analisis hasil penelitian ini dilakukan dengan menghitung nilai daya yang dibutuhkan untuk menghidupkan pemanas selama rentan waktu yang dibutuhkan. Semakin lama waktu pemanasan dibutuhkan daya yang lebih besar yang dapat ditampung oleh baterai atau aki. Estimasi perhitungan perhitungan dapat dilihat pada tabel 1.



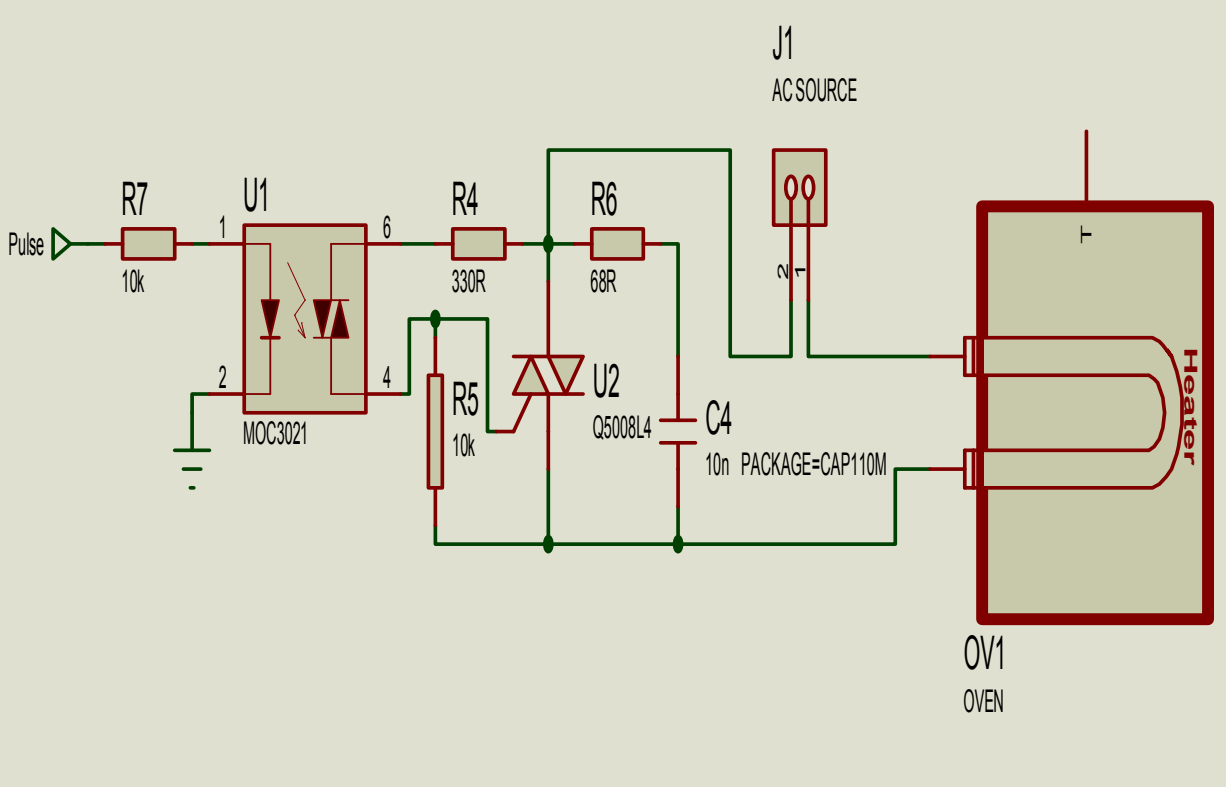
Gambar 10. Bagan Alur Penelitian.

Tabel 1. Analisa Hasil Perancangan Alat

No	V Baterai/Aki (Volt)	Jml Aki	Arus (A)	Daya Keluaran Aki (WH)	*Solar* Panel (W)	Estimasi max pemakaian waktu (Jam)
1	12	8	7,2	691,2	250	3
2	12	12	7.2	1036,8	500	5

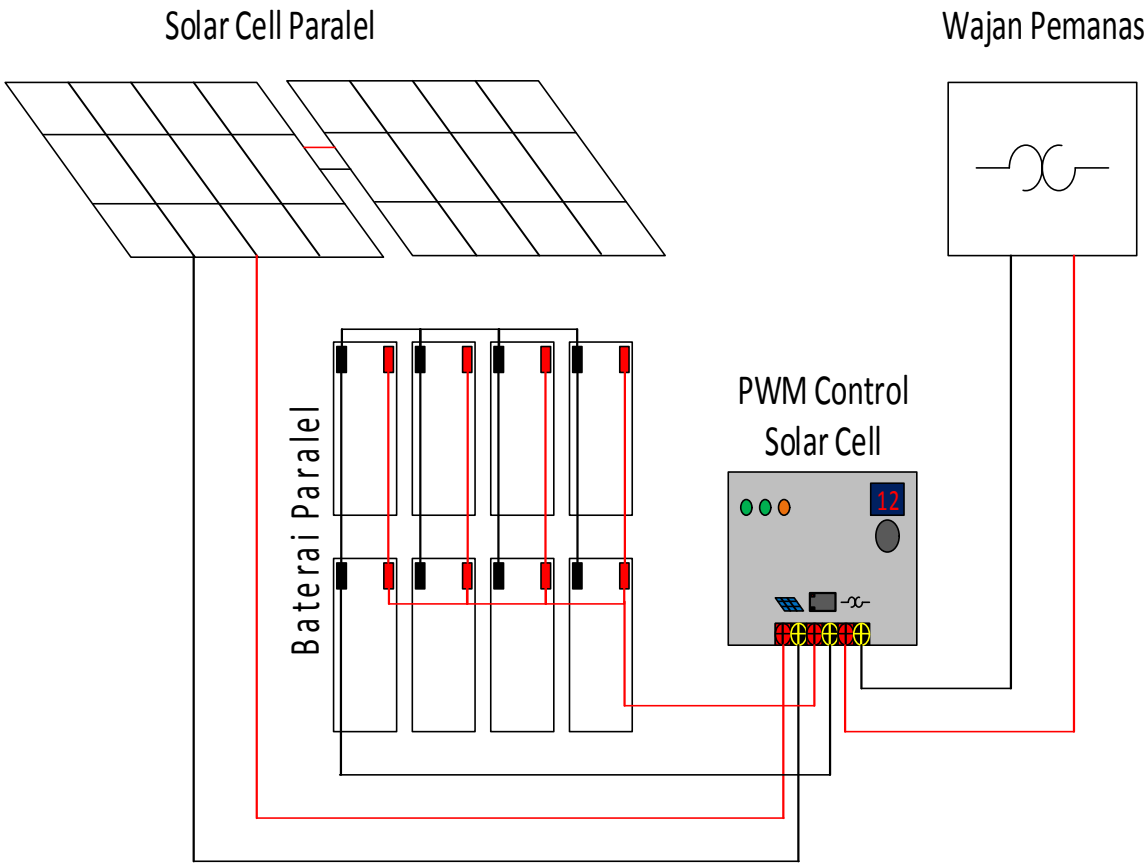


Gambar 11. *Tubuler Heater*.



Gambar 12. Rangkaian *Heater*.

4.5. Perancangan Alat Keseluruhan



Gambar 13. Gambaran Perancangan Alat.

4.6. Pengolahan Data

Pengolah data dilakukan dengan pengambilan data uji setiap rangkaian yang digunakan dalam perancangan *induction heating* dan pada modul perancangan *solar cell.*

4.7. Analisis Pengolahan Data

Analisa data yang dilakukan adalah dengan menghitung tingkat kebutuhan daya, nilai efisiensi dan jumlah muatan panas yang dihasilkan oleh *induction heating*.

a. Menghitung Efiesiensi Panel Surya

Efisiensi dari panel dihitung adalah dengan membagi *output* daya sel (dalam watt) pada maksimum *powerpoint* (Pm) oleh cahaya masukan (E, dalam W / m^2) dan luas permukaan sel surya (Ac di m^2).

$\eta = Pm / (E \times Ac)$.....(5)

Perhitungan efisiensi dalam suatu sistem yang dirancang untuk menyerap energi sebesar 200 W dengan menggunakan area 1,5 m2.

Dalam hal ini kita akan menggunakan nilai *Indicent Radiation Flux* sebesar 1000 W/m2 (berarti untuk setiap m2 matahari mampu memberikan daya sekitar 1000 Watt). Lalu perhitungannya akan menjadi sebagai berikut :

$$\eta_{max}\left(\text{maximum efficiency}\right) = \frac{P_{max}\left(\text{maximum powewr output}\right)}{\left(E_{sy}^{ave}\left(\text{incident radiation flux}\right) x\ A_c\left(\text{area collector}\right)\right)} \quad ..(6)$$

$$n_{max} = \frac{200\ Watt}{1000\frac{Watt}{m2}\ x\ 1.5\ m2} = 13.33\%$$

b. Menentukan Jumlah *solar cell* yang digunakan

Jumlah *solar cell* panel yang dibutuhkan, satu panel kita hitung 100 Watt (perhitungan adalah 5 jam maksimun tenaga surya), tingkat kebutuhan *solar cell* panel dapat dihitung = (3480 / 100 x 5) = 7 panel surya. Jumlah kebutuhan baterai 12 Volt dengan masing - masing 100 Ah. Kebutuhan baterai minimum (baterai hanya digunakan 50% untuk pemenuhan kebutuhan listrik). Perhitungan tingkat kebutuhan daya yaitu :

= dikalikan 2 x lipat.....(7)
= 3480 x 2 = 6960 Watt hour.
= 6960 / 12 Volt / 100 Amp.
= 6 baterai 100 Ah.

Kebutuhan baterai (dengan pertimbangan dapat melayani kebutuhan 3 hari tanpa sinar matahari).

= 3480 x 3 x 2.
= 20880 Watt hour.
= 20880 / 12 Volt / 100 Amp.
= 17 baterai 100 Ah.

c. Menghitungan pemakaian daya listrik berdasarkan volume media dan jenis media yang akan dipanaskan.

Q = M Cp DT kalori.....(8)

Dimana :
Q = Jumlah Panas (kal)
M = Massa Benda (gram)
DT = Perbedaan Suhu (derajat Celcius).
Cp = Conduktifitas thermal (Kal/Gram C).

1 W = 1/800 Kalori
Rumus *Induction Heating* :
Persamaan daya sebagai berikut :

(1) Peddy total = $9{,}61967 \times 10^{-4} \times \pi^3_x\, t^2 x b / \rho.Z_{coil}^2$(Watt).....(9)
(2) Energi yang dibutuhkan oleh pemanas induksi selama waktu t adalah :
W = Peddy total x t (Joule).....(10)
(3) Energi yang dibutuhkan oleh pemanas induksi dari suhu T1 sampai T2 adalah :
Q = m x c . (T2 - T1) (Joule).....(11)
(4) Kemudian besarnya efisiensi energi dapat dihitung sebagai berikut :
$\eta = Q / W_{in} \times 100\%$.....(12)

5. KESIMPULAN

1. Dalam perancangan alat *induction heating* dengan menggunakan sumber energi dari matahari melalui panel *solar cell*. Dari panel *solar cell* tersebut daya disimpan dalam baterai / aki kering melalui *solar charger controller*. Daya yang digunakan pemanas diambil dari baterai / aki. Baterai atau Aki sebagai penyimpan daya dengan kapasitas 12 Volt 7,2 Ah dirangkai paralel untuk mendapatkan daya yang dibutuhkan oleh pemanas sebesar 300 Watt. Daya dari hasil rangkaian seri aki sebesar 691,2 Watt hour.
2. Dari hasil perancangan alat bergantung dengan tingkat kebutuhan daya pada pemanas untuk sangrai daun teh. Suhu yang dibutuhkan antara 80°C sampai dengan 100°C. Lama waktu pemanasan dibutuhkan kira - kira dalam waktu 3 jam.

DAFTAR PUSTAKA

Ady Iswanto., 2008. Prinsip Dasar *Solar Cell*, Staf Divisi Riset 102FM ITB, Bandung.

Faslucky., 2012. Optimalisasi tegangan keluaran dari *Solar Cell* Menggunakan Lensa Pemfokus Cahaya Matahari. Malang.

Novinasyah, R., 2012. Pemanas Induksi (*Induction Heating*) Kapasitas 200 Watt. Jurusan Teknik Mesin Universitas Gunadarma.

Owen Bishop, 2004. Dasar - dasar Elektronika, Erlangga, Jakarta.

Purnomo & Hari M., 2014. Konsep Dasar Teknik Elektronika Kelistrikan. Penerbit Alfabeta, Bandung.

Yossie,W., 2013. *Prototype* Pemanfaatan *Solar Cell* Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomatisasi Lampu Penerangan Taman, Universitas Negeri Yogyakarta.

Jurnal Ilmiah Setrum

Volume 9, No.1, Juni 2020 p-ISSN : 2301-4652 / e-ISSN : 2503-068X

Perancangan Konsep Alat Praktek PLTS Skala Rumah Tangga Berbasis *PV Roof Top Installation*

Stieven Netanel Rumokoy[1*], Christopel Hamonangan Simanjuntak[2], I Gede Para Atmaja[3], Jusuf Luther Mappadang[4]

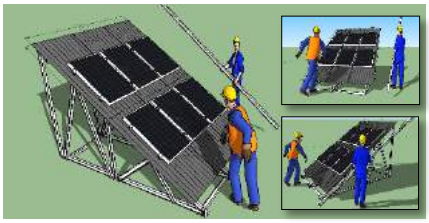
[1,2,3,4]Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado, Manado, Sulawesi Utara.

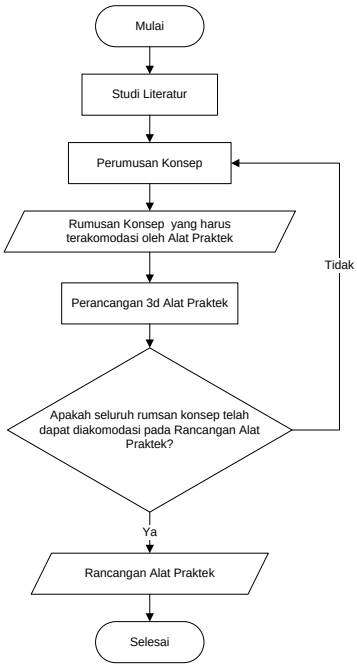
Informasi Artikel

Naskah Diterima : 2 April 2020
Direvisi : 25 Juni 2020
Disetujui : 27 Juni 2020

***Korespodensi Penulis :**
rumokoy@elektro.polimdo.ac.id

Graphical abstract





Abstract

Utilization of solar energy has increasingly developed. One of the technology for utilizing solar energy is to use solar panels to produce electricity. Solar panels can be installed on the roof top of the house to gain electrical energy on a household scale. The challenge is that there are still less trained worker who have the competences to install the Solar Panels system on the roof top of the houses. This research aims to create a practical tools to train workers to obtain roof top solar panel installation competence. The concept of a solar panel installation practice tools is a practical tools that shaped like a house roof with 3d details. The results of the concept design of solar panel installation practices tool which is shaped like a house roof can be used as a support tools for learning process on installation of the solar panel on the roof top. This tool can help worker to achieve the competences of the roof top solar panel installation..

Keywords: *Solar Energy, Solar Panel, Renewable Energy.*

Abstrak

Pemanfaatan energi surya semakin berkembang. Salah satu teknologi pemanfaatan energi surya adalah dengan menggunakan panel surya untuk menghasilkan energi listrik. Panel surya dapat dipasang di atap rumah untuk pemenuhan listrik dengan skala rumah tangga. Tantangan saat ini adalah masih kurang tenaga terlatih yang memiliki kompetensi untuk pemasangan panel surya di atap rumah. Penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu alat praktek untuk melatih pekerja mendapatkan kompetensi penginstalan panel surya di atap rumah. Konsep alat praktek instalasi panel surya yang dibuat menyerupai atap rumah dengan dengan detail 3d. Hasil yang diperoleh rancangan konsep alat praktek instalasi panel surya menyerupai atap rumah dapat memenuhi materi kebutuhan praktek instalasi panel surya. Alat praktek instalasi panel surya menyerupai atap rumah dapat membantu pencapaian kompetensi instalasi panel surya pada atap rumah bagi peserta praktek.

Kata kunci: Energi Surya, Panel Surya, Energi Terbarukan.

© 2020 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Indonesia terletak di daerah khatulistiwa sehingga memiliki intensitas penyinaran matahari yang baik sepanjang tahun. Kondisi penyinaran ini potensial untuk digunakan dalam pembangkitan listrik tenaga surya (PLTS) [1][2]. Dengan kondisi yang menguntungkan ini, Indonesia dapat menggunakan energi surya sebagai energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan harian. Pada masa ini, Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang giat dikembangkan oleh pemerintah Indonesia [3]. Berbagai kebijakan yang mendukung perkembangan pemanfaatan energi terbarukan

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

telah dibuat pemerintah Indonesia. Kebijakan yang dibuat telah meningkatkan pproduktifitas hasil energi yang berasal dari energi terbarukan. Pada sisi pemanfaatan energi surya, kebijakan tidak hanya bermain di lingkungan sektor besar saja. Kebijakan pemanfaatan energi surya pada skala rumah tangga telah selesai dibuat. Kebijakan yang dibuat oleh pemerintah Indonesia saat ini masih menuai kontroversi, tetapi ini merupakan langkah yang baik untuk pemanfaatan sumber energi terbarukan khususnya pemanfaatan energi yang berasal dari energi surya. Menggunakan energi surya dipandang baik terhadap beberapa aspek kehidupan. Energi surya adalah sangat luar biasa karena tidak bersifat polutif, tidak dapat habis, dapat dipercaya dan tidak dibeli [3]. Penggunaan sumber energi terbarukan merupakan solusi dalam menjawab tantangan krisis energi yang terjadi [4].

Pemanfaatan energi matahari dapat dilakukan dengan menggunakan panel surya (*solar module*). Panel surya akan mengkonversikan radiasi dari matahari menjadi energi listrik secara langsung, sehingga dapat diterapkan untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga. Dalam perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk skala rumah tangga membutuhkan perhitungan yang akurat agar biaya ke depan tetap ekonomis, efektif, dan efisien [5]. Pertimbangan keunggulan menggunakan energi surya dibandingkan dengan sumber energi yang lain perlu dianalisis dengan baik. Hal ini dikarenakan setiap daerah memiliki potensi sumber energi yang berbeda-beda. Panel surya dapat diinstal di atas atap, di atas bangunan, di tanah, dan berdiri sendiri menggunakan tiang. Tapi, di daerah pemukiman yang keterbatasan ruang menjadi kendala besar, atap rumah umumnya lebih disukai. Umumnya panel surya dipasang secara tetap (*fixed*) pada dudukannya [6]. Pemasangan panel surya di atas atap rumah memiliki tantangan tersendiri. Tantangan yang dihadapi adalah posisi panel surya yang akan diinstal berada di ketinggian tertentu. Tantangan lain adalah model atap rumah yang pada umumnya curam. Perlu kompetensi khusus dalam menginstalasi panel surya diatas atap rumah.

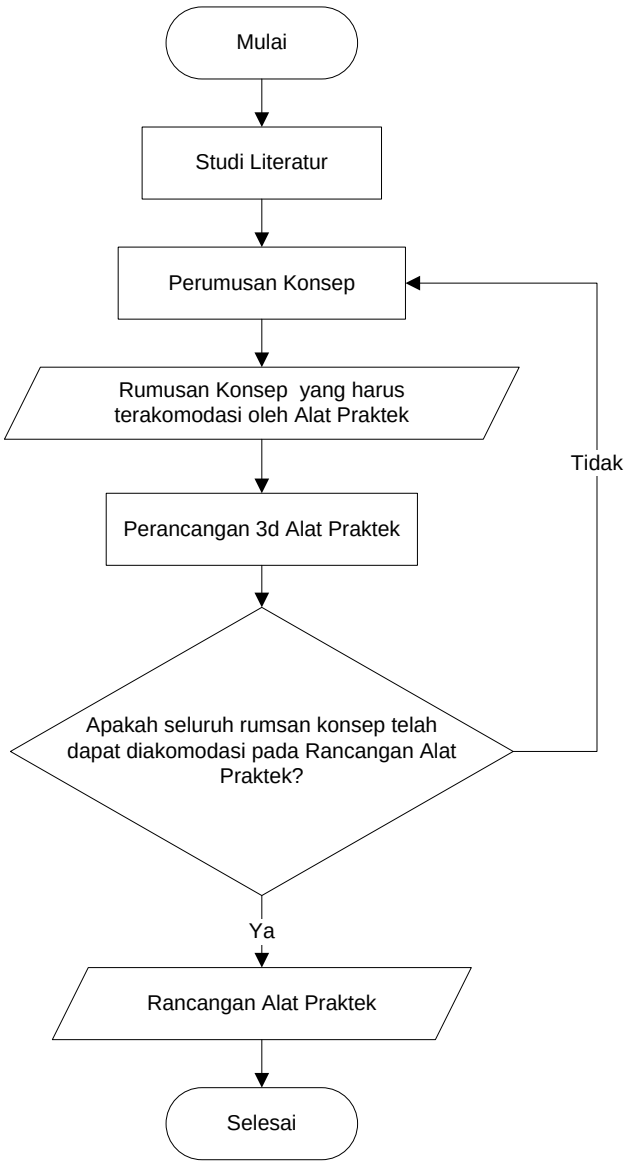
Dibandingkan teknologi energi terbarukan lainnya, seperti pembangkit listrik tenaga air (hidro), sistem PLTS relatif baru di Indonesia [7]. Pemerintah pertama kali mengimplementasikan sistem PLTS tersebar untuk listrik pedesaan pada tahun 1987. Seiring berjalannya waktu, penerapan sistem PLTS di Indonesia telah berkembang dari sistem tersebar ke sistem komunal atau terpusat. Terlepas dari kenyataan bahwa Indonesia telah menjajaki teknologi PLTS sejak tahun 1970-an, keahlian tentang sistem *fotovoltaik* masih dalam tahap awal. Hal ini disebabkan oleh kurangnya ketersediaan tenaga ahli, teknisi terampil, dan perusahaan rekayasa yang kompeten untuk merancang, membangun, dan memelihara sistem [8]. Keberhasilan pengoperasian PLTS bukan hanya dengan terpasangnya unit PLTS tetapi pada pengoperasian dan perawatan [9].

Salah satu tantangan untuk memenuhi kebutuhan ini adalah kurangnya Sumber Daya Manusia (SDM) yang cukup memenuhi standar, untuk penginstalan sistem PLTS skala rumah tangga. Kurangnya pekerja yang kompenten ini disebabkan masih minimnya pendidikan yang menunjang untuk melengkapi tenaga terdidik yang memiliki kemampuan ini. Dibutuhkan berbagai instrumen untuk melengkapi keahlian ini, salah satunya adalah modul pelatihan yang jelas untuk membantu mengarahkan proses pendidikan dalam hal pencapaian keahlian ini [10]. Penelitian ini dapat menjawab kebutuhan masyarakat Indonesia dalam pemenuhan pekerja yang memiliki kompetensi penginstalan panel surya khususnya pada skala rumah tangga. Penelitian ini dapat diaplikasikan dalam suatu modul pelatihan untuk mencapai kompetensi. Modul pelatihan berbasis kompetensi merupakan salah satu media pembelajaran yang dapat digunakan sebagai media transformasi pengetahuan, keterampilan dan sikap kerja kepada peserta pelatihan untuk mencapai kompetensi tertentu berdasarkan program pelatihan yang mengacu kepada standar kompetensi [11]. Dengan adanya alat praktek yang menyerupai kondisi layaknya dilapangan, para peserta praktek akan lebih mudah memahami teknik dalam penginstalan suatu sistem. Peserta praktek akan memiliki kemampuan yang cukup untuk melakukan pekerjaan saat menghadapi kondisi sebenarnya.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dimulai dengan studi literatur. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari hal-hal yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan dari penelitian. Dengan melakukan studi literatur, informasi penting akan dapat terkumpul. Melalui informasi yang di peroleh, kemudian rancangan konsep alat praktek kemudian dirancang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada langkah-langkah penelitian seperti pada Gambar 1.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



Gambar 1. Alur Penelitian

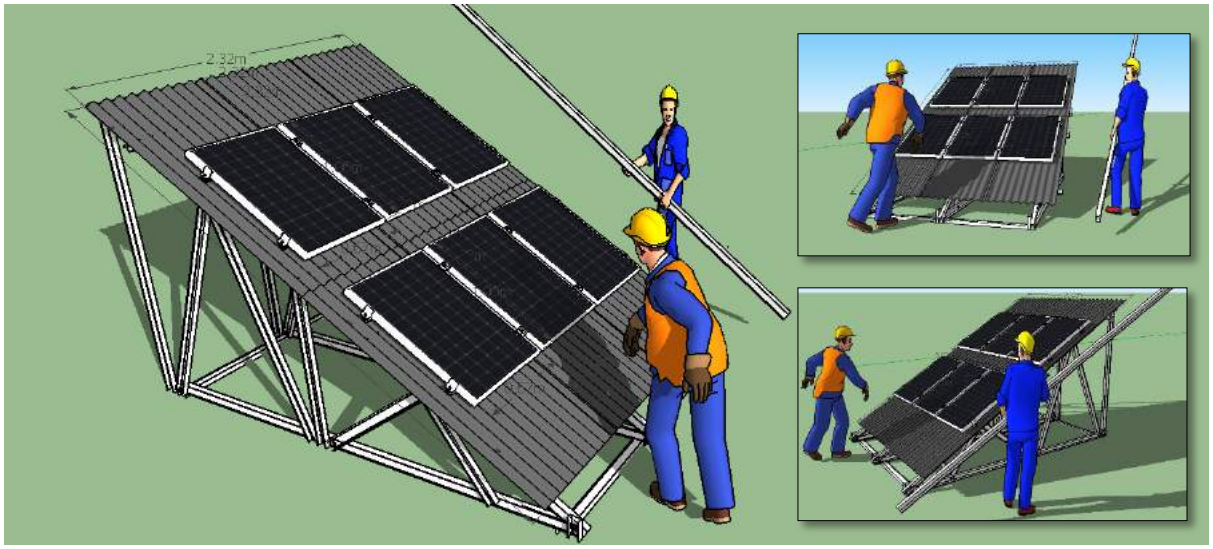
Pada tahap perumusan konsep, semua hal-hal yang perlu diakomodasi oleh alat praktek dikumpulkan. Tahap ini adalah dasar penentuan bentuk alat praktek yang akan dirancang kemudian. Perancangan alat akan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak 3d (tiga dimensi). Perancangan 3d ini untuk membantu visualisasi konsep yang dibuat. Visualisasi yang dibuat akan memiliki dimensi yang menyerupai kondisi alat praktek sebenarnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Detail Rancangan Alat

Rancangan alat praktek yang dibuat adalah alat praktek instalasi panel surya pada atap rumah yang menyerupai kondisi sebenarnya. Alat praktek yang dibuat menyerupai kondisi atap rumah dengan tujuan peserta praktek seakan-akan melakukan instalasi pada kondisi sebenarnya. Dengan membuat alat praktek yang mempunyai kemiripan dengan kondisi sebenarnya dapat mempermudah mencapai kompetensi tertentu. Alat praktek instalasi panel surya menyerupai atap rumah dapat membantu pencapaian kompetensi instalasi panel surya pada atap rumah bagi peserta praktek. Untuk lebih jelasnya, desain yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 2.

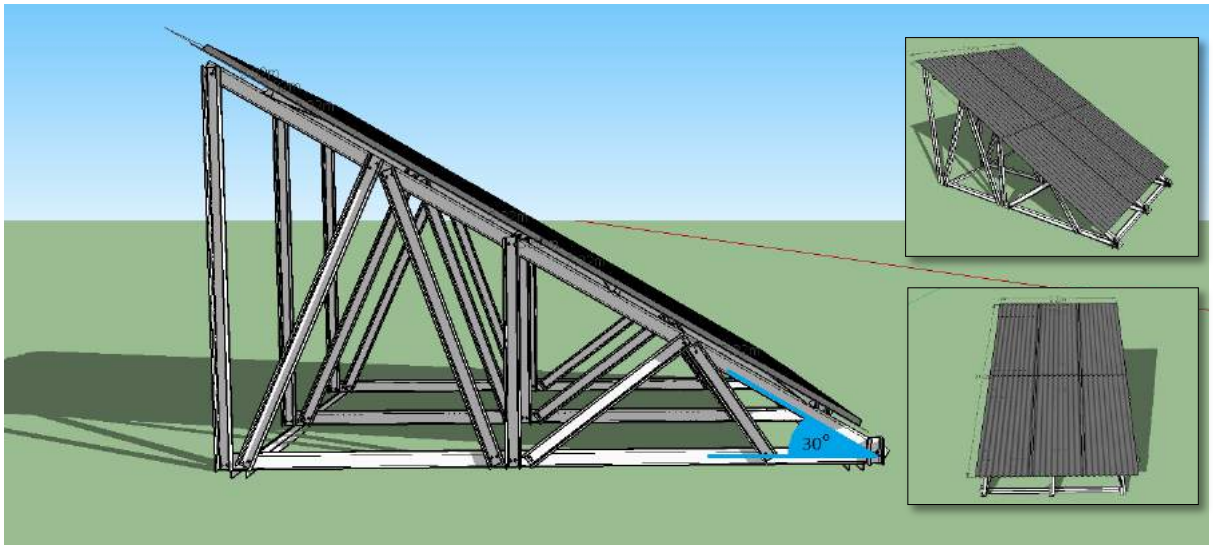
Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



Gambar 2. Detail Rancangan Konsep Alat

3.1.1. Kemiringan Prototipe Atap

Alat praktek yang dibuat memiliki sudut 30° untuk mendapatkan kemiringan bidang tempat penginstalan panel surya. Kemiringan ini sengaja dibuat seperti ini agar alat praktek seakan menyerupai bentuk atap rumah yang sebenarnya. Peserta praktek diharapkan bisa mendapatkan pengalaman seakan-akan sedang melakukan penginstalasian panel surya di atap rumah. Menginstal panel surya pada bidang miring memiliki tantangan tersendiri. Peralatan dan perlengkapan lebih mudah tergelincir dan dapat mengakibatkan kerusakan peralatan. Tantangan kecepatan penginstalan panel surya akan lebih besar juga jika dibandingkan penginstalan pada bidang datar. Kemiringan ini juga bertujuan untuk melatih peserta praktek agar dapat berhati-hati dalam melakukan penginstalan. Ada resiko kecelakaan yang fatal yang dapat terjadi karena atap rumah berada pada area yang tinggi. Dengan adanya model yang menyerupai atap rumah, peserta praktek diharapkan dapat mencapai kompetensi yang baik dalam instalasi panel surya skala rumah tangga.



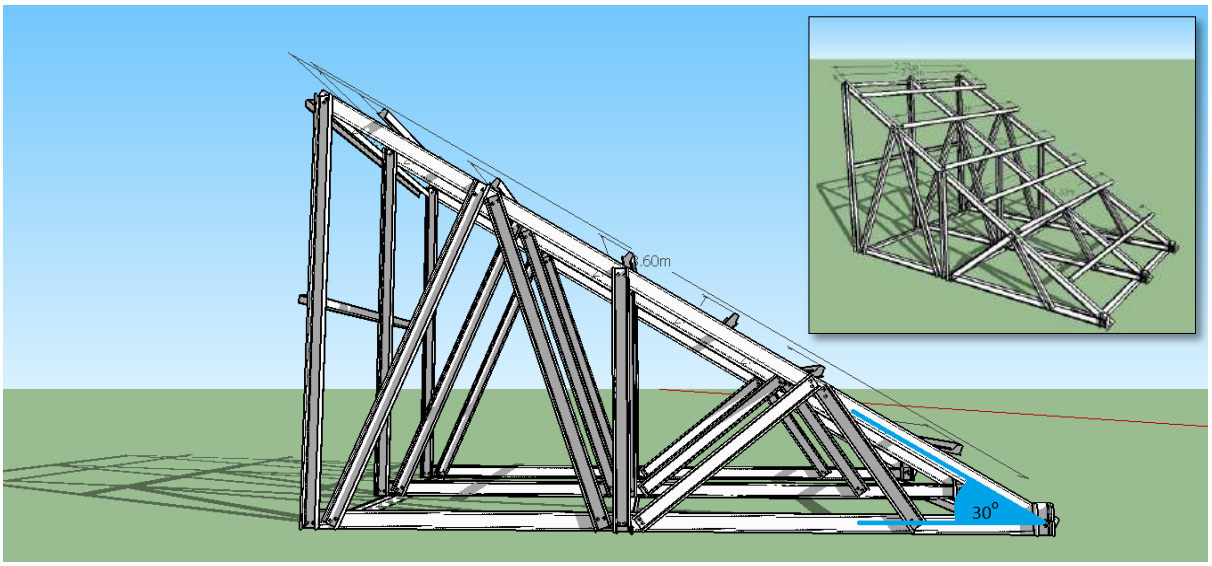
Gambar 3. Rancangan Kemiringan Alat Praktek

3.1.2. Rancangan Rangka Alat Praktek

Pada Rangka yang didesain menggunkan material baja ringan. Baja ringan telah banyak digunakan sebagai rangka untuk atap rumah. Dengan menggunakan jenis material yang mirip dengan kebanyakan dilapangan, diharapkan peserta praktek mendapatkan pengalaman yang lebih tajam dalam

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

proses penginstalasian panel surya. Desain rangka dibuat dapat menopang pekerja/peserta praktek untuk melakukan proses instalasi panel surya. Desain aplikasi alat yang dibuat memiliki kemiringan yang cukup curam untuk menambah tantangan sebagai capaian pengalaman. Peserta praktek akan mendapat pengalaman di area ketinggian dengan sedikit resiko jika terjadi kelalaian dalam pelaksanaan praktek.



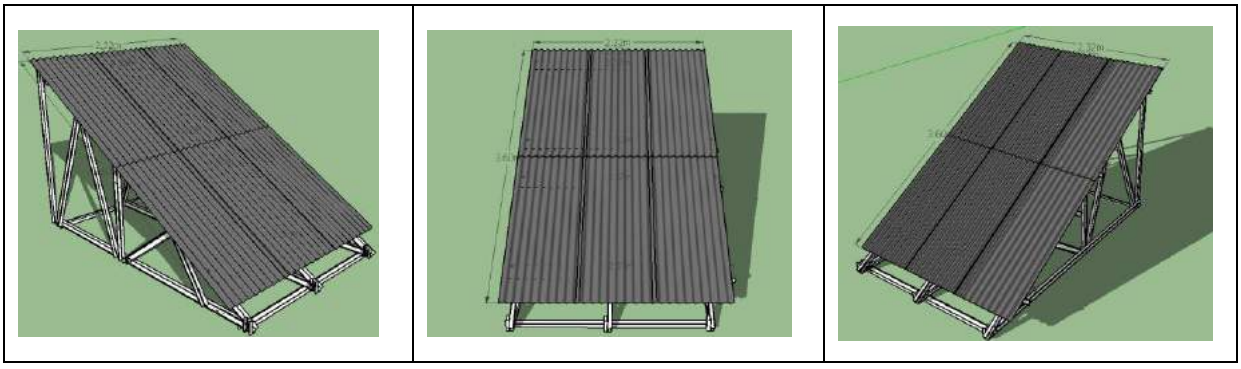
Gambar 4. Rancangan Rangka Alat Praktek

3.2. Penggunaan Alat

Pada dasarnya untuk penggunaan alat praktek yang dirancang ini dibagi dalam dua kelompok. Kelompok bagian tersebut adalah rakitan *fixed* (telah terpasang) dan rakitan praktek. Berikut konsep yang dibuat.

3.2.1. Rakitan *Fix*

Pada bagian rakitan *Fix*, rakitan awal rangka dan seng telah terpasang kokoh. Telah terpasangnya rangka dan seng dimaksudkan seperti layaknya dilapangan bagian atap telah tersedia. Bagian yang menyerupai atap ini harus dipastikan terinstal dengan kokoh. Bagian ini telah dibuat juga jalur untuk pengikat rel dudukan panel surya. Jalur untuk pengikat rel yang telah dibuat bertujuan untuk petunjuk posisi pemasangan rel. Dengan adanya petunjuk posisi bantu, diharapkan peserta praktek dapat langsung mendapatkan ide posisi penginstalan rel dudukan panel surya.



Gambar 5. Rakitan Fix

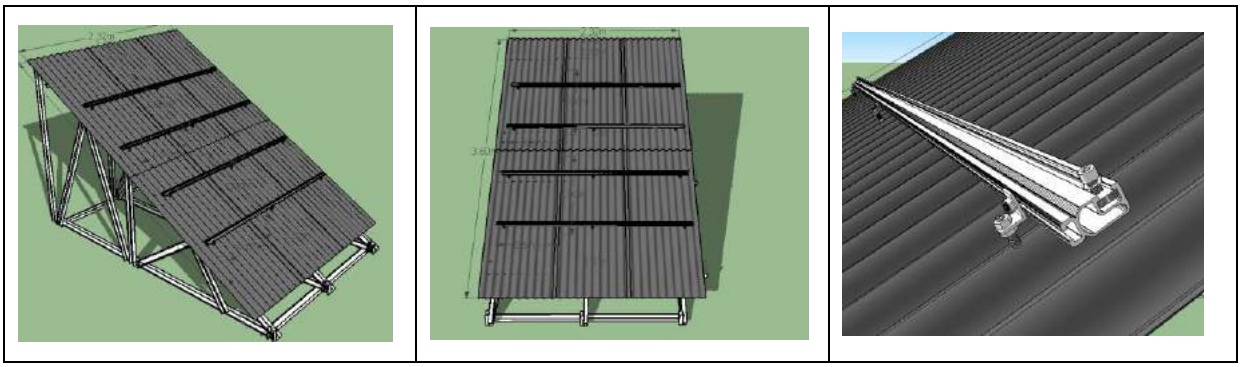
3.2.2. Rakitan Praktek

3.2.2.1. Pemasangan Rel

Tahap pemasangan rel adalah tahap dimana rel dikaitkan dengan konstruksi rangka. Tahap ini bertujuan agar peserta praktek dapat melakukan proses pemasangan rel tempat dudukan panel surya. Latihan pemasangan rel ini sangat perlu dilakukan karena rel dudukan panel surya berfungsi untuk

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

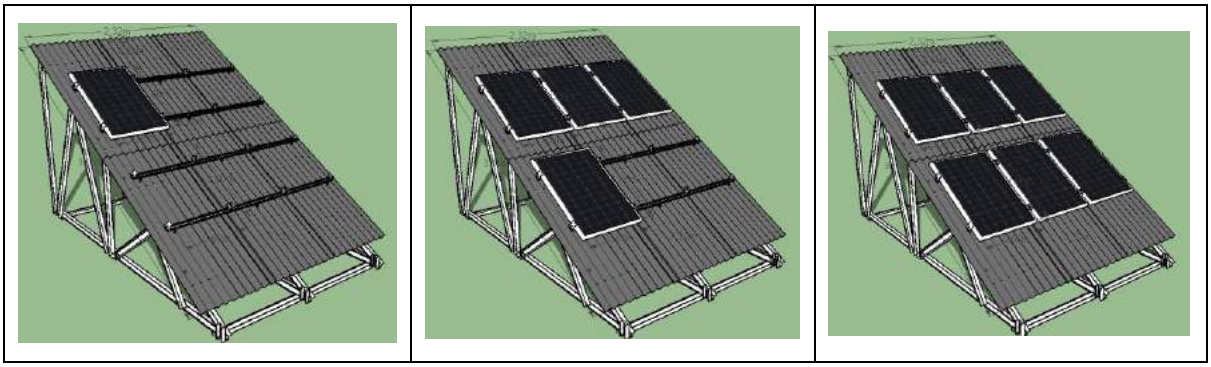
penopang panel surya yang akan diinstal. Rel harus terpasang dengan kokoh agar panel surya dapat diinstal dengan benar. Kerapihan pemasangan panel surya akan dimulai dari pemasangan rel tempat dudukan panel surya ini. Rel dudukan Panel Surya perlu diinstal dengan presisi agar posisi panel surya dapat terpasang sesuai dengan yang diinginkan,



Gambar 6. Pemasangan Rel

3.2.2.2. Pemasangan PV

Panel Surya diinstal dengan posisi yang presisi. Pemasangan yang presisi akan mempengaruhi kerja pengumpulan energi surya. Peserta praktek akan diminta memasang keenam panel surya dengan kemiringan yang sama. Pemasangan panel surya dengan tingkat kerapihan yang baik tidak mudah. Tantangan kemiringan dan ketinggian yang ada tempat penginstalan menjadi penyebab sulitnya melakukan hal ini. Proses penginstalan dapat dilakukan dengan dua orang peserta praktek dalam satu tim.



Gambar 7. Pemasangan PV

3.2.2.3. Pengkabelan

Pengkabelan dapat dilakuan dengan menyambung satu panel surya dengan panel surya lainnya. Pengkabelan dilakukan dengan arah susunan seri dan paralel. *Probe* sambungan perlu dipastikan agar tersambung dengan cukup kencang antara satu dengan yang lain. Pengkabelan wajib terikat rapih dengan memperhatikan posisi kabel agar tidak terjadi gesekan antara kabel dengan benda yang lain.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan alat praktek yang telah dibuat, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

a) Rancangan konsep alat praktek instalasi panel surya menyerupai atap rumah dapat memenuhi materi kebutuhan praktek instalasi panel surya.
b) Alat praktek instalasi panel surya menyerupai atap rumah dapat membantu pencapaian kompetensi instalasi panel surya pada atap rumah bagi peserta praktek.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

4.2 Saran

Beberapa pengembangan yang dapat dilakukan sebagai saran kedepan, diantaranya:

a) Desain perlu diaplikasikan dalam bentuk bangun rancang.
b) Perlu dibuatkan buku modul sebagai pedoman pelaksanaan praktek.

REFERENSI

[1] I. N. S. Kumara. *Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Urban dan Ketersediaannya di Indonesia*. 2010. Maj. Ilm. Teknol. Elektro, Vol. 9, No.1.

[2] R. Alfanz et al. *Rancang Bangun Penyedia Energi Listrik Tenaga Hibrida (PLTS- PLTB-PLN) Untuk Membantu Pasokan Listrik Rumah Tinggal*. 2015.Vol. 4, No. 2.

[3] G. Widayana. *Pemanfaatan Energi Surya*. 2012. JPTK. Vol. Vol 9 No.1, pp. 37–46.

[4] S. Putra, *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Mandiri Untuk Rumah Tinggal*. 2016. J. T. Mesin, F. T. Industri, and U. Trisakti, pp. 1–7.

[5] I. K. Bachtiar and M. Syafik. *Rancangan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Tangga menggunakan Software HOMER untuk Masyarakat Kelurahan Pulau Terong Kecamatan Belakang Padang Kota Batam*. 2016.Vol. 5, No. 02.

[6] D. Dzulfikar and W. Broto. *Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya*. 2016.Pros. Semin. Nas. Fis., Vol. V, pp. 73–76.

[7] A. Rondonuwu, A. Ramschie, and S. N. Rumokoy. *Analisis Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Pada Sungai Abuang Sulawesi Utara*. Fokus ELEKTRODA, Vol. 4, No. 3, pp. 1–5, 2017, doi: http://dx.doi.org/10.33772/jfe.v4i3.8894.

[8] B. Ramadhani. *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts*. 2018. p. 277.

[9] M. S. Boedoyo. *Potensi dan Peranan PLTS sebagai Energi Alternatif Masa Depan di Indonesia*. 2012. P. Teknologi, and S. Energi, Vol. 14, No. 2, pp. 146–152.

[10] S. N. Rumokoy and C. H. Simanjuntak. *Perancangan Konsep Modul Praktek Instalasi PLTS Skala Rumah Tangga Berbasis Kompetensi Berorientasi Produksi*. Fokus Elektroda, Vol. 04, No. 04, pp. 6–12, 2016, doi: http://dx.doi.org/10.33772/jfe.v4i4.8897.

[11] H. Masrianto. *Modul pelatihan berbasis kompetensi*. 2016. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Konstruksi Direktorat Bina Kompetensi dan Produktivitas Konstruksi.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

CYCLOTRON
VOLUME 2 NOMOR 1, JANUARI 2019

P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164

Perancangan Perahu Nelayan Ramah Lingkungan Menggunakan Motor Listrik Bertenaga Surya

Belly Yan Dewantara[1], Iradiratu D.P.K[2], Daeng Rahmatullah[3,] dan Istiyo Winarno[4]
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan
Universitas Hang Tuah Surabaya[1,2,3,4]
e-mail: bellyyandewantara@yahoo.com, iradiratu@hangtuah.ac.id,
daengrahmatullah@gmail.com, istiyo.winarno@gmail.com

***Abstrak*— Penggerak perahu nelayan secara umum menggunakan mesin tempel yang menggunakan energi fosil (bahan bakar minyak bumi/BBM). Penggunaan BBM semakin banyak, dapat menyebabkan polusi udara. Sejalan dengan ini pemerintah juga mencanangkan hemat BBM dan BBM sudah tidak ada subsidi lagi. Hal ini menyebabkan biaya operasional bagi pengguna mesin tempel perahu nelayan semakin besar. Selain itu mesin perahu nelayan dengan menggunakan BBM dapat menimbulkan suara bising yang merambat ke dalam air laut, sehingga ikan bergerak menjauhi perahu. Hal ini menjadi kendala yang harus dipecahkan. Kendala-kendala ini dapat diantisipasi dengan mengganti mesin tersebut dengan mesin DC. Mesin DC sebagai penggerak perahu menggunakan listrik DC yang di suplai menggunakan baterao sehingga tidak menimbulkan suara bising dan tidak membuat ikan menjauh dari perahu nelayan. Pada penelitian ini akan diterapkan juga sumber listrik ramah lingkungan menggunakan tenaga matahari untuk sumber listrik pengisian baterai motor sehingga penggunaan perahu nelayan dapat lebih lama dan nelayan tidak perlu khawatir kehabisan daya listrik selama panel surya mendapat paparan energy matahari. Perahu nelayan dengan penggerak motor listrik nantinya akan dilengkapi beberapa komponen antara lain 2 buah solar cell 100 WP, 1 buah baterai 100 Ah, dan motor listrik daya 500 watt.**

Kata kunci: **Surya, Motor DC, Energi Terbarukan, Perahu Nelayan.**

Abstract*— *The driver of a fishing boat generally uses an outboard engine that uses fossil energy (petroleum / fuel). Increasing use of fuel, can cause air pollution. In line with this, the government has also planned to save fuel and fuel no more subsidies. This causes the operational costs for users of fishing boat outboard engines to increase. In addition, the fishing boat engine using fuel can cause noise that propagates into the sea water, so the fish moves away from the boat. This is an obstacle that must be solved. These obstacles can be anticipated by replacing the engine with a DC engine. The DC engine as a boat driver uses DC electricity which is supplied using batteries so it does not cause noise and does not keep the fish away from the fishing boat. In this research, environmentally friendly electricity sources will also be used using solar energy for motorbike charging, so that the use of fishing boats can be longer and fishermen do not have to worry about running out of electricity as long as solar panels get sun exposure. A fishing boat with an electric motor drive will be equipped with several components including 2 100 WP solar cells, 1 100 Ah battery, and a 500 watt electric motor.
Keywords: Solar, DC motors, renewable energy, fishing boats.

Keywords*: *Solar, DC Motors, Renewable Energy, Fishing Boats.

I. PENDAHULUAN

Saat ini perkembangan teknologi perkapalan di Indonesia telah mencapai kemajuan tingkat internasional, perkembangan dibidang perkapalan tersebut merupakan bagian dari pengembangan teknologi pada umumnya di Indonesia. Usaha untuk mengembangkan, menerapkan dan menguasai teknologi perkapalan telah dilakukan secara terencana, tertib dan terarah dengan memanfaatkan semua sumber daya yang dimiliki. Pengembangan teknologi perkapalan ini sudah cukup maju dan merupakan indikasi kemampuan penguasaan teknologi dalam bidang kelautan.

Umumnya perahu nelayan menggunakan mesin diesel sebagai tenaga penggerak baling-baling atau propeler, namun penggunaan mesin diesel sebagai tenaga penggerak baling-baling memiliki beberapa permasalahan dan kelemahan, antara lain: menimbulkan kebisingan sehingga membuat ikan menjauh dari perahu nelayan, harga bahan bakar semakin mahal. Oleh karena itu untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu adanya alternatif mesin yang digunakan sebagai penggerak perahu. Sebagai salah satu

P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164

alternatif pemecahan masalah tersebut, maka perlu dikaji penggunaan motor listrik sebagai penggerak kapal.

Kelemahan dari penggunaan motor listrik di perahu nelayan adalah sumber kelistrikan untuk menyuplai motor listrik masih menggunakan baterai/aki sehingga penggunaannya sangat terbatas, maka dari itu dalam penelitian ini dilakukan penerapan penggunakan panel surya yang memanfaat energi matahari sebagai sumber kelistrikan untuk pengisian ulang baterai/aki pada perahu nelayan.

Dalam penyelesaian masalah tersebut maka beberapa analisa yang dilakukan adalah bagaimana membuat *alternative* penggerak pada perahu nelayan dengan menggunakan motor listrik dan bagaimana cara memanfaatkan energi terbarukan khususnya energi matahari dalam mendukung kebutuhan sumber listrik pada perahu nelayan.

Tujuan yang ingin dicapai dalam pembuatan penelitian ini adalah untuk merencanakan, merancang dan membuat perahu nelayan yang menggunakan penggerak motor listrik dengan memanfaatkan energi matahari sebagai sumber kelistrikan yang digunakan untuk charging baterai dan kebutuhan kelistrikan lainnya.

Sehingga nantinya dapat memberikan manfaat pengaplikasian energi terbarukan khususnya energi matahari dalam bidang kemaritiman dan juga memberikan solusi alternatif bagi nelayan untuk menggunakan penggerak perahu dengan sumber energi yang ramah lingkungan.

II. METODE PENELITIHAN

Dalam pengerjaan penelitian ini perlu adanya rancangan metodologi dalam penyelesaian penelitian ini adalah:

1. Tahap Pertama Pengumpulan Data.
   Studi literatur, pembuatan, perancangan *system* propulsi dan penulisan penelitian ini berdasarkan literatur- literatur, jurnal dan lain–lain.
2. Tahap Kedua Pembuatan Perahu Nelayan
   Penentuan ukuran utama perahu. Untuk menentukan ukuran perahu didasarkan pada, bahwa perahu ini sebagai perahu untuk nelayan, Perancangan dan Pembuatan perahu nelayan dengan jumlah penumpang maksimal 2 orang, dengan beban yang lain yaitu poros, motor listrik tempel, modul *solar cell* 2x100 wp, tiang, baterai 12 volt 100ah dan sistem kemudi.
   Pembuatan rencanan umum. Pengambaran rencana umum berdasarkan bentuk lambung yang diperoleh dari rencana garis dan disesuaikan dengan pemanfaatan ruang perahu.
   Pembuatan *body* perahu. Dengan bahan fiberglas dilakukan lapisan demi lapisan sehingga untuk panjang perahu rencana menggunakan 4 lapisan
3. Tahap Ketiga Pemasangan Komponen
   Pemasangan Modul sel surya dan sistem propulasi. Pemasangan tiang–tiang penyangga modul sel surya. Pemasangan system propulasi yaitu *steam turbine*, poros, *propeller*, motor dan baterai. Pemasangan system kemudi dan instalasinya. Pemasangan tempat duduk baik pengemudi maupun penumpang.
4. Tahap Keempat Pengujian Perahu.
   Dari data ukuran utama perahu diperoleh hal-hal berikut:
   Perhitungan tahanan perahu dengan metode Holtrop menghasilkan komponen tahanan gesek, tahanan transom, tahanan gelombang dan tahanan total. Grafik hubungan antara tahanan total dengan daya efektif. Penentuan parameter propulsi, daya listrik dari sel surya dan laju pengisian baterey (aki).
5. Tahap Kelima Pembahasan Hasil. Penelitian.
   Jumlah jam eksploitasi perahu. Konfigurasi system sel surya (*solar cell*)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara garis besar, jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimental. Adapun beberapa aspek yang penting dalam penelitian ini antara lain memperhatikan aspek karakteristik komponen yang digunakan, sehingga bisa membuat perahu listrik yang akan didesain sesuai dengan target sasaran yang diinginkan. Berikut merupakan bagian bagian penting dalam penelitian ini:

1. Perancangan perahu nelayan
   Perahu nelayan yang akan dibuat berukuran sedang dengan daya tampung maksimum 2 orang, dimensi panjang perahu dibuat 3 meter dengan demikian Lebar, Sarat dan Tinggi perahu dapat diperoleh dari rasio perbadingan ukuran perahu sebagai berikut :

L/B = 3,0 - 4,0
3/B = 3,0
B = 1,00 m = 100 cm
B/T = 2,7 – 4,8
1,00/T = 3,30
T = 0,30 m= 30 cm

Pada umumnya lebar perahu kurang lebih 1,80 tinggi perahu sehingga tinggi perahu dapat diperoleh sebesar :
B = 1,80 . H
H = 1,00/1,80
H = 0,55 m = 55 cm

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa ukuran utama perahu rancangan adalah sebagai berikut :
Panjang (L) = 3,0 m = 300 cm
Lebar (B) = 1,00 m = 100 cm
Sarat (T) = 0,30 m = 30 cm
Tinggi (H) = 0,55 m = 55 cm

Perahu nelayan yang akan dibuat berukuran sedang dengan daya tampung maksimum 2 orang, dimensi panjang perahu dibuat 3 meter dengan demikian Lebar,

P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164

Sarat dan Tinggi perahu dapat diperoleh dari rasio perbadingan ukuran perahu sebagai berikut :

L/B = 3,0 - 4,0
3/B = 3,0
B = 1,00 m = 100 cm
B/T = 2,7 – 4,8
1,00/T = 3,30
T = 0,30 m= 30 cm

Pada umumnya lebar perahu kurang lebih 1,80 tinggi perahu sehingga tinggi perahu dapat diperoleh sebesar :
B = 1,80 . H
H = 1,00/1,80
H = 0,55 m = 55 cm

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa ukuran utama perahu rancangan adalah sebagai berikut :
Panjang (L) = 3,0 m = 300 cm
Lebar (B) = 1,00 m = 100 cm
Sarat (T) = 0,30 m = 30 cm
Tinggi (H) = 0,55 m = 55 cm

2. Pemilihan Motor Listrik

Pada penelitian ini kecepatan laju perahu tidak diprioritaskan dikarenakan penggunaan hanya untuk nelayan. Motor listrik yang akan digunakan berupa motor DC dengan rate tegangan 12 V dengan kapasitas 450 watt. Berdasarkan paper [2] tentang kebutuhan daya dalam kecepatan kapal makan konsumsi daya 450 watt dapat digunakan untuk kecepatan 2-3 knot. Berikut merupakan spesifikasi lengkap motor listrik yang akan digunakan :



Gambar 1. Desain motor listrik tenaga surya

Tabel 1. Spesdifikasi motor listrik

Spesifikasi	
Fuel Type	*Electric*
Tenaga	500 watt
Voltage	*12 Voltage*
Berat *Produck*	15 kg
Berat *Packing*	15.63 kg

3. Perhitungan Nilai Baterai Perahu Nelayan

Dalam pemilihan baterai harus disesuaikan dengan kebutuhan daya. Dalam perencanaan kebutuhan listrik yang akan disuplai oleh panel surya ke baterai difokuskan untuk kebutuhan listrik motor penggerak propeller perahu. Baterai yang digunakan sebagai sumber listrik untuk motor listrik pada perahu ini adalah aki jenis *deep cycle* 12 volt sehingga bisa secara langsung digunakan oleh motor karena memiliki rate tegangan yang sama tanpa memerlukan adanya converter tambahan lainnya.
Perahu ini didesain dengan penggunaan per harinya selama 2 jam, maka dibutuhkan kapasitas baterai yang dapat menyuplai listrik selama 2 jam terhadap mesin penggerak.
Baterai = 2 jam x 500 watt
= 1000 watt
Berdasarkan kebutuhan kapasitas baterai tersebut maka baterai yang digunakan adalah dengan sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Baterai

Spesifikasi	Keterangan
Nominal Voltage	12V
Rated Capacity	100Ah
Model	VRLA *Battery*
Dimension (cm)	33 x 17.5 x 24
Weight	30.75 Kg

4. Pemilihan Nilai Panel Surya

Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel surya dengan kapasitas 100 wp yang nantinya ditempatkan diatas perahu sekaligus sebagai atap perahu.
Berikut jenis panel surya yag digunakan:

Tabel 3. Spesifikasi Panel Surya

100 W MONO- CRYSTALLINE SOLAR PANEL
Peak Power : 100 W
Grade : A
Merk : Solarimba
Power Tolerance (%) : +/- 3%
Cell Efficiency : 18%
Open Circuit Voltage (Voc) : 21.6 V
Short Circuit Current (Isc) : 6.1 A
Maximum Power Voltage (Vmp) : 18 V
Maximum Power Current (Imp) : 5.56 A
Number of Cell (Pcs) : 36 (4 x 9) Pcs
Operating Temperature (C) : -40 C to +85 C
Dimensions (mm) : 1196 x 541 x 30 mm
Weights (Kg) : 7 Kg

Penggunaan panel surya dengan kapasitas 100 wp terbatas oleh jumlah, karena luas kapal hanya 300 x 100 cm maka penggunaan panel surya hanya bisa sebanyak 2 buah panel dengan ukuran 119x54 cm per ukuran panel surya.

Berdasarkan [3] penyinaran maksimal matahari di Indonesia dalam satu hari hanya 3 jam, maka dapat ditentukan panel surya dapat menyuplai listrik:

Jumlah = 3 jam x (2 buah x 100wp)
= 600 watt

Maka dalam satu hari panel surya mampu mengisi baterai sebanyak 60% dari kapasitas penuh 1000 watt (efisiensi

P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164

baterai 80%). Untuk menggunakan perahu dengan penggerak mesin listrik selama 2 jam dibutuhkan penyimpanan atau pengisian daya baterai oleh panel surya selama 2 hari sehingga baterai terisi penuh dan dapat digunakan optimal oleh mesin perahu.

5. Perencanaan Pemilihan Nilai *Solar Charge Control*

Solar charge control yang dipilih merupakan jenis PWM dikarenakan untuk daya dibawah 200 watt lebih efisien menggunakan SCC jenis PWM.
Berikut merupakan spesifikasi solar charge control yang digunakan :

Tabel 4. Spesifikasi SCC

STEC PWM Solar Charge Controller LCD USB 20A
Rated Voltage: 12V/24V(Auto recognition)
Rated Current: 20A
Charging Mode: PWM
USB output: 5V/3A
Self-consume: 10mA
Operating Temperature: -35 ~ 60"'
Storage Temperature: -35 ~ 60"'
Color: *Blue (As pictures show*)

Nilai kerja dari SCC ditentukan berdasarkan Isc pada panel surya. Jika kita lihat pada spesifikasi panel surya Isc untuk 1 buah panel surya adalah 6,1 A, dan karena kebutuhan baterai yang digunakan adalah baterai dengan tegangan kerja 12 V maka, 2 buah panel surya harus dihubungkan parallel sehingga menghasilkan tegangan tetap namun arus meningkat menjadi 2 x Isc panel surya = 12,2 A. Maka dari itu diperlukan kontroler surya yang dapat dilalui arus sebesar 12,2 A, pada penelitian ini digunakan SCC sebesar 20 A.

IV. KESIMPULAN

1. Dengan penggunaan jumlah panel surya yang terbatas berdampak pada pengisian baterai yang lama, untuk memenuhi baterai dengan kapasitas 12V 100Ah memerlukan waktu 5 jam. Sedangkan penyerapan maksimal panel surya hanya 3 jam per hari. Sehingga dibutuhkan waktu 2 hari agar baterai terisi penuh.
2. dalam penyerapan satu hari hanya mampu digunakan perahu beroperasi selama 1 jam.
3. Penggunaan baterai 100Ah tipe deep cycle VRLA pada perahu tidak cocok karena memiliki bobot terlalu berat yang menjadi hambatan beban kerja mesin.
4. Penggunaan panel surya jenis kontruksi fixed juga menambah beban berlebih pada mesin, akan lebih mengurangi beban motor jika menggunakan jenis yang fleksibel.

REFERENSI

[1] Jha, A.R. (2010). *Solar cell technology and applications, Taylor and Francis Group, LLC*. London
[2] Tiwari, G. N., & Swapnil, D. (2009). *Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Aplications*.
[3] Winarni, D. (1997). *Studi tentang perencanaan pada Kalimas dan hubungannya dengan perilaku masyarakat disekelilingnya*, ITS-Surabaya.
[4] Captain, D. R. Derrett. (2001). *Ship Stability for Masters and Mates*, Fifth edition, Butterworth Heinema.
[5] Sarwono. (1990). *Analisa Kualitas Sel Surya Sebagai Pembangkit Tenaga Listrik Skala Laboratorium*, ITS-Surabaya.
[6] F, Lumenta. (1997). *Optimasi Dalam Penentuan Ukuran Pokok kapal-kapal Rakyat Di Maluku*, Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Universitas Pattimura, Volume 2.

JURNAL ILMIAH
REKAYASA
http://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa

Volume 10 No 2, Oktober 2017 Hlm 123-127
ISSN 0216-9495 (Print)
ISSN 2502-5325 (Online)

Perancangan Thermoelectric Generator (TEG) sebagai Sumber Energi Terbarukan

Faikul Umam [1*], Hairil Budiarto [2], Sri Wahyuni [3]
[1,2,3] Fakultas Teknik Universitas Trunojoyo Madura
*faikul@trunojoyo.ac.id
DOI: http://dx.doi.org/10.21107/rekayasa.v10i2.6345

Abstrak: *Kebutuhan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik semakin meningkat, sehingga cadangan bahan bakar semakin menipis. Energi listrik merupakan energi yang sangat mudah untuk dipergunakan, karena sangat mudah dikonversi menjadi bentuk energi lain dengna mudah dan efisien. Pemerintah telah mencanangkan untuk berhemat energi dan memberikan program program perancangan energi terbarukan melalui perubahan energi matahari, angin, air dan biomassa. Penelitian energi terbarukan pada solar cell, micro hydro dan biomassa telah banyak dilakukan, isu terkini pada energi terbarukan adalah pemanfaatan panas buang (waste heat), pada dunia industri dan permesinan seperti automobiles, boilers dan radiator pada mobil dan kapal banyak menyumbang panas yang terbuang. Thermoelectric generator (TEG) merupakan jenis semikonduktor yang dapat menghasilkan tegangan berdasarkan perbedaan temperatur yang melewati kedua sisi alatnya. Perancangan media ajar energi terbarukan dengan memanfaatkan Thermoelectric generator (TEG) akan menggunakan dua jenis fluida yaitu fluida panas da fluida dingin, untuk membangkitkan fluida panas digunakan heater dan untuk fluida dingin akan menggunakan air es. Metode pada penelitian ini adalah eksperimental dari 5 TEG yang disusun secara seri dan di paralel dengan 5 TEG berikutnya. Data hasil percobaan bahwa media ajar TEG dapat menghasilkan tegangan 9,20 volt pada kondisi fluida panas pada temperatur 64oC dan fluida dingin pada temperatur 11oC, sedangkan perbedaan temperatur (ΔT=53oC)*.

Kata Kunci: *media ajar, energi terbarukan, TEG*

PENDAHULUAN

Ketergantungan pada bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik semakin meningkat dari tahun ketahun, namun demikian cadangan bahan bakar fosil akan terus menipis seperti minyak & gas bumi adalah sumber yang paling banyak digunakan namun tidak dapat diperbaharui [1]. Isu masalah energi dan permintaan untuk sumber energi alternatif sangat diperlukan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil tersebut, bagi perkembangan suatu negara, krisis energi memaksa untuk mencari sumber alternatif energi baru terbarukan yang ramah lingkungan sehingga tidak berdampak buruk bagi lingkungan.

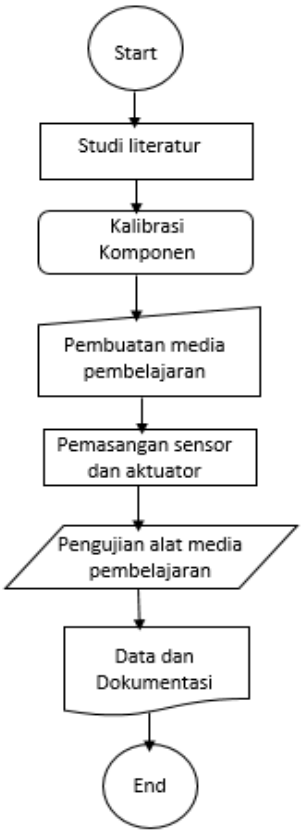
Pada pembuatan media ajar ini, kami menggunakan satu perangkat yang digunakan untuk dibuat dan diperkenalkan oleh manusia sebagai energi terbarukan yaitu thermo electric peralatan generator untuk menghasilkan listrik. Seperti kita tahu energi terbarukan adalah, energi matahari, angin energi, energi air, energi gelombang laut, dll, energi tersebut dapat menghasilkan listrik dalam berbagai bentuk dan metode. Namun beberapa penggunaannya memiliki kekurangan. Sel surya adalah yang paling umum digunakan di aplikasi seperti industri rumah tangga dan sistem kelistrikan pesawat ruang angkasa. Namun, jika tidak ada cahaya matahari tidak akan ada produksi listrik sumber alternatif diperlukan untuk menghasilkan

listrik. Energi angin dan hidro listrik punya kekurangan yqng membuat mereka lebih sedikit daya produksi dan tidak cukup untuk penggunaan yang lebih luas. Dunia industri dan permesinan, menghasilkan panas buang yang sangat banyak, jika panas tersebut dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik maka kita dapat menghemat bahan bakar, dengan memanfaatkan *Thermoelectric generator* (TEG) pada sisi panas dilewati fluida panas (berupa air panas) dan sisi dingin dilewati fluida dingin (air es), maka TEG tersebut akan menghasilkan *voltage* listrik [2].

METODE PENELITIAN

A. Alur Sistem

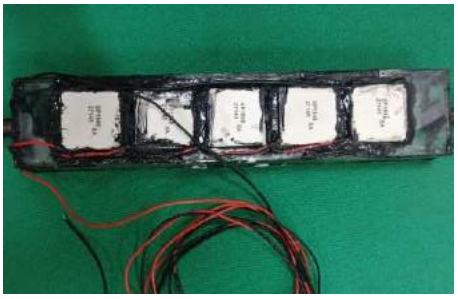
Pembuatan media ajar dilakukan di Laboratorium Mekatronika fakultas Teknik Universitas Trunojoyo madura, fluida panas yang digunakan adalah air panas yang dipanaskan dengan bantuan heater, fluida dingin yang digunakan adalah air es. Sebagai aktuator digunakan pompa air mini untuk memompa kedua fluida tersebut. Sensor temperatur mengguakan LM35 yang tahan air, dua buah sensor diletakkan pada aliran fluida panas dan fluida dingin untuk mencatat keluaran temperatur dan ditampilkan pada LCD. Percobaan dengan memerikan beban berupa lampu LED 12 volt. Langkah langkah pembuatan dan pegujian media ajar, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Sistem

B. Spesifikasi TEG

Seperti pada Gambar 2, TEG pada penelitian ini menggunakan tipe TEG127-40A, sedangkan semikonduktor yang digunakan adalah Bismuth (Bi) dan Telurium (Te). Selain itu digunakan heatsink sebagai sistem pendingin. Hal ini dilakukan agar penyerapan panas lebih maksimal dari sisi dingin TEG127-40A.



Gambar 2. Rangkaian seri dan paralel TEG127-40A

C. Thermoelectric Generator (TEG)

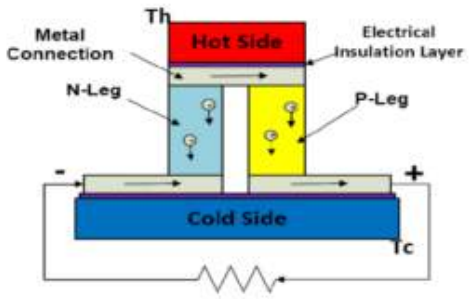
Konversi energi panas menjadi energi listrik sedang marak dilakukan oleh para peneliti salah satunya menggunakan Thermoelectric *Generator* (TEG) [3][4]. TEG terdiri dari sisi panas dan sisi dingin yang memungkinkan dapat mengalirkan elektron dari sisi panas ke sisi yang lebih

dingin. Thermoelectric memiliki tiga antara lain Seebeck Effect, Peltier Effect, dan Thomson Effect [5]. Seperti pada Gambar 3, penjelasan seebek terkait hal ini yakni jika kedua simpangan stabil pada temperatur berbeda, maka akan menghasilkan tegangan. Konduktifitas termal air biasanya lebih tinggi dari pada udara, sehingga koefisien perpindahan panas lebih maksimal [6].

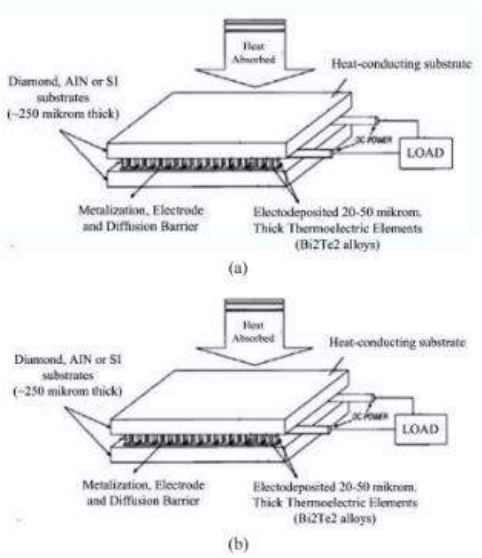
Aliran daya thermoelektrik menggunakan konsep aliran fluida, yaitu aliran panas tertutup seperti seperti pada persamaan 1. Pada kasus penggunaan logam, koefisien Seebeck sangat kecil, oleh karena itu digantikan dengan bahan semikonduktor misalnya germanium-silikon dengan koefisien 830 µV/K [7].

$$V = \int_{T_1}^{T_2} \left[\alpha_B(T) - \alpha_A(T)\right] dT. \quad \textbf{(1)}$$

Efek Peltier merupakan kebalikan efek Seebeck yakni perbedaan temperatur disebabkan oleh tegangan, dan ketidak stabilan temperature yang disebabkan oleh koefisien Seebeck merupakan efek Thomson. Dari sini TEG dibangun menggunakan prinsip dasar efek Seebeck, sehingga panas yang tersedia di bumi dapat dimanfaatkan lebih maksimal [8]. Modul thermoelectric generator dapat dilihat pada Gambar 4(a) dan Gambar 4(b).



Gambar 3. Prinsip Kerja TEG

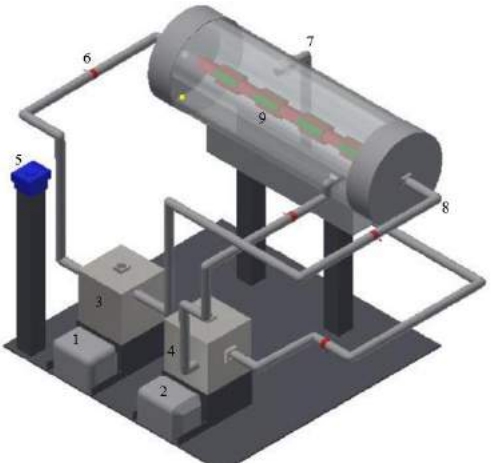


Gambar 4 (a)(b). Diagram Skematik TEG

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain media ajar TEG

Proses pembuatan alat ini dilakukan sepenuhnya dilaboraturium Mekatronika Dasar Universitas Trunojoyo Madura, media ajar menggunakan TEG sebanyak 5 buah yang dirangkai secara seri dan diparalel dengan 5 buah TEG yang dirangkai secara seri juga. Berikut adalah skema rancangan alat yang dibuat pada Gambar 5



Gambar 5. Desain media ajar

Keterangan :

1. Pompa fluida panas (heat pump)
2. Pompa fluida dingin (cold pump)
3. Tangki fluida panas
4. Tangki fluida dingin
5. Volt meter (display tegangan yang dihasilkan)
6. Valve kran
7. Fluida dingin masuk
8. Fluida dingin keluar
9. Generator thermal(TEG)

Media ajar energi terbarukan dengan memanfaatkan TEG seperti pada Gambar 6., langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian pada media ajar tersebut.



Gambar 6. Hasil Pembuatan Alat

Pengujian Alat

Sebelum mengetahui data hasil percobaan yang telah dilakukan terlebih dahulu mengetahui dan menghitung parameter pengukuran yang akan dilakukan :

a. Tegangan maksimal yang dihasilkan TEG
   Menurut *datasheet* untuk 1 buah TEG memiliki dengan kapasitas panas maksimal 150° dapat menghasilkan tegangan listrik sebesar 4,8 V. Percobaan ini menggunakan 5 buah TEG yang disusun secara seri sehingga kapasitas tegangan maksimal (diasumsikan panas yang diberikan maksimal) yang akan dihasilkan adalah :
   V_{total} = TEG_1 + TEG_2 + TEG_3 + TEG_4 + TEG_5
   V_{total} = 4,8 +4,8 +4,8 +4,8 +4,8
   V_{total} = 24 V
b. Arus maksimal yang dihasilkan TEG
   Menurut *datasheet* untuk 1 buah TEG memiliki dengan kapasitas panas maksimal 150° dapat menghasilkan arus listrik sebesar 669 mA. Namun dalam penelitian ini penggunaan arus diabaikan. Hal ini dilakukan karena susunan rangkaian TEG berupa rangkaian seri yang menurut hukum pembagi arus, arus akan bernilai tetap apabila sebuah rangkaian disusun seri.

Penelitian ini terbagi menjadi 2 siklus yakni siklus naik dan siklus turun. Siklus naik adalah percobaan dimana suhu awal dibiarkan sama dengan suhu ruang yang kemudian diberikan perlakuan pada masing-masing tabung fluida. Tabung I diberikan perlakuan pemanasan, sedangkan Tabung II diberikan perlakuan pendinginan. Siklus ini dilakukan selama 20 menit dengan pembacaan hasil yang akan di *record* per 2 menit. Data hasil pengujian akan disajikan dalam bentuk Tabel 1

Tabel 1. Tabel Hasil Pengujian Media Ajar

Menit ke-	T_{panas} (^{o}C)	T_{dingin} (^{o}C)	ΔT (^{o}C)	V (Volt)
0	30	30	0	0,28
2	35	23	12	1,92
4	39	21	18	2,86
6	43	20	23	3,66
8	46	18	28	4,40
10	50	17	33	5,09
12	52	14	38	5,88
14	55	13	42	6,46
16	57	12	46	7,40
18	60	13	47	8,70
20	64	11	53	9,20
Rata-rata kenaikan temperatur T_{panas}				4 ^{o}C
Rata-rata penurunan temperatur T_{dingin}				2 ^{o}C
Rata-rata perbedaan temperatur (ΔT)				31 ^{o}C
Rata-rata tegangan yang dihasilkan				5,08 V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa rata rata kenaikan temperatur sekitar 4°C, dan rata rata penurunan temperatur sekitar 2°C, perbedaan temperatur rata rata (ΔT) adalah 31°C, dan tegangan yang dihasilkan rata rata 5,08 volt. Pada percobaan selama 20menit, tegagan tertinggi yang dihasilkan adalah 9,20 volt, dan dapat terus meningkat berbanding lurus dengan perbedaan temperatur yang semakin besar, semakin besar perbedaan temperatur maka semakin besar tegangan yang dihasilkan oleh media ajar tersebut. untuk mendapatkan perbedaan temperatur yang tinggi maka diperlukan suatu metode kontrol temperatur, dengan mengatur valve dc kran, penambahan TeG secara seri dan paralel untuk mendapatkan tegangan listrik dan arus yang besar,disarankan untuk membuat rangkaian charging sehingga tegangan dari media ajar dapat disimpan pada suatu storage (baterai).

DAFTAR PUSTAKA

Cengel, Yunus A. (2003). Heat transfer: A practical approach (2nd ed.). New York: McGrow-Hill.

Date, Ashwin. et.al. (2015). Theoritical and experimental estimation of limiting input heat flux for thermoelectric power generators with passive cooling. Solar Energy, 111, 201-217.

E.F. Thacher, B.T. Helenbrook M.A Karri, "Exhaust energy conversion by thermoelectric generator. Two case studies,"Elsevier. November 2010.

G Rohit, D Manaswini, Vinod Kotebavi, Nagaraja S.R,"Performance Study of Thermo-Electric Generator", International conference on functional materials, characterization, solid state physich, power, thermal and combustion energy. AIP Conf. Proc. 1859,02094-6; doi:10.1063/1.4990247. Published by AIP Publishing.

Ismail, Basel I. Wael H. Ahmed. Thermoelectric Power Generation Using Waste-Heat Energy as Alternative Green Technology. Recent Patents on Electrical Engineering. 2009.

Jorge Vázquez, Miguel A. Sanz-Bobi, Rafael Palacios, Antonio Arenas "State of the Art of Thermoelectric Generators Based on Heat Recovered from the Exhaust Gases of Automobiles

Rislima Sitompul, "Teknologi Energi Terbarukan yang Tepat Untuk Aplikasi di Masyarakat Perdesaan (Manual Pelatihan)" DANIDA, International Development Cooperation, 2011.

Sugiyanto, Muh Tarum N Umam, Endra Suciawan, "Rancang Bangun Kontruksi TEG (*thermoelectric Generator*) pada knalpot Sepeda Motor Untu Pembangkit Listrik Mandiri". Forum Teknik Vol. 36,No.1, Januari2015.

PERBANDINGAN HARGA ENERGI DARI SUMBER ENERGI BARU TERBARUKAN DAN FOSIL

Edwaren Liun, Sunardi
Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir – BATAN
Jl.Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710
Telp./Fax.: (021) 5204243, e-mail: edwaren@batan.go.id

Diterima	Deterima dalam bentuk revisi	Disetujui
11 Agustus 2014	10 Oktober 2014	24 Oktober 2014

ABSTRAK

PERBANDINGAN HARGA ENERGI DARI SUMBER ENERGI BARU, TERBARUKAN DAN FOSIL. Transportasi biaya rendah untuk orang dan barang sangat penting untuk kesejahteraan ekonomi bangsa. Hingga kini jika harga minyak naik, biaya transportasi otomatis akan mengikuti dan sebagian rakyat menderita akibat melambungnya harga makanan dan barang-barang lainnya. Hampir 100 persen kebutuhan energi transportasi negara Indonesia didukung oleh minyak. Sementara biaya di sektor energi terutama listrik, di negara maju yang juga berperan signifikan untuk mendukung transportasi, jauh lebih stabil dan dapat diprediksi. Kebutuhan energi yang begitu tinggi di sektor transportasi cenderung memaksa manusia untuk mengupayakan sumber dan sarana energi dalam bentuk lain seperti listrik atau hydrogen yang dapat menyamai atau melebihi kinerja bahan bakar minyak. Makalah ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan keekonomian harga energi dari sumber EBT dan fosil untuk melihat sejauh mana peluang keekonomian beberapa jenis energi dapat memainkan peran signifikan di sektor transportasi dan dampak selanjutnya di dalam sistem energi. Metodologi yang digunakan adalah penelusuran pustaka dan perhitungan langsung pada bahan atau sumber energi terkait. Dari hasil analisis diperoleh bahwa akan semakin dibutuhkan peran energi nuklir dan energi tertentu lainnya sebagai sumber energi listrik menimbang aspek keekonomiannya yang relatif lebih baik.
Kata kunci: *perbandingan, harga energi, bahan bakar, transportasi*

ABSTRACT

ENERGY PRICE COMPARISON OF NEW, RENEWABLE, AND FOSSIL ENERGY SOURCES. Low cost transportation for people and goods is essential to the economic well-being of the nation. Until now, if the oil prices rise, the cost of transportation will automatically follow and most of the people suffering due to soaring prices of food and other items. Almost 100 percent of Indonesian transportation energy demand is supported by oil. Supply disruption - or even the threat of disruption - in the Middle East or elsewhere may lead to a shift in consumer prices and the cost of the industry in significant numbers. While costs in the energy sector, especially electricity in developed countries that also contribute significantly to support the transport sector, is much more stable and predictable. Energy requirements are so high in the transport sector tends to force people to seek the source and means of energy in other forms such as electricity or hydrogen that can match or exceed the performance of fuel oil. This paper aims to analyze the economics of energy price comparison to see the extent of the economic opportunities some kind of energy to play a significant role in the transport sector and the subsequent impact on the energy system. From the results obtained by the analysis that will be increasingly necessary role of nuclear energy and other specific energy as a source of electrical energy considering its economical aspects are relatively better.
Keywords: *comparison, price of energy, fuel, transportation*

1. PENDAHULUAN

Konsumsi energi primer dunia tumbuh sebesar 2,5% pada tahun 2011, kira-kira sejalan dengan pertumbuhan rata-rata selama 10 tahun terakhir. Pertumbuhan konsumsi global melambat pada tahun 2011 untuk semua bahan bakar, seperti halnya konsumsi energi total untuk semua wilayah dunia[1].

Saat ini, minyak menyumbang 45% dari seluruh energi yang dihasilkan di seluruh dunia, dan merupakan bahan bakar yang memenuhi 96% kebutuhan sektor transportasi dunia. Minyak bumi juga merupakan bagian integral dari industri vital - petrokimia, seperti plastik, tekstil, pupuk, pelumas, aspal dan berbagai produk industri lainnya. Minyak juga perekat yang mengikat ekonomi global, yang menyebabkan saling berpengaruhnya ekonomi negara-negara di dunia. Pada tahun 2003 lebih dari 66% dari minyak diperdagangkan secara internasional. Pergeseran sedikit saja harga minyak akan dirasakan di seluruh dunia[2].

Minyak bumi memainkan peran ekonomi dan politik global, dan merupakan salah satu unsur penting dalam kekuatan militer. Ketika Inggris mengirim pasukan ke lran, negara-negara maju lainya mengikuti berjuang untuk mendapatkan akses ke sumber daya yang berharga ini. Kekurangan minyak sangat berkontribusi pada kekalahan Jerman dan Jepang dalam Perang Dunia II. Kekuatan minyak telah terbukti dapat menghancurkan suatu negara, dan fungsinya akan terus menjadi pemain dalam urusan dunia di masa depan[2]. Begitu besarnya peran minyak bumi menggiatkan upaya substitusi minyak bumi. Berbagai sumber energi diusulkan oleh banyak pihak untuk digunakan dan berperan seperti minyak bumi termasuk sebagai pembangkit listrik. Upaya ini diajukan sebagai kontes keekonomian sumberdaya energi agar dapat mencairkan dampak jika biaya bahan bakar dari sumber tertentu meningkat. Sedangkan para utilitas diharapkan beralih ke sumber energi yang lain, yakni bahan bakar yang lebih murah untuk pembangkit listrik dan untuk menjaga pasokan dan biaya listrik tetap rendah. Umumnya negara maju menyediakan berbagai alternatif sumber energi seperti energi terbarukan dan nuklir yang mengurangi ketergantungan pada minyak bumi. Bahkan energi fosil lainnya - yang mana hal ini sangat dibutuhkan oleh setiap negara berpenduduk besar yang konsumsi energinya juga besar.

Makalah ini bertujuan untuk mengungkap dan menggambarkan biaya energi dari berbagai sumber energi baru, terbarukan dan energi fosil untuk dapat dibandingkan potensi penggunaannya di masa depan. Ruang lingkup adalah mencakup perbandingan energi baru, terbarukan, fosil dan nuklir. Untuk menopang keberlanjutan kesejahteraan bangsa, masalah energi ke depan tampaknya akan semakin memerlukan perubahan pola produksi dan konsumsi yang lebih intensif. Minyak bumi karena merupakan bahan bakar portable dan sangat praktis terutama untuk transportasi, laju penggunaannya sangat tinggi, dan terkuras lebih cepat[3]. Peralihan dari energi fosil ke EBT mengalami banyak kendala sebagai karena harga yang jauh lebih tinggi. Sebagai konsekuensi menyusutnya pasokan minyak bumi dan tingginya harga energi dari sumber EBT masyarakat akan menghadapi kesulitan menjalankan aktifitas ekonomi, yang selanjutnya kesejahteraan akan menurun.

2. HARGA ENERGI DAN KETERGANTUNGAN PADA MINYAK BUMI

2.1. Pengaruh Harga Energi

Guncangan harga energi berpengaruh pada investasi. Kenaikan harga energi tampaknya kuat pada produktifitas ril, inflasi, dan biaya menyebabkan resesi. Lonjakan harga minyak dalam beberapa tahun terakhir menyebabkan keresahan masyarakat secara luas. Guncangan harga energi sejauh ini menyebabkan efek resesi. Harga energi sangat menentukan kemakmuran relatif bagi penduduk.

Sektor transportasi merupakan salah satu sektor yang paling banyak bersentuhan dengan sektor lainnya untuk menentukan kapasitas akses masyarakat ke sumberdaya yang dibutuhkan. Transportasi biaya rendah untuk orang dan barang sangat penting untuk kesejahteraan masyarakat secara luas. Hingga kini bilamana harga minyak naik, biaya transportasi otomatis akan mengikuti dan sebagian rakyat menderita akibat melambungnya harga makanan dan barang lainnya. Hal ini jelas sebagai bentuk ketergantungan sistem ekonomi pada minyak bumi yang belum ada alternatif memadai sebagai substitusi pada semua sektor. Saat ini hampir 100 persen kebutuhan energi transportasi Indonesia didukung oleh minyak bumi. Gangguan pasokan dapat menyebabkan pergeseran harga konsumen dan biaya industri dalam angka yang signifikan di dalam negeri. Sementara, biaya di sektor energi, terutama listrik di negara maju, lebih stabil dan dapat diprediksi. Ke depan energi listrik merupakan salah satu andalan dalam menyediakan energi untuk transportasi. Negara maju pada umumnya menyediakan berbagai altematif sumber energi seperti energi terbarukan dan nuklir yang mengurangi ketergantungan pada minyak bumi bahkan energi fosil lainnya - yang mana hal ini sangat dibutuhkan oleh negara-negara berpenduduk besar yang konsumsi energinya juga besar. Upaya penyediaan energi dari sumber energi baru sebenarnya sudah cukup lama dirintis oleh banyak negara di dunia sebagai upaya substitusi energi fosil.

Berbagai sumber untuk substitusi minyak bumi dan fosil lainnya telah diupayakan oleh berbagai negara di dunia, namun belum dapat menjalankan peran secara signifikan. Kenaikan harga minyak bumi masih tetap berpengaruh kuat kepada sektor lain, seperti sektor industri dan berbagai segmen pada sisi konsumen yang selanjutnya melemahkan nilai sumber daya lainnya. Kebutuhan energi untuk transportasi bersifat *portable*, ke depannya diharapkan dapat disuplai dengan sumber energi alternatif (energi baru dan terbarukan). Ke depan keadaan semakin berubah, cadangan minyak bumi semakin menipis dan teknologi energi dituntut dan perlu mengikuti keadaan. Upaya meningkatkan produksi energi baru dan terbarukan hingga kini berpengaruh pula pada sektor lainnya seperti pangan, konservasi ligkungan dan aspek sosial lainnya. Sedangkan upaya untuk menghemat penggunaan bahan bakar minyak (BBM) pada kendaraan dapat sedikit membantu dalam mengurangi penggunaan BBM. Teknologi kendaraan yang lebih efisien, termasuk mesin *hybrid* - listrik, diperkirakan akan memainkan peran penting dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak. Namun pertumbuhan ekonomi dan permintaan energi di negara berkembang terus berlanjut yang mendorong pertumbuhan kebutuhan bahan bakar.

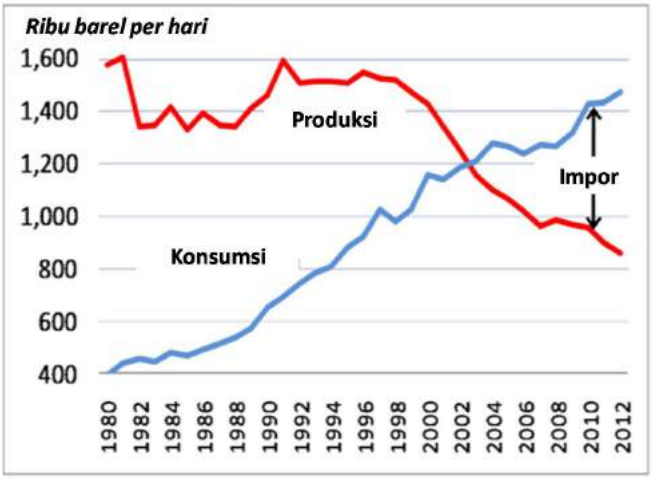
Mengenali keuntungan lingkungan dari memanfaatkan bentuk-bentuk energi alternatif dan terbarukan memang cukup mudah, namun juga harus disadari kelemahannya. Kelemahan energi terbarukan adalah bahwa sulit untuk menghasilkan listrik dalam jumlah yang besar seperti yang dihasilkan oleh pembangkit bahan bakar fosil, nuklir dan tenaga air. Hal ini juga menunjukkan bahwa solusi terbaik untuk masalah energi membutuhkan pasokan yang seimbang dari berbagai sumber daya yang berbeda.

Kelemahan lain dari sumber energi terbarukan adalah keandalan pasokan. Energi terbarukan banyak mengandalkan cuaca. Pembangkit tenaga air membutuhkan hujan untuk mengisi bendungan untuk memasok air yang mengalir. Turbin angin butuh angin untuk berputar, dan kolektor surya membutuhkan langit cerah dari sinar matahari untuk mengumpulkan panas dan menjalankan perannya. Jika cuaca tidak sesuai maka tidak ada energi yang diproduksi. Sumber energi ini tidak dapat diprediksi dan tidak konsisten. Biaya teknologi energi terbarukan ini sekarang juga jauh melebihi biaya pembangkit bahan bakar fosil. Hal ini terutama karena kerapatan energinya sangat rendah dibanding nuklir dan fosil.

2.2. Ketergantungan pada Minyak Bumi

Minyak menyumbang sekitar sepertiga dari seluruh energi yang digunakan di dunia. Setelah penurunan harga minyak yang terkait dengan Revolusi Iran di 1979-1980 dan dengan dimulainya perang Iran-Irak pada tahun 1980, ada penurunan total konsumsi minyak dunia. Dari sekitar 63 juta barel per hari pada 1980 turun menjadi 59 juta barel per hari pada tahun 1983. Sejak itu konsumsi dunia atas produk minyak bumi terus meningkat, yang berjumlah sekitar 84 juta barel per hari pada tahun 2005. Di Amerika Serikat, konsumsi produk minyak bumi meningkat rata-rata 1,65 persen per tahun antara 1983 - 2004, dan rata-rata 20,6 juta barel per hari pada tahun 2005, mewakili sekitar seperempat dari seluruh konsumsi dunia. *Energi Information Administration* Amerika Serikat (EIA) memproyeksikan konsumsi AS akan terus meningkat dan akan mencapai 27,6 juta barel per hari pada tahun 2030[4].

Produksi minyak Indonesia dewasa ini tinggal sekitar separuh dari tingkat produksi puncak tahun 1980. Sementara itu konsumsi BBM naik terus dengan cepat. Pada tahun 1980 konsumsi BBM baru sekitar 400 ribu barrel per hari atau hanya seperempat dari tingkat produksi, sedangkan pada tahun 2012 konsumsi BBM naik hampir empat kali lipat dan telah mencapai 1,7 kali dari laju produksi. Dalam 10 tahun terakhir konsumsi minyak Indonesia meningkat sekitar dua kali lipat dari sekitar 800 ribu barel/hari menjadi sekitar 1,6 juta barel/hari pada tahun 2014 (berdasar tren statistik), seperti ditunjukkan pada Gambar 1[5,6].



Gambar 1. Data Historis Produksi dan Konsumsi Minyak Nasiona[5].

2.3. Pengendalian Harga Energi

Upaya untuk menstabilkan harga energi sangat penting. Upaya untuk itu hanya akan terwujud dengan memperluas alternatif di level konsumen. Energi untuk transpostasi yang selama ini sangat terbatas - bertumpu hanya pada minyak bumi - merupakan sisi paling kritis. Sumber energi alternatif untuk sektor transportasi perlu diperluas sehingga dapat menggunakan sumber energi lain seperti gas batubara, nuklir, dan lainnya. Kebijakan memperluas energi alternatif membutuhkan pengembangan teknologi untuk menciptakan pasar bahan bakar alternatif, meskipun banyak tantangan dalam tahap awal pengembangan. Salah satu kunci untuk memperluas energi alternatif adalah memproduksi dan memperkenalkan kendaraan yang digerakkan oleh sumber tenaga selain bahabakar minyak bumi, misalnya tenaga *fuel cell* atau baterai secara intensif, sehingga sumber energi manapun yang dikonversi menjadi energi listrik dapat digunakan oleh kendaraan bermotor bertenaga listrik. Dengan memperluas alternatif di level konsumen, maka lonjakan harga dan ketergantungan pada salah satu bahan bakar dapat dikurangi, yang berimplikasi bahwa harga energi tetap terjangkau oleh konsumen.

Pengembangan kendaraan bertenaga baterai membutuhkan peningkatan kapasitas dan jangkauan jaringan listrik, sehingga berbagai pilihan sebagai sumber energi, terutama yang ekonomis - untuk pembangkit listrik perlu dimanfaatkan. Masalah yang disebabkan oleh kurangnya keragaman bahan bakar transportasi telah diakui selama beberapa dekade. Namun demikian kebijakan baru di berbagai negara industri tetap akan mendorong kenaikan harga minyak yang akan membawa masalah lain pada sistem energi.

Sebagai langkah alternatif, di antara industri otomotif di dunia telah berinovasi untuk menciptakan kendaraan yang melaju di jalan raya dengan tenaga yang dihasilkan oleh selain bahan bakar minyak. Kendaran tersebut selain yang sudah lazim - kendaraan transportasi massal berupa kereta, trem dan bus listrik - juga telah muncul mobil pribadi berbahan bakar gas hidrogen yang menggunakan *fuel cell* sebagai mesin konversinya. Dan lebih maju adalah mobil listrik yang menggunakan baterai berkapasitas besar yang dapat menempuh jarak ratusan kilometer dengan menawarkan kemudahan dalam waktu pengisian baterai yang singkat, atau lebih kurang sama seperti mengisi tangki kendaraan berbahan bakar minyak. Hal ini berarti bahwa kendaraan bertenaga baterai membutuhkan daya pengisian yang besar pada stasiun pengisian baterai umum. Sebagai konsekuensinya, beban permintaan bahan bakar untuk transportasi beralih menjadi beban sistem kelistrikan yang terintegrasi.

Untuk menggerakkan Transportasi Masa Depan (TMD) pembuat kebijakan perlu mengeksplorasi banyak pilihan yang tersedia. Tujuannya tidak hanya menangani keamanan energi dan pembangunan ekonomi, tetapi juga bergerak ke arah pengembangan pasokan bahan bakar yang lebih beragam sehingga sistem pasokan energi lebih andal.

2.4. Penyimpanan Energi

Kebutuhan akan sistem penyimpanan energi yang potensial berskala besar juga menjadi isu penting bagi daya saing harga energi. Energi yang dapat disimpan mengandung nilai ekonomi yang lebih tinggi pada level produsen maupun konsumen. Pada dekade terakhir ini kebutuhan terhadap teknologi penyimpanan energi telah berkembang seiring perkembangan beragam opsi sumber energi yang tidak mudah untuk diterapkan di banyak tempat yang membutuhkan. Kemampuan menyimpan energi adalah salah satu potensi yang memungkinkan bahwa energi dapat digunakan pada saat dibutuhkan di luar masa produksinya. Jawaban yang sederhana adalah membangun sebuah sistem tambahan yang akan menyimpan energi ketika matahari bersinar sebagai sumber energi gratis atau suatu jenis energi lainnya tersedia dengan mudah. Namun, masalahnya adalah bahwa sistem penyimpanan tersebut tidak tersedia saat ini[6]. Hampir semua kapasitas penyimpanan saat ini berada dalam bentuk pompa penyimpanan tenaga air (*pump hydro storage*, PHS). Sistem penyimpanan ini bekerja dengan memompa air dari waduk bawah ke waduk atas, kemudian melepaskan air yang disimpan melalui generator listrik tenaga air (PLTA) ketika listrik diperlukan.

Penyimpanan energi dalam skala terbatas atau kecil dikembangkan melalui sistem akumulator elektrolit, berupa energi kimia di dalam baterai. Meskipun sistem baterai ini belum lazim sebagai energi portabel namun sistem ini tampak cukup potensial di masa depan dimana energi portable dalam bentuk bahan bakar semakin langka. Perkembangan ini merupakan hasil dari faktor kombinasi. Antara lain kemajuan teknologi, kenaikan harga minyak dan gas alam yang dramatis untuk memenuhi kebutuhan beban puncak listrik, dan sekaligus adanya kekhawatiran tentang keamanan pasokan energi.

Selama ini para utilitas diharapkan untuk mengirim energi secara *online* dengan banyak pembangkit listrik tenaga batubara dan tenaga nuklir untuk memenuhi permintaan beban dasar yang stabil, sedangkan pembangkit lainnya dengan pilihan terbatas

menyediakan kapasitas pembangkit untuk memenuhi beban harian yang bervariasi setiap jam (*load following*), dan permintaan beban puncak. Pada sumber energi berbasis fosil produksi dan penyimpanan sumberdaya dapat diatur dengan mudah, sementara ketersediaan energi baru tergantung pada cuaca dan tidak mudah dalam masalah penyimpanan.

3. METODOLOGI

Beberapa sumber energi alternatif yang dianggap potensial saat ini antara lain adalah energi baru dan terbarukan (EBT). Sejauh mana potensi sumber energi ini dapat diandalkan dalam hal ini diukur dan dianalisis menurut keekonomian. Untuk itu metodologi yang diterapkan adalah analisis terhadap masing-masing sumber energi. Analisis dilakukan melalui beberapa cara, yakni perbandingan langsung atas informasi/data aktual yang telah tersedia yang dianggap otentik. Sedangkan informasi yang tidak menyediakan nilai akhir memerlukan analisis secara kuantitatif, yaitu perhitungan yang dilakukan dengan menerapkan persamaan konversi hingga didapatkan angka dalam satuan $ per kWh. Satuan energi kWh dipilih karena merupakan hasil konversi paling akhir dalam proses penyediaan energi pada konsumen. Perhitungan masing-masing energy adalah sebagai berikut:

1. Energi Surya

Energi surya dapat diperoleh secara gratis, karena matahari dapat menyinari sebagian besar permukaan bumi. Namun untuk mengkonversi energi surya dibutuhkan peralatan yang harganya cukup mahal, sehingga biaya yang dibutuhkan cukup tinggi untuk per satuan energi listrik yang diproduksi. Biaya surya didasarkan pada persamaan berikut:

$$\text{Energi diproduksi [kWh]} = \frac{\text{Daya [kW]} \times \text{Operasi efektif [jam]}}{\text{hari}} \times \frac{365 \text{ hari}}{\text{tahun}} \times \text{Umur [tahun]}$$

$$\text{Biaya energi per kWh} = \frac{\text{Biaya total}}{\text{Energi yang dihasilkan [kWh]}}$$

2. Energi Angin

Energi angin juga diperoleh gratis, namun untuk mengkonversi dibutuhkan instalasi yang membutuhkan biaya cukup mahal per satuan energi listrik yang dirpoduksi. Biaya energi angin didasarkan pada persamaan:

$$\text{Biaya per satuan energi} = \frac{\text{Biaya total}}{\text{Jumlah energi yang dihasilkan}}$$

3. Energi Batubara

Energi listrik dari batubara dibangkikan melalui proses produksi uap dengan pembakaran batubara. Pembangkit listrik berbahan bakar batubara {PLTU batubara) dapat membangkitkan listrik dalam skala besar. Biaya produksi listrik tergantung pada biaya investasi pembangkit dan harga bahan bakarnya. Dalam kajian ini biaya produksi listrik didasarkan pada data/informasi dari berbagai sumber.

4. Energi Gas

Dasar analisis dalam perhitungan biaya energi gas juga didasarkan pada biaya produksi listrik yang dibangkitkan dengan tenaga gas bumi. Sama seperti halnya pada pembangkit listrik batubara, pada pembangkit listrik tenaga gas (PLT-gas), biaya produksi listrik tergantung pada biaya investasi pembangkitan dan haga bahan bakar gas. Namun pada PLT-gas umumnya biaya investasi lebih rendah, dan biaya bahan bakar lebih tinggi.

5. Energi Nuklir

Pembangkit listrik tenaga nuklir bekerja dengan banyak kesamaan seperti seperti pembangkit berbahan bakar fosil, kecuali bahwa didalam reaktor nuklir berlangsung "reaksi berantai" yang memproduksi panas sebagai gantinya. Reaktor menggunakan batang uranium sebagai bahan bakar, dan panas dihasilkan oleh fisi nuklir.

Sebagaian besar biaya pembangkitan listrik dengan tenaga nuklir (PLTN) berasal dari investasi pembangunan instalasi yang tergolong mahal. Sedangkan biaya bahan bakar tergolong murah. Di samping itu juga ada biaya operasi dan perawatan. Analisis untuk biaya produksi listrik dari PLTN berdasarkan data dan informasi berbagai sumber.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Harga Energi

Masing-masing jenis sumber energi mempunyai karakteristik yang spesifik sebagai parameter dalam perhitungan. Sumber energi yang sifatnya berbentuk bahan mengandung unsur kimia yang menentukan kandungan energinya per satuan massa. Sedangkan yang bersifat bentuk energi (panas, cahaya, atau mekanik) seperti energi surya, angin, potensi air, gelombang dan lainnya terkandung di dalam dimensi ruang - umumnya terhitung dalam ruang dua dimensi (per satuan luas) atau satu dimensi, seperti garis pantai energi gelombang laut. Kecenderungan yang tampak hingga saat ini adalah perbandingan harga energi dari minyak bumi terhadap energi listrik semakin tinggi. Saat ini harga energi listrik sekitar Rp.1000 per kWh. Harga ini jelas lebih murah dibanding energi yang berasal dari minyak bumi, di mana satu liter minyak diesel seharga Rp.9000 dapat menghasilkan 3 kWh atau sama dengan Rp.3000 per kWh.

Dalam hal penyimpanan energi, berbagai industri otomotif di dunia berinovasi untuk menciptakan kendaraan yang melaju di jalan raya dengan tenaga yang dihasilkan oleh selain bahan bakar minyak. Kendaran tersebut selain yang sudah lazim − kendaraan transportasi massal berupa kereta, trem dan bus listrik, juga telah muncul mobil pribadi berbahanbakar gas. Lebih maju lagi adalah telah diciptakannya mobil listrik yang menggunakan baterai berkapasitas besar hingga dapat menempuh jarak ratusan kilometer dengan kemudahan waktu pengisian yang tidak kalah dengan tangki kendaraan berbahanbakar minyak. Ini artinya baterai membutuhkan daya pengisian yang besar pada stasiun pengisian baterai umum. Sebagai konsekuensiya pengembangan sistem kendaraan listrik akan membutuhkan peningkatan daya pada sistem jaringan listrik interkoneksi.

1. Energi Surya

Biaya sistem dengan panel photovoltaic rata-rata = 1022,2 $/m^2. Keluaran panel surya rata-rata = 114,04 watt/m^2, sehingga biaya rata-rata sistem energi surya = 8.96 $/watt[7]. Maka untuk sebuah sistem berkapasitas 5 kW, dibutuhkan luas panel per sistem:

$$\frac{114{,}04\ \text{watt}}{\text{m}^2} \times \frac{1\ \text{sistem}}{5\ \text{kW}} = \frac{0{,}02281\ \text{sistem}}{\text{m}^2} = 43{,}84\ \text{m}^2/\text{sistem}$$

Untuk membandingkan biaya energi surya dengan bahan bakar hidrokarbon konvensional, 8,96 $/watt dikonversi menjadi kWh total yang dihasilkan sistem. Misalkan digunakan suatu sistem berkapasitas 5 kW. Konversi DC menghasilkan listrik AC dengan kehilangan energi sebesar 10 persen untuk sistem energi surya, jadi: 5 KW dikali 90% = 4,5 KW.

Perhitungan selanjutnya adalah memproyeksikan produksi listrik total dengan mengalikan jumlah jam sibuk rata-rata sinar matahari (sekitar 3,63 jam per hari) dikalikan

365 hari/tahun dikali 20 tahun (umur produk) yang memberikan keluaran energinya sebesar:

$$\text{Energi [kWh]} = \frac{\text{Operasi efektif [jam]}}{\text{hari}} \times \frac{365 \text{ hari}}{\text{tahun}} \times \text{Umur ekonomi [tahun]}$$

$$4{,}5 \text{ kW} \times \frac{3{,}63 \text{ jam}}{\text{hari}} \times \frac{365 \text{ hari}}{\text{tahun}} \times 20 \text{ tahun} = 119.245{,}5 \text{ kWh}$$

Biaya untuk sistem energi surya 5 kW tersebut adalah sebagai berikut:

$$\frac{1022{,}2 \text{ \$}}{\text{m}^2} \times \frac{43.8 \text{ m}^2}{\text{sistem}} = 45.000 \text{ \$/sistem}$$

Selanjutnya dihitung harga per satuan [$/kWh], yaitu harga 45.000 $/sistem yang bekerja selama 20 tahun dikonversi menjadi $/kWh sebagai berikut:

$$\text{Harga per satuan [\$/kWh]} = \frac{\text{Total biaya [\$]}}{\text{Total energi yang dihasilkan [kWh]}} = \frac{45.000 \text{ \$}}{119.245{,}5 \text{ kWh}}$$

$$= 0{,}3773 \frac{\text{\$}}{\text{kWh}} = \mathbf{37{,}73} \text{ sen\$/kWh}$$

2. Energi Angin

Untuk energi angin estimasi EIA meliputi[7]: (a) jumlah biaya modal semalam (*overnight capital cost*) termasuk kontingensi untuk energi angin $1,003 per kW; (b) biaya variabel O&M $0; (c) biaya tetap O&M $26,10 per kW. Semua dalam dolar 2001. Perkiraan EIA biaya interkoneksi energi angin tidak spesifik, tapi bervariasi menurut wilayah, berkisar dari $175 sampai $457 per kW (dolar 2001). EIA memperkirakan bahwa perlu adanya penambahan kapasitas transmisi untuk melayani ladang angin yang meliputi data untuk situasi yang membutuhkan transmisi pada kisar jarak 0 − 5 mil (sebesar $8,74 sampai $15,23 per kW, tergantung wilayah), pada kisar jarak 5 − 10 mil ($26,23 sampai $45,70 per kW), pada kisar jarak 10 − 20 mil ($52,47 sampai $91,40 per kW).

Biaya modal energi angin bervariasi menurut kapasitas terpasang dan lokasi penempatannya. Secara sederhana biaya modal energi angin berkapasitas 10 kW berkisar 2000 sampai dengan 4000 $/kW. Untuk daerah kontinuitas anginnya yang baik akan dihasilkan kuantitas energi relatif yang cukup besar per satuan kapasitas terpasang. Dengan lingkungan angin yang memadai, kapasitas 10 kW akan menghasilkan energi sebesar 10 – 18 ribu kWh per tahun. Dengan mengambil nilai pertengahan dari angka tersebut diperoleh 14.000 kWh. juga dengan rentang usia ekonomis 20 tahun akan dihasilkan energi 280.000 kWh atau sekitar 252.000 kWh, setelah dikonversi menjadi listrik AC pada efisiensi 90%. Dengan demikian biaya produksi dihitung menjadi:

$$B = \frac{biaya\ total}{jumlah\ energi\ yang\ dihasilkan} = \frac{30.000 \text{ \$}}{252.000 \text{ kWh}} = 12 \text{ sen\$/kWh}$$

Nilai tersebut adalah rata-rata dari nilai yang bervariasi antara 10 - 15 sen$/kWh yang dirilis oleh Departemen Energi Amerika Sedkat.[8][9] Salah satu masalah pada energi angin adalah faktor kapasitas yang rendah seperti tercantum pada Tabel 1[10].

Faktor kapasitas (CF) dari tenaga angin adalah perbandingan daya rata-rata terhadap daya maksimum teoritis. Ini dapat dihitung untuk satu turbin, sebuah kawasan ladang angin yang terdiri dari puluhan turbin, atau seluruh negara yang terdiri dari ratusan kawasan ladang angin. Di Eropa rata-rata selama lima tahun terakhir kurang dari 21%, jauh lebih rendah dibandingkan klaim yang dibuat oleh Lobi Tenaga Angin Eropa sebesar 24%

untuk "tahun angin normal" pada level pengembangan saat ini. Realisasi faktor kapasitas berosilasi sepanjang waktu dan di seluruh daerah pada kisar 20-80%.

Tabel 1. Data Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Negara-Negara Eropa dan AS

Wilayah	EU15	DE	ES	DK	IT	UK	FR	PT	NL
Kapasitas (GW)	56,3	22,2	14,1	3,1	2,7	2,5	2,4	2,2	1,7
Energi (TWh)	97,7	33,7	28,8	6,1	4,2	5,3	4,2	3,8	3,5
Faktor Kapasitas (%)	20,8	17,5	24,8	22,8	19,1	26,1	22,3	22,7	21,5

Wilayah	AT	GR	IR	SE	BE	PO	CA	US
Kapasitas (GW)	1,0	0,9	0,8	0,7	0,3	0,3	2,4	16,6
Energi (TWh)	2,0	1,9	1,9	1,2	0,5	0,5	4,4	32,1
Faktor Kapasitas (%)	20,1	29,3	29,3	21,7	20,0	25,9	22,3	25,5

Biaya instalasi ladang angin keseluruhan menurut laporan IEA diperkirakan antara 1,9 - 2 juta $/MW. Biaya pemeliharaan tahunan dilaporkan antara 0,020 - 0,026 $/kWh, dengan biaya rata-rata 0,025 $/kWh. Biaya produksi listrik dari energi angin bervariasi luas, tergantung situs dengan kondisi angin. Nilai ini berkisar antara 85 $/MWh sampai 250 $/MWh, pada *discount rate* 6,0% masa operasi 20 tahun. Nilai ini juga tergantung pada kapasitas unit yang semakin kecil semakin mahal dan faktor kapasitas[11].

3. Energi Batubara

Hingga saat ini di seluruh dunia energi batubara paling diandalkan sebagai pembangkit tenaga listrik. Selain harganya murah energi ini memberi kemudahan untuk dibangun di berbagai tempat yang tersedia cukup air pendingin. Dengan harga patokan *Free on Board* (FOB) bahan bakar batubara dengan nilai kalor 6400 kcal/kg sebesar 81,9 $/ton[12], bahan bakar ini memberikan biaya bahan bakar listrik sekitar 3,3 sen$/kWh. Namun ini belum termasuk biaya modal pembangkit dan biaya perawatan selama umur ekonomi 30 tahun. Informasi yang umum untuk pembangkit batubara berkisar antara 5 - 9 sen$/kWh, yang tergantung pada harga batubara sampai di lokasi. Jika mengambil harga tengah antara angka tersebut maka nilainya adalah 7 sen$/kWh.

Sebagian besar pembangkit listrik berbahanbakar batu bara memiliki biaya konstruksi semalam (*overnight cost*) berkisar antara 1000 dan 1500 $/kWe. Waktu konstruksi sekitar empat tahun pada sebagian besar pembangkit. Harga bahan bakar (batubara, batubara coklat atau lignit) diasumsikan oleh responden selama masa ekonomi pembangkit bervariasi dari satu negara ke lain negara[13]. Pada *discount rate* 5%, biaya teraras pembangkitan berkisar antara 25 dan 50 $/MWh untuk sebagian besar pembangkit listrik tenaga batubara. Secara umum, biaya investasi sedikit lebih dari sepertiga dari biaya total pembangkitan, sementara biaya O&M terhitung sekitar 20% dan bahan bakar sekitar 45%.

Pada *discount rate* 10%, biaya teraras pada hampir semua pembangkit listrik tenaga batu bara berkisar antara 35 dan 60 $/MWh. Biaya investasi sekitar 50% dalam banyak kasus. Kontribusi biaya O&M sekitar 15% dari total, dan biaya bahan bakar sekitar 35%.

4. Energi Gas

Untuk pembangkit listrik berbahanbakar gas biaya *overnight* untuk konstruksi pada kebanyakan kasus berkisar antara 400 dan 800 $/kWe[14]. Di semua negara, biaya investasi pembangkit listrik berbahanbakar gas lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga batubara dan tenaga nuklir. Pembangkit listrik berbahanbakar gas dapat dibangun

lebih cepat berkisar sekitar tiga tahun. Biaya O&M pembangkit listrik berbahanbakar gas secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit batu bara atau tenaga nuklir. Sebagian besar harga gas diasumsikan pada tahun 2010 berkisar antara 3,5 dan 4,5 $/GJ, atau antara 1,26 dan 1,62 sen$/kWh.

Pada *discount rate* 5%, biaya teraras (*levelized cost*) menghasilkan listrik dari pembangkit berbahanbakar gas bervariasi antara 37 sampai 60 $/MWh. Tetapi dalam banyak kasus lebih rendah dari 55 $/MWh. Biaya investasi mewakili kurang dari 15% dari biaya teraras total, sedangkan kontribusi biaya O&M kurang dari 10% dalam banyak kasus. Biaya bahan bakar rata-rata hampir 80% dari total biaya teraras, bahkan dalam beberapa kasus sampai 90%. Harga gas saat ini berada pada tingkat yang relatif tinggi. IEA mengasumsikan harga gas dalam *World Energi Outlook 2004* (IEA, 2004) sangat berbeda.

Pada *discount rate* 10%, biaya teraras pembangkit berbahanbakar gas berkisar antara 40 dan 63 $/MWh. Harga tersebut hampir sama dengan *discount rate* 5% karena biaya investasi sesaat (*overnight*) rendah dan periode konstruksi yang singkat. Biaya bahan bakar tetap menjadi kontributor utama dengan porsi 73% dari total biaya pembangkitan teraras, sementara biaya investasi dan O&M adalah masing-masing sekitar 20% dan 7%.

5. Energi Nuklir[14]

Untuk pembangkit listrik tenaga nuklir dalam penelitian ini, biaya *overnight* konstruksi bervariasi antara 1600 dan 5900 $/kWe dengan nilai rata-rata dari 4100 $/kWe. Dalam studi tersebut dianggap menggunakan teknologi Generasi III yang berbeda yang meliputi EPR, reaktor air tekan maju serta desain reaktor air didih maju lainnya.

Pada *discount rate* 5%, biaya teraras pembangkitan PLTN di negara-negara OECD berkisar antara 29 $/MWh (Korea) dan 82 $/MWh (Hungaria). Biaya investasi merupakan bagian terbesar dari total biaya teraras, rata-rata sekitar 60%, sedangkan biaya O&M yang mewakili sekitar 24% dan siklus biaya bahan bakar sekitar 16%. Angka-angka ini termasuk biaya untuk perbaikan, pengolahan limbah dan dekomisioning dengan masa operasi 60 tahun.

Pada *discount rate* 10%, biaya teraras pembangkit listrik nuklir di negara-negara OECD berada pada kisar 42 $/MWh (Korea) dan 737 $/MWh (Swiss). Pangsa biaya teraras investasi total pembangkitan sekitar 75% sedangkan elemen biaya lainnya, biaya O&M dan biaya siklus bahan bakar masing-masing 15% dan 9%. Angka-angka ini meliputi biaya pemeliharaan, pengolahan limbah dan dekomisioning dengan masa operasi 60 tahun. Semua nilai diatas adalah nilai yang berlaku untuk tahun 2013.

6. Energi dari Bahan bakar Nabati (*Biofuel*)

Biaya produksi rata-rata biodiesel Indonesia sekitar 875 $/ton[15]. Dengan harga ini maka biaya bahan bakar untuk energi listrik yang diproduksi adalah 22,2 sen$/kWh. Sedangkan harga biodiesel Eropa berkisar pada 0,83 EUR/liter, atau 32,2 sen$/kWh listrik yang diproduksi. Harga ini belum termasuk biaya modal untuk mesin pembangkit. Harga bahan bakar etanol di Benua Eropa adalah pada kisar 0,62 EUR/liter[16]. Dengan nilai kalor berkisar pada 19,8 MJ/liter dari bahan bakar ini, hasil konversi memberikan nilai sebesar 0,185 $/kWh dalam bentuk energi panas atau 55,7 sen$/kWh jika dikonversi hingga menjadi energi listrik.

5. KESIMPULAN

Upaya substitusi minyak bumi semakin dibutuhkan. Berbagai usulan dalam upaya mendapatkan energi dengan biaya rendah atau terjangkau diajukan sebagai kontes keekonomian sumberdaya untuk mendapatkan solusi jika biaya bahan bakar dari sumber

tertenlu meningkat. Dari segi kompetisi harga energi listrik cenderung memiliki daya saing semakin tinggi dibanding energi dari minyak bumi, karena energi listrik memungkinkan untuk diperoleh dari berbagai sumber lain yang potensial.

Biaya pembangkitan listrik dari beberapa jenis energi meliputi energi baru dan terbarukan menunjukkan superioritas sumber energi konvensional berupa bahan bakar fosil (batubara) dan nuklir sebagai sumber energi yang potensial untuk pembangkit listrik. Nilai keekonomian kedua bahan bakar tersebut merupakan penilaian agregasi dari keseluruhan komponen biaya. Namun demikian pengembangan beberapa jenis sumber energi menunjukkan prospek yang potensial di masa depan berdasarkan pertimbangan kemajuan teknologi yang efisien.

Biaya produksi listrik dengan energi angin sangat bervariasi yang tergantung pada faktor kapasitas dan ukuran unit dan negara lapangan angin, yaitu berkisar antara 85 – 250 $/MWh. Sedangkan biaya produksi dengan kondisi angin yang baik sekitar 12 sen$/kWh. Nilai ini bervariasi, tergantung pada faktor kapasitas dan negara tempat berada pembangkit. Biaya energi surya berkisar sekitar 37,73 sen$/kWh, Biaya produksi dari energi batubara dan nuklir masing-masing berkisar antara 5 - 9 sen$/kWh dan 2,9 - 8,2 sen$/kWh. Nilai ini berada pada batas-batas normal yang umum di berbagai negara, yang mana Korea Selatan menghasilkan biaya terendah dan Eropa Barat biaya tertinggi.

Harga energi dari bahan bakar nabati masih tinggi, yaitu 22,2 sen$/kWh di Indonesia dan 32,2 sen$/kWh di Eropa untuk listrik yang diproduksi. Total biaya termasuk instalasi masing-masing berkisar 30,4 dan 44,1 sen$/kWh. Sedangkan biaya bahan bakar etanol di Benua Eropa adalah pada kisar 0,185 $/kWh dalam bentuk energi panas atau 55,7 sen$/kWh energi listrik. Meliputi instalasi berkisar sekitar 76,3 sen$/kWh karena ditambah biaya investasi mesin konversi untuk menghasilkan energi listrik yang berkisar sekitar 27% dari biaya produksi total.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. "_____", "BP Ststistical Review of World Energy", June 2012, tersedia di bp.com/statisticalreview, 21 Desember 2012, 2:40 AM.

[2]. "_____", "Peak Oil Overview", The Arlington Institute, diakses 20 Septemb er 2011

[3]. WILLIAM T. POUND, "Transportation Energy for the Future", a Guide for Policymakers, 7700 East First Place, Denver, Colorado 80203, (303) 364-7700,444 North Capitol Street, NW, suite 515, Washington, D.C. 20001, (202) 624-s400, www.ncsl.org, March 2012.

[4]. "_____", Crude Oil, "Uncertainty about Future Oil Supply Makes It Important to Develope a Strategy for Addressing a Peak and Decline in Oil Production", Report to Congressional Requesters, united states Government Accountability Office (GAO), February 2007.

[5]. "_____", "Peak Oil and Oil Subsidy in Indonesia", tersedia di: http://crudeoilpeak.info/peak-oil-and-fuel-subsidies-in-indonesia diunduh tanggal 14 May 2013.

[6]. S.M. GANECHARI and SANDEEP KATE, "Alternatiae Energy Sources", Proceeding of Two Days National seminar on Alternative Energy Sources, August 27-2g,2005,v.p.M.S.,'s Polytechnic, Thane 'Jnanadweepa', Thane College Campus, Chendani Bunder Road, Thane - 400 601, MS, India.

[7]. "_____", "Understanding the Cost of Solar Energy", http://greenecon.net/understanding-the-cost-of-so1ar-energy/energy_econometri, 10 April 2011, 13:59 PM

[8]. "_____", "Alternatiae Energy Cost Comparisons", US DOE Website, tersedia di http://www.eia.gov/oiaf/aeo/assumption/pdf/renewable. pdf.

[9]. GLENN R. SCHLEEDE, "The True Cost of Electricity from Wind Power and Windmill "Availability" Factors", tersedia di http://ww w. m n forsustai n.o relwi nd power sch leed e costs of electri ci tv.htm h tto://www.eia.doe. eov/oiaf/aeo/assumotion/odf/-renewable. odf . 16 Maret 2014.

[10]. NICOLAS BOCCARD, "Capacity Factor of Wind Power – Realized Values vs. Estimates", October 2008, Electronic copy available at: http://ssrn.com/abstract=1285435, 20 Maret 2014.

[11]. "_____", IEA Wind,2012 Annual Report, "Executive Committee of the Implementing Agreement for Co-operation in the Research, Development and Deployment of Wind Energy Systems of the International Energy Agency", July 2013,ISBN 0-9786383-7-9.

[12]. "_____", Harga Batubara Acuan (HBA) & Harga Patokan Batubara (HPB) Bulan Januari 2014, http://www.minerba.esdm.go.id/library/content/file/28935-HBA%20Januari%202014/5404f9c79f37e18e0cca1fa2468f10c82014-01-07-10-06-23.pdf

[13]. "_____", "Executiae Summary of IEA/NEA Secretariat", tersedia di: http://www.iea.org/textbase/npsu m/ElecCostSUM.pdf, 18 Maret 2014. Web: www.iea.org/textbase/npsum/ElecCostSUM.pdf (Diunduh: 4 Januari 1014).

[14]. "_____", eleccost20l0Sum, tersedia di http://www.iea.orsltextbase/npsum/eleccost201 0SUm.pdf, 21 Maret 2014.

[15]. AGUSTINUS BEO DA COSTA, "Pengusaha Minta Kenaikan Harga Biodiesel" – Kontan Online, http://industri.kontan.co.idlnews/pengusaha-minta-kenaikan-harga-biodiesel. diunduh , 12 September 2013 I 07:29 WIB

[16]. CHRIS CHARLES, IVETTA GERASIMCHUK, RICHARD BRIDLE, TOM MOERENHOUT, ELISA ASMELASH, TARA LAAN, Research Report, "Biofuels - At What Cost? a Review of Costs and Benefits of EU Biofuel Policies" The International Institute for Sustainable Development, April 2013.

Volume 11 No.2
Juli 2019
ISSN : 2085 – 1669
e-ISSN : 2460 – 0288
Website : jurnal.umj.ac.id/index.php/jurtek
Email : jurnalteknologi@umj.ac.id

Jurnal Teknologi
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JAKARTA

PERUBAHAN KUANTITAS DAN NILAI KALOR *CHAR* DENGAN VARIASI TEMPERATUR PADA PIROLISIS LIMBAH BREM

Farid Majedi[1,*], Fredy Susanto [2], Edi Munarwan[3]
[1,2,3] Program Studi Mesin Otomotif, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun,
Jl. Serayu 84, Madiun, 63133
*E-mail: farid@pnm.ac.id

Diterima: 4 Oktober 2018 Direvisi: 2 Februari 2019 Disetujui: 21 Februari 2019

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk berbanding lurus dengan peningkatan kebutuhan energi. Konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia yang mencapai 586 juta barrel pada tahun 2014. Cadangan minyak bumi yang di dalam perut bumi semakin menipis dan terancam habis. Arang juga termasuk bahan bakar yang saat ini teknologinya dengan cara proses pembakaran biasa. Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan dengan sedikit atau tanpa oksigen, dan ini merupakan teknologi penghasil sumber energi alternatif. Biomassa dalam proses pirolisis ini akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Proses pirolisis menghasilkan Char (arang), Tar (bio oil) dan gas. Penelitian ini dilakukan pada penelitian langsung dengan proses pirolisis dengan variasi temperatur 250ºC, 350ºC, 450ºC, 550ºC. Dalam peneltian ini limbah brem dengan kadar airnya < 2% dimasukkan dalam peralatan pirolisis dan dilakukan proses pirolisis dengan variasi temperatur. Berdasarkan penelitian ini diperoleh hasil, semakin besar temperatur pirolisis maka semakin kecil massa char yang dihasilkan. Massa char terkecil pada temperatur 550ºC sebesar 160 gram dari massa biomasa 500 gram. Nilai kalor akan semakin meningkat dengan meningkatnya temperatur. Nilai kalor tertinggi pada temperatur 550ºC sebesar 9358,131 Kkal/kg

Kata kunci: *Pirolisis, Limbah Brem, massa, nilai kalor*

ABSTRACT

Population growth is directly proportional to the increase in energy demand. Fuel oil consumption in Indonesia, which reached 586 million barrels in 2014. Petroleum reserves in the bowels of the earth are depleting and threatened with exhaustion. Charcoal also includes fuel that is currently the technology by means of ordinary combustion processes. Pyrolysis is the chemical decomposition process of organic matter through a process of heating with little or no oxygen, and this is a technology that produces alternative energy sources. Biomass in the pyrolysis process will experience the breakdown of chemical structures into the gas phase. The pyrolysis process produces Char (charcoal), Tar (bio oil) and gas. This research was carried out in direct research with pyrolysis processes with temperature variations of 250oC, 350oC, 450oC, 550oC. In this research, brem waste with a water content of <2% was included in the pyrolysis equipment and pyrolysis process was carried out with temperature variations. The smallest char mass at a temperature of 550oC is 160 grams from the mass of 500 grams of biomass. The heating value will increase with increasing temperature. The highest heating value at a temperature of 550oC is 9358,131 Kcal / kg

***Keywords**: Pyrolysis, Brem Waste, mass, heating value*

DOI: https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.11.2.91-96

ISSN : 2085 – 1669
e-ISSN : 2460 – 0288

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk berbanding lurus dengan peningkatan kebutuhan energi (Gurnito A., 2016). Konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia yang mencapai 586 juta barrel pada tahun 2014 (BPH Migas, 2017). Cadangan minyak bumi yang di dalam perut bumi semakin menipis dan terancam habis (Didik S, 2014). Cadangan minyak bumi Indonesia sebesar 0,26% dari cadangan minyak bumi dunia, sementara cadangan gas bumi 2,8 % dari cadangan dunia pada tahun 2013. cadangan tersisa hanya bisa untuk memenuhi waktu 12 tahun ke depan yang terhitung sejak akhir 2012 (DEN RI, 2014). Arang juga termasuk bahan bakar yang saat ini teknologinya dengan cara proses pembakaran biasa. Nilai kalor arang lebih tinggi dari kayu (Gebresas, Asmelash, Berhe & Tesfay, 2015). Dari data ini maka diperlukan pengembangan sumber energi yang dapat diperbarui dengan cara sintesa carbon. Sumber bahan dalam sintesis ini biomassa. Salah satu proses sintesa biomassa yaitu pirolisis. Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan dengan sedikit atau tanpa oksigen, dan ini merupakan teknologi penghasil sumber energi alternatif. Biomassa dalam proses pirolisis ini akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas (Farid M., 2015). Proses pirolisis menghasilkan *Char* (arang), Tar (bio oil) dan gas.

Makanan khas dari Kabupaten Madiun, Indonesia salah satunya adalah Brem. Brem dibuat dengan bahan dasar beras ketan putih/hitam, dengan melalui tahapan proses fermentasi dan pengolahan lanjut maka dihasilkan brem, dari proses pengolahan brem ini akan akan tertinggal limbah brem yang merupakan limbah atau sampah. Limbah brem digunakan makanan ternak, pupuk organik, bioetanol dll. Kandungan karbohidrat limbah brem 14,7% dan protein 9,5% dan CO_2 19,5% (Ratih P., 2017).

Penelitian terdahulu, Penelitian Widya W. Dkk (2013) meneliti tentang bagaimana bentuk Char dan produk gas dari pirolisis biomassa kayu. Dalam penelitian ini dengan melakukan eksperimen variasi temperatur pirolisis dan heating rate 400K/jam. Pirolisis yang digunakan adalah pirolisis lambat. Dari hasil pengujian: proses pembentukan arang dibagi tiga wilayah; i) Wilayah dehidrasi dari biomassa, ii) wilayah pirolisis selulosa dan iii) wilayah pirolisis lignin. Dalam produk gas, komposisi laju alir gas dan gas ditemukan tergantung pada suhu pengaturan. Farid M. (2016) meneliti Pengaruh variasi temperatur dan *heating rate* terhadap terhadap massa dan nilai kalor. Variasi heating rate adalah 673 K / jam dan 1073 K / jam. Temperatur pirolisis yang digunakan bervariasi 523 K, 623 K, 723 K, 773 K dan 873 K untuk setiap laju pemanasan (*heating rate*). Efek perubahan temperatur dan *heating rate:* semakin tinggi temperatur dan *heating rate* maka semakin kecil massa dan volume *char* yang terbentuk. Dengan kenaikan temperatur maka nilai kalor semakin besar. Nilai kalor pada *heating rate* 1073 K/jam mempunyai nilai lebih besar daripada nilai kalor *heating rate* 673 K/jam. Ikhwanul Q (2015) meneliti Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Kuantitas *Char* Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni (*Switenia Macrophylla*) Pada *RotaryKiln.* Hasil pengujian semakin tinggi temperatur pirolisis semakin rendah massa yang terbentuk.

Dari permasalahan yang telah dikemukakan, penulis ingin meneliti tentang Perubahan Kuantitas Dan Nilai Kalor *Char* Dengan Variasi Temperatur Pada Pirolisis Limbah Brem. Dalam penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pengujian langsung menggunakan alat pirolisis untuk mengetahui pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai kalor arang dari limbah brem. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur terhadap massa dan nilai kalor char. Dan dengan arang hasil pirolisis diharapkan dapat menghasilkan arang dengan nilai kalor tinggi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

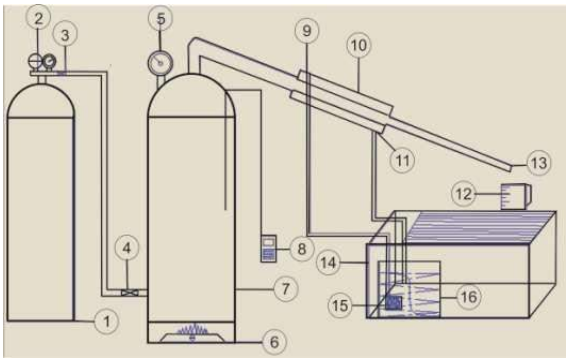
Limbah brem digunakan bahan biomassa, dikeringkan 120 menit pada suhu 110 – 125°C kemudian diayak dengan saringan mesh 18 sehingga memiliki diameter partikel (Dp) sekitar = 1000 mikron. Setelah kering, limbah brem dimasukkan ke mesin untuk dipirolisis.

Prosedur Pengujian

Pengujian penurunan massa pada biomassa

Jurnal Teknologi 11 (2) pp 91- 96 © 2019

Penelitian pembentukan arang pada biomassa selama proses pirolisis dilakulan pada instalasi eksperimen (Gambar 1). Sampel limbah brem kering diambil 500 gr dan dimasukkan dalam tabung kecil. Setelah itu dimasukkan dalam tabung pirolisis. Gas N_2 dengan *flow rate* 3 l/menit dialirkan ke dalam ruang pemanas pirolisis sampai kadar $O_2 < 2$ % dari volume ruang pemanas dan buka katup buang pada tabung Pirolisis supaya gas O_2 keluar. Tabung dipanaskan variasi temperatur 250ºC, 350ºC, 450ºC, 550ºC selama 2 jam. Hasil massa char yang didapatkan dari variasi temperatur, dianalisa prosentase massa dan volume biomassa. Char yang terbentuk diukur nilai kalor pada masing-masing temperatur.



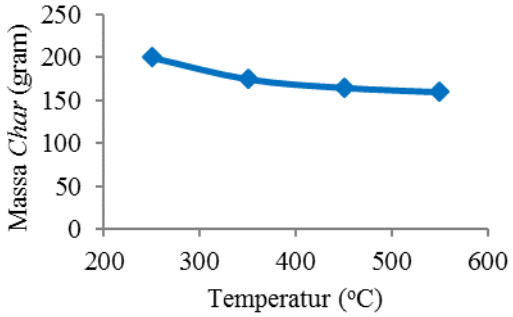
Gambar 1. Instalasi Pirolisis

Keterangan gambar:
1. Tabung Gas N_2..
2. *Regulator* N_2.
3. Katup 1 Pembuka N_2.
4. Katup 2 Pembuka N_2.
5. Manometer.
6. Sumbu Pemanas.
7. Tabung *Pyrolizer*.
8. *Termocouple* dan *Controler*.
9. Saluran *Inlet* pendingin.
10. Tabung Pendingin.
11. Saluran *Outlet* pendingin
12. Gelas Ukur
13. Saluran *Outle tar*.
14. Rangka/*frame*.
15. Pompa Air.
16. Bak tempat air pendingin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis terhadap Massa Char

Gambar 2 merupakan gambar pengaruh temperatur pirolisis terhadap massa char. Variasi temperatur yang digunakan dalam penelitian ini adalah yaitu 250˚C, 350˚C, 450˚C dan 550˚C. Pada grafik 5.1 menunjukkan bahwa semakin besar temperatur pirolisis maka semakin kecil massa char yang dihasilkan. Hal ini disebabkan semakin besar temperatur pirolisis maka unsur-unsur di dalam limbah brem semakin banyak terdekomposisi. Dengan semakin banyaknya komponen yang terdekomposisi maka massa char yang dihasilkan semakin kecil. Massa char yang terbentuk semakin kecil dengan semakin besar temperatur maka tapi kadar C semakin murni. Pada proses pirolisis reaksi primer atau dekomposisi dari selulosa terjadi pada temperatur 623 – 723 K sehingga produk yang dihasilkan hanya berupa gas dan *char*. Produk berupa gas_1, tar_1 dan $char_1$ terjadi pada temperatur 723 – 1073 K dan pada temperatur 723 – 1073 K terjadi reaksi tambahan yaitu sebagian dari tar_1 menjadi gas_2. Sehingga semakin tinggi temperatur maka produk gas yang dihasilkan akan semakin banyak (Ken-Iciro, T., 2007). Limbah brem yang bahannya dari ketan banyak memgandung Kandungan karbohidrat limbah brem 14,7% dan protein 9,5% dan CO_2 19,5% (Ratih P., 2017). Protein tersusun atas unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan terkadang mengandung zat belerang (S) dan fosfor (P). Dari komposisi kimia protein terlihat banyak unsur C dan H yang merupakan unsur penting dalam suatu bahan bakar.



Gambar 2. Kurva Massa Char dengan Variasi Temperatur Pirolisis

Pada temperatur 250˚C hanya terjadi evaporasi air dan sebagian ikatan atom C-C (energi ikatan yang paling kecil) yang terdekomposisi. Karena hanya air dan sebagian ikatan atom C-C yang terdekomposisi menyebabkan massa char menjadi paling besar dibandingkan dengan temperatur 350˚C, 450˚C, 550˚C.

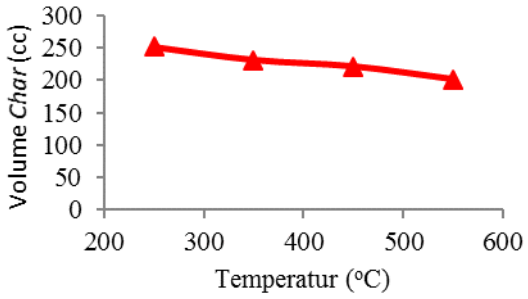
ISSN : 2085 – 1669
e-ISSN : 2460 – 0288

Pada temperatur 350˚C terjadi evaporasi air, ikatan atom C-C dan energi ikatan yang lebih besar (C-H, H-H, C-O) akan banyak yang terdekomposisi. Hal ini menyebabkan massa char yang dihasilkan pada temperatur 350˚C dari proses pirolisis lebih kecil daripada massa char yang dihasilkan pada temperatur 250˚C.

Pada temperatur 450˚C sampai temperatur 550˚C terjadi evaporasi air, ikatan atom C-C dan energi ikatan yang lebih besar (C-H, H-H, C-O) sudah seluruhnya terdekomposisi. Hal ini membuat massa char semakin kecil dengan semakin bertambahnya variasi temperatur.

Dalam reaksi dekomposisi umumnya menggunakan panas untuk membantu reaksinya. Saat senyawa memanas, atom akan bergetar lebih keras, dan dapat memutuskan ikatan kimia. Sebagai contoh, jika kalsium karbonat ($CaCO_3$) dipanaskan dengan suhu tinggi, akan terurai menjadi kalsium oksida (CaO) dan karbon dioksida (CO_2). Dalam menguraikan senyawa menggunakan temperatur tergantung pada kekuatan ikatan yang menjaga tetap bersama-sama. Dalam contoh ini, kalsium karbonat kehilangan atom karbon dan dua atom oksigen sebagai CO_2, tetapi kalsium berpegang pada satu atom oksigen karena ikatan kalsium-oksigen yang sangat kuat dan tidak bisa dipatahkan oleh pemanasan dengan suhu yang biasa.

Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis terhadap Volume Char



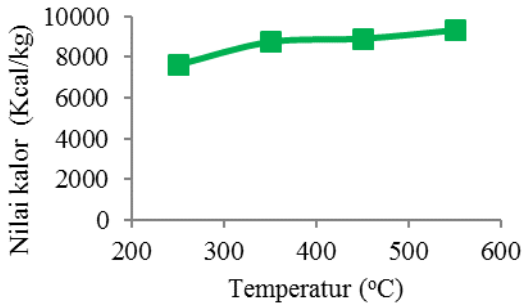
Gambar 3. Kurva Volume Char dengan Variasi Temperatur Pirolisis

Pada Gambar 3 adalah volume akhir *char* karena pengaruh variasi temperatur dan *heating rate* hasil piroliisis limbah brem. Dalam grafik ini trend hampir sama dengan massa *char*. Maka pembahasan hampir sama dengan massa akhir *char*.

Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis terhadap Nilai Kalor Char

Gambar 4 menunjukkan semakin tinggi temeperatur pirolisis maka semakin tinggi nilai kalor *char*. Hal ini disebabkan dengan bertambah naiknya temperatur maka semakin banyak ikatan atom yang dipegang atom C pada karbohidrat dan proten banyak yang terputus sehingga didalam ruang reaksi semakin banyak kadar C (arang) dan semakin murni, maka dengan demikian nilai kalor akan semakin meningkat dengan meningkatnya nilai temperatur.

Nilai kalor *char* secara keseluruhan nilainya jauh lebih besar daripada nilai kalor arang kayu. Nilai Arang Kayu Jati (*Tectona Grandis)* Dengan Sistem Pengarangan Campuran Pada Metode Tungku Drum sebesar 7141 Kkal/kg (Rais S., 2016)



Gambar 4. Kurva Nilai Kalor Char dengan Variasi Temperatur Pirolisis

KESIMPULAN

Semakin besar temperatur pirolisis maka semakin kecil massa dan char yang dihasilkan. Nilai kalor akan semakin meningkat dengan meningkatnya temperatur

DAFTAR PUSTAKA

BPH Migas. 2017. www.bphmigas.go.id/ konsumsi-bbm-nasional diakses tanggal 8 Maret 2018 pukul 09.32 wib

Dewan Energi Nasional Republik Indonesia. 2014. *Laporan Dewan Energi Nasional 2009-2014*. Jakarta

Gebresas, A.. Asmelash, H., Berhe, H., & Tesfay, T., 2015. *Briquetting of Charcoal from Sesame Stalk*. Journal of Energy: 1–6.

Gurnito, A., Sudarmanta, B., 2016. *Pengaruh Ignition Timing Mapping Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Engine SINJAI*

Jurnal Teknologi 11 (2) pp 91- 96 © 2019

650 CC Berbahan Bakar Pertalite RON 90. Jurnal Teknik ITS. 5 (1): B30-35

Majedi, F., Wijayanti, W., Hamidi, N., 2015, *Parameter Kinetik Char Hasil Pirolisis Rate dan Temperatur*, Jurnal Rekayasa Mesin 6 (1) : [1-7.p]

Purwasih R. , *Pemanfaatan Limbah Pabrik Brem Sebagai Bahan Baku Bioetanoluntuk Bahan Bakar Alternatif*, JPTM, 06 (02): 25-36

Qiram, I , Widhiyanuriyawan, D., Wijayanti, W., 2015, *Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Kuantitas Char Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni (Switenia Macrophylla) Pada Rotary Kiln.*Jurnal Rekayasa Mesin 6 (1): 39-44

Rahardja, Istianto B., Paryatmo W., 2017, *Analisa Dan Optimasi Sistem Pltgu Biomassa Gas Metan Dengan Daya 20 Mw*, Jurnal Teknologi UMJ, 9 (2): 65-76

Serbuk Kayu Mahoni (Switenia Macrophylla) dengan Variasi Heating

Salim, R., 2016, *Karakteristik dan Mutu Arang Kayu Jati (Tectona grandis) dengan Sistem Pengarangan Campuran pada Metode Tungku Drum*, Jurnal Riset Industri Hasil Hutan 8 (2): 53 – 64

Sugiyanto D. 2014. *Pengaruh Variasi Jenis Busi Dan Campuran Bensin Methanol Terhadap Kinerja Motor 4 Tak*. Jurnal Sainstech Politeknik Indonusa Surakarta. 1 (2) : [8.p.]

Tanoue, Ken-Iciro, Hinauchi, Tatsuya., Oo, Thaung., Nishimura, Tatsuo., Taniguchi, Miki., dan Sasauchi, Ken-Ichi., 2007 *Modeling of heterogeneous chemical reactions caused in pyrolysis of biomass particles*, Japan : *Advanced Powder Technol.*, 18 (6): 825–840

Jurnal Teknologi 11 (2) pp 91- 96 © 2019

Dharmasisya

Volume 1 *NOMOR 2 JUNI 2021* Article 7

July 2021

PERUBAHAN SKEMA KERJA SAMA PEMANFAATAN ENERGI BARU DAN TERBARUKAN UNTUK PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN TENAGA AIR

Andi Kurniawan
andiikurniawan@live.com

Follow this and additional works at: https://scholarhub.ui.ac.id/dharmasisya

 Part of the Administrative Law Commons, Civil Law Commons, Constitutional Law Commons, Criminal Law Commons, and the International Law Commons

Recommended Citation

Kurniawan, Andi (2021) "PERUBAHAN SKEMA KERJA SAMA PEMANFAATAN ENERGI BARU DAN TERBARUKAN UNTUK PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN TENAGA AIR," *Dharmasisya*: Vol. 1 , Article 7.
Available at: https://scholarhub.ui.ac.id/dharmasisya/vol1/iss2/7

This Article is brought to you for free and open access by the Faculty of Law at UI Scholars Hub. It has been accepted for inclusion in Dharmasisya by an authorized editor of UI Scholars Hub.

PERUBAHAN SKEMA KERJA SAMA PEMANFAATAN ENERGI BARU DAN TERBARUKAN UNTUK PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN TENAGA AIR

Cover Page Footnote

Frank P. Incropera, Consequences of Global Warming, Climate Change: A Wicked Problem, 2015, 80–107 , diakses tanggal 20 Januari 2020. Persetujuan Paris merupakan perjanjian internasional tentang perubahan iklim yang bertujuan untuk menahan kenaikan suhu rata-rata global, pemerintah Indonesia telah menandatangani Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change (Persetujuan Pasis atas Konvensi Kerja Perserikatan Bangsa - Bangsa mengenai Perubahan Iklim) pada tanggal 22 April 2016 di New York, Amerika Serikat. Perjanjian tersebut kemudian diratifikasi melalui Undang-undang No. 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement To The United Nations Framework Convention On Climate Change, LN Tahun 2016 No. 204, TLN No. 5939

This article is available in Dharmasisya: https://scholarhub.ui.ac.id/dharmasisya/vol1/iss2/7

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

PERUBAHAN SKEMA KERJA SAMA PEMANFAATAN ENERGI BARU DAN TERBARUKAN UNTUK PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN TENAGA AIR

Andi Kurniawan
Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Korespondensi: andiikurniawan@live.com

Abstrak

Pemanfaatan energi bersih dan berkelanjutan merupakan salah satu cara untuk menjaga ketahanan energi khususnya energi listrik. Indonesia memiliki komitmen dalam rencana global untuk menurunkan efek gas rumah kaca melalui pemanfaatan energi baru dan terbarukan. Target bauran energi nasional berdasarkan Rencana Energi Nasional yang menempatkan prioritas untuk memaksimalkan penggunaan energi terbarukan paling sedikit 23% pada tahun 2025. Namun dalam perjalanannya target tersebut mengalami berbagai hambatan salah satunya adalah investasi yang tidak menarik bagi pengembang akibat harga jual tenaga listrik energi baru yang rendah serta regulasi sektoral yang mudah berubah-ubah. Terbitnya Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 memberikan banyak dampak bagi regulasi pengembangan energi baru dan terbarukan. Berdasarkan hal tersebut artikel ini akan memberikan gambaran dan analisis terhadap dasar hukum dilakukannya amandemen Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik, implikasi perubahan peraturan sektoral terhadap pola kerja sama, harga jual, risiko disisi PLN selaku pembeli berdasarkan Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik yang saat ini *existing*.
Kata kunci: Energi Terbarukan, Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik, Kerja Sama

Abstract

The utilization of clean and sustainable energy is one way to maintain energy resistance in particular electrical energy. Indonesia has a commitment to global plan to reduce the effect of greenhouse gases through the utilization of new and renewable energy. National energy mix targets based on national energy plan which puts priority to maximize the use of at least 23% renewable energy in the year 2025. But in the course of the target is experiencing various obstacles one of them is an investment that is not attractive to developers due to the low price of new energy electricity, as well as easy to change sector regulation. The regulation of Minister of Energy and Mineral Resources (MEMR) No. 50/2017 provides many impacts for new and renewable energy development regulations. Based on this article will provide an overview and analysis of the legal basis of the amendment of the Electric Power purchase agreement, the implications of changes in the sectoral regulations on the cooperation pattern, the selling price, the risk on the side of PLN as a buyer based on the electric Power purchase agreement which is currently existing.
Keywords: Renewable Energi, PPA, Scheme

I. PENDAHULUAN

Dunia saat ini sedang berpacu dengan waktu guna menjaga kestabilan ekosistem lingkungan. Pemanfaatan energi fosil bertahun-tahun tidak hanya membuat cadangan energi tak terbarukan tersebut menipis, namun juga telah mengakibatkan berbagai kerusakan lingkungan di berbagai belahan dunia.[1] Ancaman krisis energi dapat sewaktu-waktu terjadi jika tidak diiringi dengan upaya untuk memanfaatkan energi baru dan terbarukan.

Indonesia telah meratifikasi *Paris Agreement*[2] dan berkomitmen untuk memberikan sumbangsih kepada dunia terkait pengurangan efek gas rumah kaca yang digadang-gadang sebagai faktor terbesar menyebabkan perubahan iklim ekstrim beberapa tahun belakangan. Salah satu fokus yang diupayakan Indonesia adalah dengan mengurangi penggunaan energi

[1] Frank P. Incropera, *Consequences of Global Warming, Climate Change: A Wicked Problem*, 2015, 80–107 <https://doi.org/10.1017/cbo9781316266274.009>, diakses tanggal 20 Januari 2020.

[2] Persetujuan Paris merupakan perjanjian internasional tentang perubahan iklim yang bertujuan untuk menahan kenaikan suhu rata-rata global, pemerintah Indonesia telah menandatangani *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Persetujuan Pasis atas Konvensi Kerja Perserikatan Bangsa - Bangsa mengenai Perubahan Iklim) pada tanggal 22 April 2016 di New York, Amerika Serikat. Perjanjian tersebut kemudian diratifikasi melalui Undang-undang No. 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement To The United Nations Framework Convention On Climate Change,* LN Tahun 2016 No. 204, TLN No. 5939

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

fosil dalam penyediaan tenaga listrik. Target bauran energi nasional berdasarkan rencana energi nasional menempatkan prioritas untuk memaksimalkan penggunaan energi terbarukan paling sedikit 23% pada tahun 2025.[3]

Berdasarkan data potensi energi baru dan terbarukan di Indonesia untuk tenaga listrik mencapai 443 GW, meliputi panas bumi, air (mikro-mini hidro), bioenergi surya, angin, dan gelombang laut. Potensi tenaga surya di Indonesia memiliki porsi terbesar, lebih dari 207 MW, disusul dengan air dan angin.[4]

Dalam kurun waktu tahun 2014 – 2017 telah terjadi perubahan peraturan sektoral di bidang pemanfaatan energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik menggunakan tenaga air. Perubahan tersebut sifatnya sangat mendasar, Pada tahun 2014 misalnya, melalui Permen ESDM 12 Tahun 2014 perhitungan harga dilakukan melalui *Feed-in Tariff*[5] untuk pembangkit listrik sampai dengan kapasitas 10 MW, sementara itu untuk kapasitas di atas 10 MW dilakukan melalui kesepakatan dengan pengembang. Peraturan tersebut juga tidak membatasi pola kerja sama dan jangka waktu PJBL, yang dilakukan berdasarkan *business to business*.

Belum genap satu tahun sejak Permen ESDM 12 Tahun 2014 diberlakukan, Kementerian ESDM kemudian mencabut peraturan tersebut melalui Permen ESDM 19 Tahun 2015. Terjadi perubahan mendasar terkait dengan harga patokan pembelian dari semula sebesar 7,85 *cent* USD/kWh menjadi 12 *cent* USD/kWh.

Selanjutnya pada tahun 2017, dalam kurun waktu kurang dari setahun telah terjadi 3 kali perubahan peraturan sektoral dibidang energi terbarukan yaitu melalui Permen ESDM 12/2017 yang kemudian diubah melalui Permen ESDM 43/2017 dan kemudian dicabut melalui Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 terkait dengan pemanfaatan energi baru dan terbarukan, khususnya pembangkit listrik tenaga air. Beberapa hal pokok yang diubah dan saat ini masih berlaku antara lain sebagai berikut:

1. Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 berlaku untuk semua kapasitas pembangkit listrik tenaga air;[6]
2. Pola Kerja Sama *Build-Own-Operate-Transfer* (BOOT), menyesuaikan dengan keberlakuan Permen ESDM No. 10 Tahun 2017 terkait pokok-pokok PJBL;[7]
3. Harga Jual ditentukan dengan memperhatikan rata-rata Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Pembangkitan Nasional.[8]

Perubahan-perubahan tersebut telah menyebabkan ketidakpastian dalam pengembangan pembangkit energi baru dan terbarukan serta memberikan implikasi bagi PJBL yang baru akan ditandatangani setelah Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 terbit namun telah berproses pengadaannya/persiapannya, termasuk terhadap kontrak-kontrak yang akan habis

[3] Rencana Umum Energi Nasional, Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional, LN Tahun 2017 No. 43.

[4] Institute Essensial Service Reform (IESR), Energi Terbarukan: Energi untuk kini dan nanti, 2017, hlm. 4, < http://www.iesr.or.id/wp-content/uploads/2018/11/COMS-PUB-0001_Briefing-Paper-1_Energi-Terbarukan.pdf>, diakses tanggal 20 Januari 2020

[5] Berdasarkan lampiran I Permen ESDM 14 Tahun 2014, harga pembelian tenaga listrik ditentukan dengan memperhatikan Faktor F dan harga patokan per wilayah yang telah ditetapkan. Harga pembelian akan mengalami depresiasi *cost* sesuai dengan jangka waktu perjanjian jual beli tenaga listrik.

[6] Kementerian ESDM (1), Peraturan Menteri tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik, Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, Berita Negara RI Tahun 2017 No. 1107, Ps. 7 ayat (1).

[7] Kementerian ESDM (2), Peraturan Menteri ESDM tentang Pokok-Pokok Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik, Permen ESDM No. 10 Tahun 2017, Berita Negara RI Tahun 2017 No. 151, Ps. 4 ayat (3). Jo. Kementerian ESDM (1), Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, Ps. 7 ayat (8)

[8] Kementerian ESDM (1), Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, Ps. 7 ayat (5) – ayat (7).

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

masa berlakunya dan harus dilakukan perpanjangan/amandemen. hal tersebut menimbulkan pertanyaan terkait konsistensi pemerintah untuk mendukung pengembangan energi baru dan terbarukan. Ditambah lagi aturan peralihan Permen No. 50 Tahun 2017 faktanya tidak dapat mengakomodir berbagai kondisi yang justru merugikan pengembang di mana ketentuan tersebut hanya mengatur beberapa ketentuan terkait kondisi pengembang yang telah atau belum mendapatkan persetujuan harga menteri dan penandatanganan PJBL. Sementara itu pada kondisi lain pengembang yang telah melakukan proses pengadaan namun belum mendapatkan persetujuan menteri dan menandatangani PJBL maka tidak memiliki status yang jelas, padahal dalam prosesnya pengembang telah melakukan proses dan mengeluarkan biaya. Kondisi tersebut yang kemudian mengakibatkan negosiasi antara pengembang dan PLN berlarut-larut.

Sebelum Permen ESDM No. 12 Tahun 2017 terbit, pengembangan pembangkit listrik tenaga air pada dasarnya dikualifikasikan menjadi dua jenis yaitu, pembangkit skala kecil dengan kapasitas sampai 10 MW dan pembangkit dengan kapasitas di atas 10 MW. Hal tersebut merujuk pada Permen ESDM No. 19 Tahun 2015 tentang Pembelian Tenaga Listrik Dari Pembangkit Listrik Tenaga Air Dengan Kapasitas Sampai Dengan 10 MW yang kemudian di cabut melalui Permen ESDM No. 9 Tahun 2018 tentang Pencabutan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Terkait Kegiatan Usaha Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi.

Max Webber's berpendapat, bahwa bila hukum ingin berperan dalam pembangunan ekonomi, maka hukum harus mempunyai lima kualitas, seperti dikatakan oleh Burg dalam studinya tentang Hukum dan Pembangunan, yaitu: 1) *stability*; 2) *predictability*; 3) *fairness*; 4) *education*; dan 5) *the special development abilities of the lawyer*.[9] Sudah sepatutnya hukum dapat dirancang untuk stabil dan dapat diperkirakan (*predictable*), sementara itu, entitas ekonomi secara ideal harus cepat menyesuaikan diri dengan lingkungan ekonomi dan teknologi.[10] Pemerintah harus menyiapkan solusi untuk berbagai masalah yang dapat memunculkan rasa kepastian hukum bagi pengembang pembangkit tenaga listrik. Hukum harus berfungsi membangun, mendorong dan beradaptasi dengan perubahan dimasyarakat.[11]

Pasca terbitnya Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, mengakibatkan berbagai isu hukum di antaranya, apakah PJBL yang saat ini eksisting harus menyesuaikan dengan peraturan terbaru, yang mengakibatkan perubahan terhadap jangka waktu kontrak, skema kerja sama, dan harga jual tenaga listrik termasuk, apakah amandemen terhadap PJBL dapat dilakukan dan apa saja yang harus diperhatikan dalam proses amandemen.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran dan analisis terhadap pertanyaan berikut: 1) bagaimana dasar hukum dilakukannya amandemen Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik; dan 2) bagaimana implikasi perubahan peraturan sektoral terkait pengembangan pembangkit listrik tenaga air terhadap pola kerja sama, harga jual, risiko bagi PLN selaku pembeli dan Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik yang saat ini eksisting. Pertanyaan-pertanyaan tersebut muncul sebagai akibat dari peraturan sektoral yang sangat mudah berubah

[9] Erman Rajagukguk, Peranan Hukum dalam Pembangunan Ekonomi, (Salemba: Universitas Indonesia. 2017), hlm. 3, mengutip Leonard J. Theberge, *Law and Economic Development*, Journal of International Law and Policy. Vol. 9, Tahun 1980. hlm. 231.

[10] Dian Ediana Rae, *Transaksi Derivatif dan Masalah Regulasi Ekonomi di Indonesia*, (Jakarta: Elex Media Komputindo, 2008), hlm. 134.

[11] Sutrisno, *Economic Analysis of Law: Prespektif Sengketa Transasksi Derivatif Valuta Asing di Indonesia*, (Bandung: Citra Aditya Bakti, 2019), hlm. 20.

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

Pengelolaan energi listrik saat ini dikuasai oleh negara melalui PLN sebagai *single of taker*. PLN menjadi satu-satunya perusahaan yang dibolehkan untuk melakukan penjualan tenaga listrik kepada masyarakat sebagai pemegang izin usaha ketenagalistrikan (IUPTL).

Penguasaan negara di sektor ketenagalistrikan merupakan perwujudan dari Pasal 33 ayat (3) UUD NRI 1945 yang menyatakan:

"*bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan sebesar-besarnya untuk kemakmuran rakyat*"

Namun, kendati PLN bertindak sebagai *single of taker*, hal tersebut tidak berarti bahwa UUD 1945 dalam hal penguasaan negara terhadap cabang-cabang produksi yang penting bagi negara dan yang menguasai hajat orang banyak menolak privatisasi sepanjang hal itu tidak meniadakan penguasaan oleh negara.[12] Lebih lanjut dalam putusan Mahkamah Konstitusi, menyatakan bahwa Pasal 33 UUD 1945 juga tidak menolak ide kompetisi di antara pelaku usaha, sepanjang kompetisi itu tidak meniadakan penguasaan oleh negara yang mencakup kekuasaan mengatur (*regelendaad*), mengurus (*bertuutsdaad*), mengelola (*beheersdaad*), dan mengawasi (t*oezchthoudensdaad*).[13]

Filosofi penguasaan oleh negara di bidang ketenagalistrikan adalah terciptanya ketahanan nasional (*national security*) di bidang energi dengan sasaran utama penyediaan dan pendistribusian energi ke seluruh wilayahnya.[14] Salah satu upaya untuk menciptakan ketahanan energi adalah dengan mendayagunakan potensi energi baru dan terbarukan di masa yang akan datang mengingat potensi sumber energi terbarukan Indonesia yang besar.[15]

Kekuasaan sebagaimana dimaksud salah satunya berupa kewenangan pemerintah untuk menetapkan berbagai peraturan untuk menjadi pedoman pelaksanaan tak terkecuali dalam peraturan sektoral di bidang penyediaan tenaga listrik. Namun demikian peraturan yang diterbitkan pemerintah harus mampu menjaga iklim pengembangan energi terbarukan dengan memastikan adanya jaminan dan kepastian hukum bagi para pengembang.

II. PEMBAHASAN

A. Amandemen Perjanjian Jual Beli Listrik ("PJBL")

Pada pembahasan di bawah ini akan diuraikan analisis perpanjangan dan amandemen PJBL berdasarkan peraturan sektoral dan internal yang secara khusus mengatur pembelian tenaga listrik menggunakan tenaga air.

1. Tinjauan terhadap Permen ESDM No. 10 Tahun 2017

Memperhatikan ketentuan mengenai pokok-pokok dalam PJBL yang diatur melalui Permen ESDM No. 10 Tahun 2017, diketahui bahwa PJBL yang diatur dalam peraturan tersebut meliputi aspek komersial untuk seluruh jenis pembangkit, termasuk Pembangkit listrik tenaga panas bumi, pembangkit listrik tenaga air, dan pembangkit listrik tenaga biomassa.

Namun ketentuan Permen ESDM No. 10 Tahun 2017 tersebut, tidak sepenuhnya dapat diberlakukan terhadap pembangkit listrik energi baru dan energi terbarukan yang bersifat intermiten, pembangkit listrik tenaga air di bawah 10 MW (sepuluh megawatt), pembangkit

[12] Putusan Mahkamah Konstitusi Nomor 001-021-022/PUU-1/2003, tanggal 15 Desember 2004, hlm. 336

[13] Putusan Mahkamah Konstitusi Nomor 001-021-022/PUU-1/2003 dikutip dalam Putusan 111/PUU-XIII/2015, tanggal 14 Desember 2016

[14] Taufiqurrohman Syahuri, *Tafsir Konstitusi Berbagai Aspek Hukum*, Jakarta: Kencana Prenada Media Grup, 2011, hlm. 302.

[15] Adriana Elisabeth, ed, *Road map kebijakan luar negeri Indonesia (2015-2020) : mewujudkan Diplomasi Ekonomi Inklusif, Berbasis Lingkungan dan Berkelanjutan*, (Jakarta: Yayasan Pustaka Obor Indonesia, 2016), hlm. 21

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

listrik tenaga biogas, dan pembangkit listrik berbasis sampah kota, sebab jenis pembangkit tersebut diatur dalam Peraturan Menteri tersendiri.[16]

Memperhatikan historis terbitnya Permen ESDM No. 10 Tahun 2017, ketentuan dalam Pasal 3 ayat (3) Permen ESDM No. 10 Tahun 2017 sebenarnya relevan pada saat aturan tersebut diundangkan, karena pada saat itu, Permen ESDM 19/2015 tentang Pembelian Tenaga Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Air dengan kapasitas sampai dengan 10 MW masih berlaku. Namun saat ini, Permen ESDM 19/2015 telah dinyatakan dicabut dan tidak berlaku sejak tanggal 5 Februari 2018. Berdasarkan *review* yang dilakukan, pada dasarnya terdapat beberapa ketentuan terkait PJBL yang dahulu di atur dalam Permen 19/2015 di antaranya sebagai berikut:

No.	Pengaturan Hal Pokok	Pasal
1	Kapasitas Pembelian Tenaga Listrik	Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air dengan kapasitas sampai 10 MW (Pasal 3 ayat (1))
2	Pola Kerja sama	Tidak diatur
3	Harga Pembelian	Harga Pembelian Ditetapkan PLN (Pasal 3 ayat (3) huruf a)
4	Jangka waktu PJBL	20 Tahun dan dapat diperpanjang sesuai peraturan perundang-undangan (Pasal 5 ayat (1) dan ayat (2))

Selanjutnya untuk memudahkan memahami kronologis terbitnya peraturan terkait, dapat diperhatikan tabel peraturan di bawah ini:

No	Peraturan	Terbit	Dicabut	Ket
1	Permen 19/2015 tentang Pembelian Tenaga Listrik Dari Pembangkit Listrik Tenaga Air dengan Kapasitas sampai dengan 10 MW	29 Juni 2015	5 Februari 2018	Mengatur khusus pembelian listrik menggunakan tenaga air sampai dengan 10 MW
2	Permen ESDM No. 10 Tahun 2017 tentang Pokok-Pokok PJBL	23 Januari 2017	Diubah melalui Permen 49/2017 tanggal 8 Agustus 2017, kemudian diubah kembali melalui Permen	

[16] Kementerian ESDM (2), Permen ESDM No. 10 Tahun 2017, Ps. 2 ayat (3).

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

			10/2018 tanggal 13 Februari 2018	
3	Permen 43/2017 tentang pemanfaatan energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik	17 Juli 2017	8 Agustus 2017	Terdapat ketentuan pembelian tenaga listrik melalui tenaga air, untuk semua kapasitas
4	Permen 50/2017 tentang pemanfaatan energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik	8 Agustus 2017	Berlaku sampai saat ini	Terdapat ketentuan pembelian tenaga listrik melalui tenaga air, untuk semua kapasitas

Berdasarkan penjelasan di atas, dapat disampaikan bahwa ketentuan pokok–pokok PJBL dalam Permen ESDM No. 10 Tahun 2017 tidak berlaku terhadap pembangkit listrik dengan kapasitas di bawah 10 MW, Namun mengingat regulasi yang mengatur standar dan pokok-pokok PJBL hanya terdapat dalam Permen ESDM No. 10 Tahun 2017, maka sehubungan dengan perpanjangan dan penyusunan amandemen PJBL, para pihak dapat mengacu pada hal – hal yang relevan dan di perlukan dalam Permen ESDM No. 10 Tahun 2017. Namun hal tersebut dapat dilakukan sepanjang para pihak sepakat.

2. Tinjauan terhadap Permen ESDM No. 50 Tahun 2017

Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, tidak terdapat ketentuan spesifik berkaitan dengan perpanjangan atau amandemen PJBL. Berdasarkan Pasal 17 ayat (2) Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 dinyatakan bahwa pokok-pokok PJBL diatur sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan dalam hal ini kembali merujuk Permen ESDM No. 10 Tahun 2017 dan perubahannya, sebagai satu-satunya aturan yang mengatur Pokok-pokok PJBL. Kutipan lengkap pasal sebagai berikut:

Pasal 17 ayat (2)

Pokok-pokok PJBL sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b, sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Selain itu, beberapa pengaturan yang perlu diperhatikan dalam Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 berkaitan dengan PJBL untuk pembangkit listrik tenaga air, antara lain sebagai berikut:

a. *Capacity Factor* untuk pembangkit sampai 10 MW paling sedikit 65% untuk pembangkit sampai dengan 10 MW, dan untuk pembangkit di atas 10 MW *Capacity Factor* tergantung kebutuhan sistem;[17]
b. Harga pembelian tenaga listrik berdasarkan BPP;[18]
c. Pola kerja sama BOOT.[19]

[17] Kementerian ESDM (1), Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, Ps. 7 ayat (4).
[18] Kementerian ESDM (1), Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, Ps. 7 ayat (5) – ayat (7)
[19] Kementerian ESDM (1), Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, Ps. 7 ayat (8)

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

Lebih lanjut Ketentuan lainnya yang perlu diperhatikan terkait rencana perpanjangan dan amandemen PJBL adalah ketentuan peralihan sesuai kutipan berikut:

Pasal 19

Pada saat Peraturan Menteri ini mulai berlaku, Badan Usaha yang:

a. telah mendapatkan penetapan sebagai pemenang Kuota Kapasitas PLTS Fotovoltaik atau telah ***mendapatkan persetujuan harga tenaga listrik dari Menteri, penetapan sebagai pengelola Tenaga Air untuk pembangkit listrik****, penetapan sebagai pengembang PLTBm, PLTBg, atau PLTSa, atau pemenang pelelangan wilayah kerja panas bumi; dan*

b. ***telah menandatangani PJBL*** *dengan PT PLN (Persero), proses pelaksanaan pembelian dan harga tenaga listriknya sesuai dengan ketentuan yang diatur dalam PJBL yang telah ditandatangani.*

Ketentuan tersebut mengatur bahwa badan usaha yang telah mendapatkan persetujuan harga tenaga listrik dari Menteri atau telah mendapatkan penetapan sebagai pengelola tenaga air dan telah menandatangani PJBL, maka proses pelaksanaan pembelian dilakukan berdasarkan perjanjian yang telah ditandatangani. Selanjutnya ketentuan yang perlu untuk diperhatikan adalah Pasal 25 Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, sesuai kutipan berikut:

Pasal 25

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 19 sampai dengan Pasal 24 dapat dikecualikan terhadap Badan Usaha dan PT PLN (Persero) yang bersepakat untuk mengikuti ketentuan proses pelaksanaan pembelian dan harga tenaga listrik berdasarkan Peraturan Menteri ini.

Berdasarkan peraturan di atas, dapat diketahui bahwa pada prinsipnya Badan Usaha yang telah mendapatkan persetujuan harga dari Menteri atau telah mendapatkan Penetapan sebagai Pengelola Tenaga Air dan telah menandatangani PJBL dengan PLN, pembelian tenaga listrik mengacu pada PJBL yang sudah ada. Namun demikian terkait perpanjangan dan amandemen PJBL, Badan Usaha dan PLN dapat berpedoman pada Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 sepanjang dilakukan berdasarkan kesepakatan antara para pihak.

3. Tinjauan terhadap Perdir Internal PLN

Proses pengadaan barang dan jasa di lingkungan PLN tunduk pada Perdir Pedoman Pengadaan Barang dan Jasa. Selain pengadaan barang jasa secara umum, Perdir tersebut juga mengatur pembelian tenaga listrik yang dilakukan oleh PLN. Berdasarkan Ketentuan 5.2.1.1 disebutkan sesuai kutipan berikut:

5.2.1.1. Metode Pengadaan, Proses, ketentuan dan istilah dalam Pembelian Tenaga Listrik mengikuti Peraturan ini, kecuali ditentukan lain oleh peraturan perundang-undangan yang berlaku dan/atau Peraturan Direksi yang mengatur khusus mengenai Pembelian Tenaga Listrik.

Beberapa pengaturan yang terkait dengan pembelian tenaga listrik yang diatur dalam Perdir Pedoman pengadaan barang dan jasa yaitu:

No	Ketentuan	Pasal
1	RUPTL, KKP, KKO dan KKF	5.2.1.3. Dalam Pembelian Tenaga Listrik, Pengguna Barang/Jasa wajib memperhatikan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL), Kajian Kelayakan Proyek (KKP) atau Kajian Kelayakan Operasi dan Finansial (KKO dan KKF).
2	Jangka waktu dan	5.2.1.4. Perjanjian/Kontrak pembelian tenaga listrik

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

	skema kerja sama pembelian tenaga listrik	dari *Independent Power Producer* (IPP) dilakukan dengan jangka waktu minimal 20 (dua puluh) tahun sampai dengan 30 (tiga puluh) tahun berdasarkan jenis pembangkit atau ditentukan lain oleh Direksi, dengan skema *Built Own Operate Transfer* (BOOT).

Selain itu berkaitan dengan Perpanjangan dan Amandemen Kontrak, Pedoman Pengadaan barang dan jasa mengatur ketentuan perubahan perjanjian/kontrak dengan ketentuan yaitu:[20]

a. perubahan Perjanjian/Kontrak dapat dilakukan atas kesepakatan bersama antara Pengguna Barang/Jasa dan Penyedia Barang/Jasa;
b. Perubahan Perjanjian/Kontrak, bila dianggap perlu dapat dilakukan melalui *review* dan rekomendasi Komite *Value for Money;*
c. Semua perubahan Perjanjian/Kontrak dituangkan dalam adendum/amandemen Perjanjian/Kontrak yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Perjanjian/Kontrak.

Berdasarkan penjelasan dan pembahasan di atas, dapat disampaikan bahwa perpanjangan dan amandemen dapat dilakukan berdasarkan kesepakatan para pihak, untuk kemudian dituangkan dalam bentuk Amandemen Perjanjian dan bila dianggap perlu dapat dilakukan melalui *review* dan rekomendasi Komite *Value for Money.*

Selanjutnya, terhadap perjanjian yang di buat dan disusun di indonesia, umumnya terdapat klausul bahwa penafsiran dan pelaksanaan perjanjian serta segala akibatnya tunduk pada hukum Republik Indonesia. Ketentuan tersebut mengisyaratkan terkait hal-hal yang tidak diatur dalam perjanjian maka para pihak akan merujuk pada hukum perjanjian yang berlaku di indonesia yaitu KUHPerdata. Berdasarkan Pasal 1338 KUHPerdata telah diatur bahwa para pihak dalam kontrak bebas untuk membuat perjanjian, dan berlaku sebagai undang-undang bagi yang membuatnya, sepanjang hal tersebut memenuhi syarat sahnya perjanjian yang diatur Pasal 1320 KUHPerdata yaitu sebagai berikut:

(1) Kesepakatan para pihak;
(2) Kecakapan;
(3) Mengenai suatu hal tertentu; dan
(4) Sebab yang tidak terlarang

Kesepakatan yang dimaksud dalam Pasal 1320 KUHPerdata tersebut adalah persesuaian kehendak antara para pihak, yaitu bertemunya antara penawaran dan penerimaan.[21] Namun kehendak atau keinginan tersebut harus dinyatakan.[22] Oleh karena itu dalam hal disepakatinya perubahan harus dengan bentuk amandemen berdasarkan ketentuan dalam PJBL.

Berdasarkan pembahasan dan penjelasan tersebut dapat disampaikan bahwa perpanjangan dan amandemen dapat dilakukan berdasarkan kesepakatan para pihak sesuai Pejanjian Jual Beli Tenaga Listrik *Jo.* Ketentuan 6.6.1 Perdir Pengadaan Barang/Jasa *Jo.* Pasal 1320 dan Pasal 1338 KUHPerdata. Kesepakatan tersebut juga dapat memuat penundukan diri para pihak terhadap Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 maupun Perdir Internal PLN yang berlaku mengenai hal tersebut.

---

[20] PLN (1), Peraturan Direksi tentang Pengadaan Barang/Jasa PLN, Perdir No. 0164.P/DIR/2019, tanggal 1 November 2019, Ps. 6.6.1.

[21] Ahmadi Miru, dan Sakka Pati, *Hukum Perikatan: Penjelasan Makna Pasal 1233 sampai 1456 BW*, (Jakarta: PT Raja Grafindo Persada, 2008), hlm. 68.

[22] R. Subekti, *Aneka Perjanjian, cet. Kesepuluh*, (Bandung: PT Citra Aditya Bakti, 1995), hlm.6.

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

4. Dasar Hukum Perubahan Skema Kerja Sama BOO menjadi BOOT

Bahwa sebelum berlakunya Permen ESDM No. 10 Tahun 2017, tidak diatur ketentuan terkait skema kerja sama dalam penyediaan tenaga listrik dari pembangkit energi terbarukan antara PLN dan Pengembang. Oleh karena itu, pengembang memiliki banyak alternatif untuk melakukan negosiasi dengan PLN dalam menentukan bentuk skema kerja sama yang akan menguntungkan bagi proyek. Sebelum skema BOOT menjadi sebuah keharusan, pada umumnya pelaksanaan kerja sama dilakukan dengan skema kerja sama BOO.

Sebelum dilakukan pembahasan mengenai dasar hukum perubahan skema kerja sama dari BOO menjadi BOOT terlebih dahulu akan disampaikan pembahasan terkait konsep dasar skema kerja sama BOO dan BOOT sebagai berikut:

Konsep Dasar Skema Kerja Sama BOO dan BOOT

Menurut Barnett, M, memberian definisi skema BOOT sebagai berikut:[23]

"Government granting to a private sector organization a concession of franchise to build a specific facility, ***to own it for a specified period, to operate it and to take the revenue from it****, and* ***ultimately to transfer it back to the Government****".*

Selanjutnya R. Akbiyikli dan D. Eaton, menggambarkan bahwa skema BOOT merupakan skema yang membagi pertanggungjawaban antara pemerintah dan swasta secara seimbang menurut kapasitas dan kekuatannya. Sesuai gambar di bawah ini.[24]

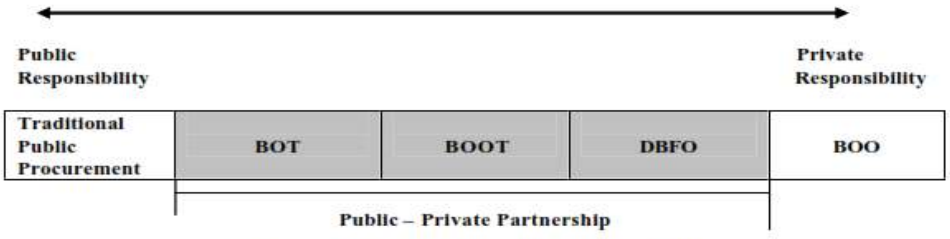


Fig. 1 Schematic scale of the public procurement classification
(Adapted from European Commission, 2003)

Pada sisi kiri, sektor publik mengambil semua tanggung jawab untuk membiayai, membangun, mengoperasikan dan memelihara aset termasuk tanggung jawab untuk menanggung risiko terkait. Pada sisi berlawanan, sektor swasta mengambil semua tanggung jawab dan risiko dalam bentuk skema kerja sama BOO. Sementara itu, pendekatan yang digunakan dalam skema kemitraan pemerintah dan swasta salah satunya adalah BOOT, yang membagi tanggung jawab secara seimbang antara pemerintah dan swasta berdasarkan kemampuan dan kekuatannya.

Berdasarkan uraian tersebut dapat diketahui bahwa skema BOO memberikan tanggung jawab penuh kepada pengembang untuk membangun, mengoperasikan termasuk terhadap semua risiko yang telah diperjanjikan. Sedangkan skema BOOT membagi tanggung jawab dan risiko secara seimbang. Dalam skema BOO, penyedia atau pengembang bertanggung jawab untuk semua aspek proyek meliputi desain, perancangan, pembiayaan, konstruksi, pengujian, komisioning serta pengoperasian aset tersebut. Sementara itu, pada skema BOOT semua

[23] David G. Woodward, *Use of Sensitivity Analysis in Build-Own-Operate-Transfer Project Evaluation*, *International Journal of Project Management*, 13.4, 1995, hlm. 247, mengutip M. Barnett, *Role of the Merchant Banker in Projects. International Journal of Project Management*, 5(4), 1987, hlm.197-203

[24] R Akbiyikli and D Eaton, A *Comparison of PFI, BOT, BOO, and BOOT Procurement Routes for in Frastructure Construction Projects*, *Fifth International Postgraduate Research Conference in the Built and Human Environment*, 2005, 506.

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

aspek proyek meliputi desain, perancangan, pembiayaan, konstruksi, pengujian, komisioning serta pengoperasian aset tersebut harus diwujudkan melalui *assessment* oleh pengguna atau pembeli, mengingat adanya kewajiban pengalihan proyek pada tanggal pengalihan sesuai kontrak.[25]

Umumnya berdasarkan kontrak-kontrak perjanjian jual beli tenaga listrik menggunakan mekanisme BOOT, mengatur ketentuan pada saat pengalihan pembangkit dan fasilitas yang menyertainya harus bebas dan bersih dari segala jaminan dan pembebanan oleh pengembang. Dalam mekanisme BOOT tersebut, pengembang harus mengalihkan kepada pembeli seluruh hak tanpa terkecuali hak milik dan kepentingan pengembang di dalam proyek meliputi seluruh bahan dasar, suku cadang, properti berwujud, properti tidak berwujud (paten, lisensi, nama dagang, merek, hak cipta, dll), lokasi termasuk HGB, dokumen perusahaan, seluruh hak-hak atas kontrak dan segala bentuk polis asuransi.

Berdasarkan uraian di atas dapat disampaikan bahwa melalui skema BOOT, penjual dalam hal ini pengembang wajib menyerahkan pembangkit termasuk semua fasilitas yang menyertainya kepada PLN pada tanggal penyerahan yang diperjanjikan dalam PJBL.

5. Tinjauan Skema Kerja Sama berdasarkan Peraturan

Skema Kerja Sama pengembangan pembangkit listrik tenaga air saat ini dilaksanakan melalui skema kerja sama "Membangun, Memiliki, Mengoperasikan dan Mengalihkan" / BOOT. Peraturan terkait ketentuan kerja sama tersebut yaitu:

No	Peraturan	Pasal
1	Permen ESDM No. 10 Tahun 2017 tentang pokok-pokok PJBL	PJBL sebagaimana dimaksud pada ayat (1) menggunakan pola kerja sama "Membangun, Memiliki, Mengoperasikan dan Mengalihkan" (*Build, Own, Operate and Transfer*/BOOT).[26]
2	Permen 50/2017 tentang pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik	Pembelian tenaga listrik dari Tenaga Air sebagaimana dimaksud pada ayat (3) menggunakan pola kerja sama membangun, memiliki, mengoperasikan dan mengalihkan (*Build, Own, Operate, and Transfer*/BOOT).[27]
3	Perdir 022/2018 tentang pembelian tenaga listrik dari pembangkit energi terbarukan	Pembelian tenaga listrik dari Pembangkit Energi Terbarukan menggunakan pola kerja sama membangun, memiliki, mengoperasikan dan mengalihkan (*Build, Own, Operate, and Transfe*/BOOT).[28]
4	Perdir Pedoman Barang dan Jasa PLN	Perjanjian/Kontrak pembelian tenaga listrik dari *Independent Power Producer* (IPP) dilakukan dengan jangka waktu minimal 20 (dua puluh) tahun sampai dengan 30 (tiga puluh) tahun berdasarkan

[25] Thomas S. Konrad, *Management Control in Public-Private Partnerships: Between Internasional Governmental Actors and the Private Sector*, Germany: Dissertation Technische Universitat Dortmund, 2018, hlm. 15.

[26] Kementerian ESDM (2), Permen ESDM No. 10 Tahun 2017, Ps. 4 ayat (3).

[27] Kementerian ESDM (1), Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, Ps. 7 ayat (8).

[28] PLN (2), Peraturan Direksi Tentang Pembelian Tenaga Listrik Dari Pembangkit Energi Terbarukan, Perdir PLN No. 0022.P/DIR/2018, tanggal 23 Maret 2018, Ps. 19 ayat (1)

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

		jenis pembangkit atau ditentukan lain oleh Direksi, dengan skema *Built Own Operate Transfer* (BOOT).[29]

Berdasarkan uraian di atas, dapat diketahui skema kerja sama pembelian tenaga listrik dari pembangkit listrik tenaga air, yang pengadaannya baru dilakukan saat ini wajib menggunakan skema kerja sama BOOT. Namun demikian, apabila perjanjian pembelian tenaga listrik telah berlangsung atau ditandatangani sebelum peraturan terkait mekanisme BOOT terbit, maka penggunaan skema BOOT terhadap rencana perpanjangan dan Amandemen dapat menjadi alternatif bagi para pihak. Hal tersebut juga didasari bahwa ketentuan yang mengatur skema BOOT tidak berlaku surut. Lebih lanjut pertimbangan yang mendasari pendapat tersebut adalah sebagai berikut:

1. Permen ESDM No. 10 Tahun 2017 berlaku untuk semua jenis pembangkit, kecuali pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas di bawah 10 MW.
2. Permen 50/2017 menjelaskan bahwa pada prinsipnya Badan Usaha yang telah mendapatkan persetujuan harga dari Menteri atau telah mendapatkan Penetapan sebagai Pengelola Tenaga Air dan telah menandatangani PJBL dengan PLN, pembelian tenaga listrik mengacu kepada PJBL. Namun demikian terkait perpanjangan dan amandemen PJBL, Badan Usaha dan PLN dapat berpedoman pada Permen 50/2017 sepanjang dilakukan berdasarkan kesepakatan.

Dengan demikian dapat dijelaskan bahwa terhadap rencana perpanjangan dan amandemen PJBL, Para Pihak masih dapat melanjutkan dengan skema kerja sama BOO. Namun demikian Para Pihak memiliki pilihan untuk melakukan perubahan skema kerja sama dari BOO menjadi skema BOOT, sepanjang para pihak bersepakat berpedoman pada ketentuan yang diatur Permen ESDM No. 50 Tahun 2017.

B. Implikasi Terhadap Skema Kerja Sama, Harga dan Jangka Waktu

1. Amandemen berdasarkan Permen ESDM No. 50 Tahun 2017

Pada bagian ini akan diuraikan implikasi yang timbul terhadap kerja sama, harga dan jangka waktu terkait rencana perpanjangan PJBL apabila para pihak bersepakat untuk berpedoman pada Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, sebagai berikut:

a. Terhadap Skema Kerja Sama

Sesuai pembahasan sebelumnya, berlakunya Permen ESDM No. 10 Tahun 2017 dan Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 tidak memiliki implikasi langsung terhadap skema kerja sama yang telah disepakati pada saat penandatangan PJBL. Namun demikian terkait rencana perpanjangan dan amandemen PJBL, para pihak berdasarkan kesepakatan dapat memilih dan bersepakat untuk mengacu pada Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 dan melakukan perubahan skema kerja sama dari BOO menjadi BOOT.[30]

Sebagai konsekuensi dari skema kerja sama BOOT tersebut, pada akhir jangka waktu kontrak terdapat pengalihan pembangkit dari penjual kepada pembeli. maka terhadap rencana amandemen harus memastikan bahwa segala bentuk pengalihan yang dilakukan telah bebas dari segala pembebanan jaminan**.** Selain itu sebelum pelaksanaan Skema Kerja Sama BOOT, PLN perlu melakukan kajian untuk mengetahui nilai ekonomis atau nilai penyusutan aset dan mesin pembangkit saat pengalihan, sehingga PLN dapat menentukan nilai wajar dan menguntungkan sehubungan rencana amandemen dan perpanjangan jangka waktu PJBL yang akan berakibat pada renegosiasi harga jual beli dalam perjanjian PJBL.

[29] PLN (1), Perdir No. 0164.P/DIR/2019, Ps. 5.2.1.4.
[30] Kementerian ESDM (1), Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, Ps. 25.

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

b. Terhadap Penetapan/Persetujuan Harga

Dalam hal para pihak menyepakati untuk tunduk pada Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, maka meskipun harga pembelian tenaga listrik telah disepakati oleh PLN dan pengembang dalam PJBL sebelumnya, sebagai konsekuensi atas penundukan diri pada Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, maka terdapat kewajiban setalah renegosiasi harga dilakukan, harga jual tenaga listrik yang telah disepakati harus mendapatkan persetujuan dari menteri sebelum penandatanganan amandemen PJBL.[31]

Disisi lain, PLN harus memperhatikan nilai terbaik terhadap penentuan harga jual tenaga listrik, hal tersebut mempertimbangkan perpanjangan kontrak seharusnya tidak lagi menghitung biaya investasi pembangkit. hal tersebut beralasan karena pada saat perhitungan harga jual tenaga listrik pada kontrak awal telah memperhitungkan Komponen A (*Capital Cost Recovery*), Komponen B (*Fixed Cost Operation and Maintenance / O/M*), dan *Variabel Cost*ya meliputi Komponen C, D dan E. Oleh karena itu, secara *mutatis mutandis* telah terjadi pembayaran dan pengembalian nilai investasi selama waktu kontrak yang telah berjalan, hal ini kemudian juga telah mengakibatkan adanya nilai penyusutan dan penurunan nilai manfaat pembangkit beserta seluruh aset yang menyertainya. Disisi lain apabila amandemen menyepakati adanya perpanjangan jangka waktu kontrak, maka harga jual tenaga listrik juga harus pdisesuaikan dengan lamanya jangka wkatu tersebut (dalam hal *business as usual* semakin lama jangka waktu kontrak, maka harga jual akan semakin rendah).

Dengan demikian bahwa mempertimbangkan pengembalian biaya investasi telah didepresiasi pada periode awal penjualan tenaga listrik (sebelum perpanjangan). Berdasarkan hal tersebut jika ditinjau menurut prinsip kewajaran suatu transaksi sejenis, maka harga jual yang disepakati dapat lebih rendah dari harga jual sebelumnya.

c. Terhadap Perpanjangan Jangka Waktu PJBL

Dalam hal para pihak menundukkan diri terhadap Permen 50/2017, maka terkait rencana perpanjangan Jangka Waktu PJBL tidak memiliki implikasi hukum sepanjang rencana perpanjangan tersebut masih masuk dalam rentang waktu yang ditentukan dalam Permen ESDM No. 10 Tahun 2017, yakni paling lama 30 Tahun terhitung sejak terlaksananya COD.[32] Bahwa rencana perpanjangan jangka waktu pada prinsipnya dapat dilakukan dan tidak bertentangan dengan peraturan sektoral maupun internal yang berlaku di lingkungan PLN, sepanjang dilakukan dengan memperhatikan dan memenuhi aspek-aspek keandalan teknis dan finansial termasuk namun tidak terbatas pada RUPTL, Kajian Kelayakan Operasi, Kajian Kelayakan Finansial maupun Kajian Risiko. Sehingga berdasarkan kondisi tersebut, dalam rencana perpanjangan jangka waktu PJBL harus terlebih dahulu dilaksanakan kajian-kajian sebagaimana yang disebutkan diatas. Pemenuhan hal tersebut dapat menjadi bagian dari prinsip kehati-hatian dalam pengambilan keputusan korporasi nantinya.

d. Terhadap Kondisi dan Faktor Alam

Berdasarkan Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, *Capacity Factor* (CF) pembangkit listrik menggunakan tenaga air, disyaratkan minimal sebesar 65%.[33] CF merupakan kondisi yang sangat ditentukan oleh ketersediaan energi air pada aliran sungai yang dimanfaatkan sebagai sumber energi, sehingga dalam hal akan dilakukan amandemen sudah sepatutnya PLN sebagai pembeli memperhatikan kondisi alam dan lingkungan sekitar. Sebagai salah satu

[31] Kementerian ESDM (1), Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, Ps. 14.
[32] Kementerian ESDM (2), Permen ESDM No. 10 Tahun 2017, Ps. 4 ayat (1).
[33] Kementerian ESDM (1), Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, Ps. 7 ayat (4).

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

mitigasi risiko kemungkinan, sebelum dilaksanakan amandemen, PLN dapat memperhatikan CF rata-rata pembangkit selama masa kontrak berlangsung atau melakukan studi terkait debit, tekanan air dan ketersediaan air sepanjang tahun.

Berdasarkan Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, amandemen PJBL harus mengatur kesanggupan penjual untuk memenuhi syarat CF. Berdasarkan uraian di atas, disampaikan bahwa rencana amandemen dan perpanjangan jangka waktu PJBL dapat dilakukan secara hukum sepanjang rencana tersebut dilakukan dengan memperhatikan dan memenuhi aspek-aspek keandalan teknis dan finansial termasuk namun tidak terbatas pada RUPTL, KKO, KKF maupun Kajian Risiko.

2. Amandemen berdasarkan PJBL yang berlaku saat ini

Mengacu pada pembahasan sebelumnya, bahwa Para Pihak dapat melakukan amandemen berdasarkan penundukan diri terhadap Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 atau berdasarkan PJBL yang saat ini berlaku. Selanjutnya pada bagian ini akan diuraikan implikasi yang timbul terhadap kerja sama, harga dan jangka waktu terkait rencana amandemen berdasarkan PJBL yang telah ditandatangani, sebagai berikut:

a. Terhadap Skema Kerja Sama

Berdasarkan PJBL yang telah ditandatangani, apabila skema kerja sama dalam pelaksanaan pembangkit dilaksanakan melalui mekanisme BOO, maka ruang lingkup pekerjaan meliputi pembuatan desain, rancang bangun, penyediaan biaya, pembangunan, pengujian dan komisioning yang dilakukan oleh pengembang. Serta fasilitas interkoneksi dan titik transaksi. Konsekuensi dari pelaksanaan mekanisme BOO antara lain sebagai berikut:

1) PLN tidak memiliki risiko terkait dengan operasional pembangkit, karena hal tersebut menjadi tanggung jawab penuh pengembang.
2) PLN tidak memiliki kewajiban untuk memiliki pembangkit beserta seluruh fasilitas yang menyertainya setelah jangka waktu tertentu. Oleh sebab itu, tidak perlu memperhatikan nilai aset pembangkit pada akhir kontrak.

b. Terhadap Penetapan/Persetujuan Harga

Dalam hal perpanjangan dan amandemen mendasarkan pada ketentuan dalam PJBL dengan mekanisme kerja sama BOO. PLN harus memperhatikan nilai terbaik terhadap penentuan harga jual tenaga listrik, hal tersebut mempertimbangkan perpanjangan kontrak seharusnya tidak lagi menghitung biaya investasi pembangkit yang juga berlaku untuk skema kerja sama BOOT. Dengan demikian dapat diasumsikan bahwa pengembalian biaya investasi telah didepresiasi pada periode awal penjualan tenaga listrik (sebelum perpanjangan). Berdasarkan hal tersebut jika ditinjau menurut prinsip kewajaran suatu transaksi sejenis, maka harga jual yang disepakati dapat lebih rendah dari harga jual sebelumnya.

Meskipun dalam regulasi tidak diatur kewajiban untuk meminta persetujuan harga dari menteri terkait perpanjangan dan amandemen PJBL, namun karena pada prinsipnya Pemegang izin usaha penyediaan tenaga listrik dilarang menerapkan harga jual tenaga listrik tanpa persetujuan Pemerintah.[34] Maka persetujuan harga jual dari menteri terkait perpanjangan dan amandemen PJBL diperlukan sebagai bentuk perizinan untuk menyimpangi larangan tersebut. Sebagaimana arti perizinan secara luas sesuai kutipan berikut:

[34] Indonesia, Undang – Undang Ketenagalistrikan, UU No. 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan LN Tahun 2009 No. 133, TLN No. 5052, Ps. 33 ayat (3).

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

"Izin dalam arti luas (perizinan) ialah suatu persetujuan dari penguasa berdasarkan undang-undang atau peraturan pemerintah, untuk dalam keadaan tertentu menyimpang dari ketentuan-ketentuan larangan perundangan"[35]

Dengan demikian maka terhadap harga jual tenaga listrik yang telah disepakati terkait perpanjangan dan amandemen PJBL, tetap harus mendapatkan persetujuan harga jual dari menteri.

c. Terhadap Jangka Waktu

Memperhatikan jangka waktu perpanjangan PJBL, maka hal ini tidak terlepas terhadap keandalan dan kemampuan mesin pembangkit untuk mempertahankan kinerja dan produksi listrik berdasarkan PJBL yang akan disepakati. Oleh karena itu, dibutuhkan kajian teknis terhadap keandalan pembangkit, sehingga lamanya waktu perpanjangan dapat disesuaikan berdasarkan hasil kajian teknis tersebut.

d. Kondisi dan Faktor Alam

Capacity Factor merupakan perbandingan antara kapasitas rata-rata produksi pembangkit selama periode tertentu terhadap kapasitas terpasang. Sebagaimana yang telah dijelaskan pada sub bab terkait CF pada skema BOOT, sebagai bentuk mitigasi terjadinya ketidaksesuaian produksi pembangkit tenaga listrik sebagaimana yang telah diperjanjikan. PJBL perlu mengatur ketentuan khusus terkait sanksi dan/atau penalti terhadap kinerja pembangkit. Jika memperhatikan ketentuan standar penalti terhadap kinerja pembangkit berdasarkan Pasal 21 Permen ESDM No. 10 Tahun 2017, maka kinerja pembangkit tenaga listrik dapat dinyatakan dengan nilai aktual dari AF atau CF, maupun ketentuan teknis lainnya yang disepakati dalam PJBL.

Penalti yang dapat dikenalan terhadap kinerja pembangkit tenaga listrik menggunakan tenaga air:[36]

a. penalti AF atau CF;
b. penalti *outage factor* (OF);
c. penalti kegagalan memikul *mega volt ampere reactive* (MVAR);
d. penalti kegagalan menjaga frekuensi; dan
e. penalti kecepatan naik turun beban (*ramp rate*).

Penjelasan terhadap jenis-jenis penalti tersebut yaitu:

a. Penalti AF atau CF dan penalti *outage factor* (OF) ditetapkan sebesar biaya yang harus dikeluarkan oleh PLN dikarenakan ketiadaan energi yang dijanjikan.
b. Penalti kegagalan memikul *mega volt ampere reactive* (MVAR) merupakan penalti yang diakibatkan karena pembangkit tenaga listrik milik Badan Usaha gagal untuk memikul *mega volt ampere reactive* (MVAR) di sistem interkoneksi PLN. Penalti kegagalan memikul *mega volt ampere reactive* (MVAR) sebagaimana dimaksud tidak berlaku apabila atas permintaan Pengendali Operasi Sistem (*Dispatcher*)
c. Penalti kegagalan menjaga frakuensi merupakan penalti yang diakibatkan apabila pembangkit tenaga listrik milik Badan Usaha gagal untuk memenuhi ketentuan dalam Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (*Grid Code*) pada sistem setempat.

[35] Spelt. N.M. dan J.B.J.M. ten Berge, Pengantar Hukum Perizinan, disunting oleh Philipus M. Hadjon, (Surabaya: Yuridika, 1993), hlm. 2.

[36] Kementerian ESDM (2), Permen ESDM No. 10 Tahun 2017, Ps. 21 ayat (3).

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

d. Penalti kecepatan naik turun beban (*ramp rate*) dikenakan terhadap pembangkit tenaga listrik milik Badan Usaha yang tidak mampu mencapai jumlah dan waktu perubahan pembebanan memenuhi operasi sistem (*dispatch*).

Berdasarkan uraian di atas, disampaikan bahwa rencana amandemen dan perpanjangan jangka waktu PJBL dapat dilakukan secara hukum sepanjang rencana tersebut dilakukan dengan memperhatikan dan memenuhi aspek-aspek keandalan teknis dan finansial termasuk namun tidak terbatas pada RUPTL, KKO, KKF maupun Kajian Risiko.

III. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas dapat diberikan kesimpulan bahwa dasar hukum dilakukannya amandemen Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik dan implikasi perubahan peraturan sektoral terkait pengembangan pembangkit listrik tenaga air terhadap pola kerja sama, harga jual, risiko bagi PLN selaku pembeli dan Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik yang saat ini *existing* yaitu, sebagai berikut:

1. Amandemen PJBL antara PLN dengan Pengembang dapat dilakukan dengan skema kerja sama BOO berdasarkan kesepakatan para pihak sesuai Pasal 23 PJBL PLTM Siteba Jo. Ketentuan 6.6.1 Perdir Pengadaan Barang/Jasa Jo. Pasal 1320 dan Pasal 1338 KUHPerdata atau dapat menggunakan skema kerja sama BOOT berdasarkan Pasal 25 Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, sepanjang para pihak bersepakat berpedoman pada Permen ESDM No. 50 Tahun 2017.
2. Perubahan yang diatur dalam Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 tidak berimplikasi langsung terhadap Skema Kerja Sama, Harga dan Jangka Waktu mengingat para pihak dapat menyepakati amandemen berdasarkan PJBL yang saat ini berlaku. Namun dalam hal para pihak sepakat menundukkan diri terhadap Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, maka berimplikasi terhadap:
   a. Skema Kerja Sama
      konsekuensi dari skema kerja sama BOOT, pada akhir jangka waktu kontrak terdapat pengalihan pembangkit dari penjual kepada pembeli. maka terhadap rencana amandemen harus memastikan bahwa segala bentuk pengalihan yang dilakukan telah bebas dari segala pembebanan jaminan. Selain itu, PLN perlu melakukan kajian untuk mengetahui nilai ekonomis atau nilai penyusutan aset dan mesin pembangkit saat pengalihan, sehingga PLN dapat menentukan nilai wajar dan menguntungkan sehubungan rencana amandemen dan perpanjangan jangka waktu PJBL yang akan berakibat pada renegosiasi harga jual beli dalam perjanjian PJBL.
   b. Penetapan/Persetujuan Harga
      konsekuensi atas penundukan diri pada Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, maka terdapat kewajiban setalah renegosiasi harga dilakukan, harga jual tenaga listrik yang telah disepakati harus mendapatkan persetujuan dari menteri sebelum penandatanganan amandemen PJBL. Disisi lain, PLN harus memperhatikan nilai terbaik terhadap penentuan harga jual tenaga listrik, hal tersebut mempertimbangkan perpanjangan kontrak seharusnya tidak lagi menghitung biaya investasi pembangkit.
   c. Perpanjangan Jangka Waktu PJBL
      Rencana perpanjangan Jangka Waktu PJBL tidak memiliki implikasi hukum sepanjang rencana perpanjangan tersebut masih masuk dalam rentang waktu yang ditentukan dalam Permen ESDM No. 10 Tahun 2017, yakni paling lama 30 Tahun terhitung sejak terlaksananya COD. Rencana perpanjangan jangka waktu PJBL harus terlebih dahulu dilaksanakan kajian-kajian sebagaimana yang disebutkan di atas.
   d. Kondisi dan Faktor Alam

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

Berdasarkan Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, amandemen PJBL harus mengatur kesanggupan penjual untuk memenuhi syarat CF. Berdasarkan uraian di atas, disampaikan bahwa rencana amandemen dan perpanjangan jangka waktu PJBL dapat dilakukan secara hukum sepanjang rencana tersebut dilakukan dengan memperhatikan dan memenuhi aspek-aspek keandalan teknis dan finansial termasuk namun tidak terbatas pada RUPTL, KKO, KKF maupun Kajian Risiko.

Daftar Pustaka

Artikel

Akbiyikli, R. dan D. Eaton. "*A Comparation of PFI, BOT, BOO, and BOOT Procurement Routes For Infrastructure Contruction Project",* Fifth International Postgraduate Research Conference in the Built and Human Environment, 2005.

Incropera, Frank P. "C*onsequences of Global Warming, Climate Change: A Wicked Problem*, 2015, 80–107 <https://doi.org/10.1017/cbo9781316266274.009>.

Woodward, David G. "*Use of Sensitivity Analysis in Build-Own-Operate-Transfer Project Evaluation*. International Journal of Project Management, 13.4, 1995.

Konrad, Thomas S. *Management Control in Public-Private Partnerships: Between Internasional Governmental Actors and the Private Sector*. Germany: Dissertation Technische Universitat Dortmund. 2018.

Buku

Elisabeth, Adriana ed. Road map kebijakan luar negeri Indonesia (2015-2020): mewujudkan Diplomasi Ekonomi Inklusif, Berbasis Lingkungan dan Berkelanjutan. Jakarta: Yayasan Pustaka Obor Indonesia. 2016

Miru, Ahmadi dan Sakka Pati. Hukum Perikatan: Penjelasan Makna Pasal 1233 sampai 1456 BW. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada. 2008

Rae, Dian Ediana. Transaksi Derivatif dan Masalah Regulasi Ekonomi di Indonesia. Jakarta: Elex Media Komputindo. 2008.

Rajagukguk, Erman. Peranan Hukum dalam Pembangunan Ekonomi. Salemba: Universitas Indonesia. 2017.

Subekti. Aneka Perjanjian. cet. Kesepuluh. Bandung: PT Citra Aditya Bakti. 1995.

Sutrisno. Economic Analysis of Law: Prespektif Sengketa Transasksi Derivatif Valuta Asing di Indonesia. Bandung: Citra Aditya Bakti. 2019.

Spelt. N.M. dan J.B.J.M. ten Berge, Pengantar Hukum Perizinan, disunting oleh Philipus M. Hadjon. Surabaya: Yuridika. 1993.

Syahuri, Taufiqurrohman. Tafsir Konstitusi Berbagai Aspek Hukum. Jakarta: Kencana Prenada Media Grup. 2011.

Internet

Institute Essensial Service Reform (IESR), *Energi Terbarukan: Energi untuk kini dan nanti*, 2017. < http://www.iesr.or.id/wp-content/uploads/2018/11/COMS-PUB-0001_Briefing-Paper-1_Energi-Terbarukan.pdf>

Peraturan

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

Indonesia, Undang-undang Nomor 30 Tahun 2009 Tentang Ketenagalistrikan, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 133, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5052.

_____,Undang-undang Nomor 16 Tahun 2016 Tentang *Pengesahan Paris Agreement To The United Nations Framework Convention On Climate Change*, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2016 Nomor 204, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5939.

_____, Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2012 Tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2012 Nomor 28, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5281.

_____, Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2014 Tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2012 Tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 74, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5530.

Kementerian Badan Usaha Milik Negara, Peraturan Menteri BUMN Nomor: PER-08/MBU/12/2019 Tentang Pedoman Umum Pelaksanaan Pengadaan Barang Dan Jasa BUMN

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Peraturan Menteri ESDM Nomor 001 Tahun 2006 Tentang Prosedur Pembelian Tenaga Listrik Dan/Atau Sewa Menyewa Jaringan Dalam Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Umum sebagaimana diubah dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 004 Tahun 2007 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri ESDM Nomor 001 Tahun 2006 Tentang Prosedur Pembelian Tenaga Listrik Dan/Atau Sewa Menyewa Jaringan Dalam Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Umum.

_____, Peraturan Menteri ESDM Nomor 50 Tahun 2017 Tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2017 Nomor 1107) sebagaimana diubah dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 53 Tahun 2018 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri ESDM Nomor 50 Tahun 2017 Tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 1680)

_____, Peraturan Menteri ESDM Nomor 10 Tahun 2017 Tentang Pokok-pokok Dalam Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik sebagaimana diubah dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 10 Tahun 2018 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri ESDM Nomor 10 Tahun 2017 Tentang Pokok-pokok Dalam Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik.

_____, Keputusan Menteri ESDM Nomor 39 K/20/MEM/2019 Tentang Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara Tahun 2019 s.d 2028, Tanggal 20 Februari 2019.

Perusahaan Listrik Negara, Peraturan Direksi PT PLN (Persero) Nomor: 0164.P/DIR/2019 Tentang Pengadaan Barang/Jasa PT PLN (Persero), Tanggal 1 November 2019

_____, Peraturan Direksi PT PLN (Persero) Nomor: 0022.P/DIR/2018 Tentang Pembelian Tenaga Listrik Dari Pembangkit Energi Terbarukan, Tanggal 23 Maret 2018, sebagaimana terakhir diubah melalui Peraturan Direksi PT PLN (Persero) Nomor: 0111.P/DIR/2019 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Direksi PT PLN (Persero) Nomor: 0022.P/DIR/2018 Tentang Pembelian Tenaga Listrik Dari Pembangkit Energi Terbarukan.

DHARMASISYA
Jurnal Program Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia
Volume 1 Nomor 2 (Juni 2020) 627-644
e-ISSN: xxxx-xxxx; p-ISSN: xxxx-xxxx

Lain-Lain

Putusan Mahkamah Konstitusi Nomor 001-021-022/PUU-1/2003, tanggal 15 Desember 2004

Putusan Mahkamah Konstitusi Nomor 111/PUU-XIII/2015, tanggal 14 Desember 2016

Rencana Umum Energi Nasional, Lampiran Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional, LN Tahun 2017 No. 43.

p-ISSN:2598-9030
e-ISSN:2614-056X

PKM PELATIHAN PEMBUATAN BRIKET KULIT KELAPA SAWIT DALAM MEWUJUDKAN ALTERNATIF ENERGI TERBARUKAN

Deni Nasir Ahmad[(1)*], Luluk Setyowati[(2)], Desi Novianti[(3)]
[(1)]Program Studi Pendidikan Matematika, [(2)]Program Studi Pendidikan Fisika,
[(3)]Program Studi Teknik Informatika
Universitas Indraprasta PGRI. Jl. Nangka No. 58 B, Tanjung Barat. Jaksel.
Email : [(1)]deninasirahmad@gmail.com* ,
[(2)]Setyowati_luluk@yahoo.com, [(3)]n_desi_a@yahoo.com

Abstrak

Berdasarkan hasil pengamatan bahwa Energi fosil mendominasi konsumsi energi dunia hingga 80% dari bauran energi (energy mix) di tahun 2030. Oleh karenanya diperlukan energi alternatif bahan bakar yakni salah satunya penggunaan briket sebagai bahan bakar energi alternatif. Metode dalam kegiatan pengabdian masyarakat adalah menggunakan metode penyuluhan atau presentasi dan pelatihan. Hasil dari kegiatan pengabdian masyarakat yakni Kegiatan pengabdian masyarakat ini dihadiri oleh 30 peserta yang berasal dari perwakilan organisasi mahasiswa kampus (BEM) Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Bekasi, mahasiswa perwakilan daerah tempat perkebunan dan pengelolaan kelapa sawit wilayah sumatra dan kalimantan, mahasiswa dan perwakilan karyawan perusahaan perkebunan dan pengelolaan kelapa sawit yang sedang belajar di Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Bekasi. Dalam melakukan kegiatan pengabdian masyarakat tim pengabdi melakukan beberapa kegiatan berupa kegiatan pemberian informasi mengenai sumber energi berdasarkan kebutuhan di Indonesia dan penggunaannya, kemudian proses pembakaran dan pengelolaan kulit kelapa sawit serta kegiatan akhirnya pelatihan pembuatan briket dari hasil pembakaran kulit kelapa sawit. Kegiatan pengabdian yang telah dilakukan diharapkan memberikan suatu manfaat bagi perbaikan lingkungan dan masyarakat dalam hal ini para mahasiswa dapat mengaplikasikan kedalam dunia pekerjaan dan dimasyarakat menjadi pembaharu lingkungan. Dari kegiatan yang telah dilakukan dapat dibuat simpulan sebagai berikut : 1. Dalam melaksanakan kegiatan pengabdian masyarakat kepada mitra pengabdi, tim pengabdi memperoleh banyak masukan dari peserta dan membuat kesepakatan bersama bahwa saling bersinergi dalam mengembangkan teknologi alternatif bahan bakar yang bermanfaat bagi masyarakat di wilayah tempat peserta yakni para mahasiswa bekerja. 2. Peserta pelatihan sangat berantusias dan proaktif dalam seluruh kegiatan dari awal sampai akhir kegiatan terbukti bahwa banyaknya pertanyaan yang saling membangun guna membuat energi alternatif bahan bakar lebih baik dan maksimal digunakan didalam masyarakat.

Kata kunci : *Briket, Kelapa Sawit, Energi Terbarukan*

1. PENDAHULUAN

Menurut International Energy Agency (IEA), yaitu sebuah badan di bawah naungan kelompok negara OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), dalam laporan tahunannya yang bertajuk World Energy Outlook 2008 (WEO 2008), konsumsi tahunan energi primer dunia pada tahun 2008 berada di level 12.000 MTOE (juta ton of oil equivalent); meliputi minyak, batu bara, gas, biomassa, nuklir, hidro, dan energi terbarukan lainnya. Bila diproyeksikan ke depan, konsumsi tahunan energi dunia di tahun 2030

diprediksi berada di level 17.000 MTOE.Angka prediksi ini sudah mengakomodir skenario berbagai kebijakan/policies yang sudah dibuat dan diimplementasikan berbagai negara di dunia sampai tahun 2008. Dalam pengertian, jika setelah tahun 2008 tidak ada lagi kebijakan baru yang bisa men-trigger upaya peghematan dan diversifikasi energi lebih lanjut, maka angka ramalan konsumsi energi dunia di tahun 2030 tersebut sangat besar kemungkinan bisa terjadi.[1] Di sektor pembangkit tenaga listrik, setelah tahun 2010 diramalkan pemanfaatan energi terbarukan akan menduduki peringkat kedua setelah batubara. Namun di sektor transportasi kelihatannya pemanfaatan energi terbarukan masih akan menemui banyak kendala dan tantangan. Meskipun minyak non konvensional (biofuel misalnya) sudah mulai digunakan namun bahan bakar berbasis minyak bumi untuk transportasi masih tetap dominan.[2] Menurut Jianfeng, dkk[3] masalah ekonomi dan lingkungan untuk mengurangi emisi gas CO_2 dari rumah kaca dan meningkatkan fleksibilitas bahan bakar telah memotivasi penggunaan bahan bakar biomassa sebagai pengganti bahan bakar fosil untuk panas dan pembangkit listrik. Pemanfaatan sumber energi dari minyak bumi, batu bara, dan gas bumi sebagai bahan bakar energi alam sangatlah terbatas oleh karenanya diperlukan energi alternatif bahan bakar.

Permasalahan mitra yang sering dihadapi adalah limbah buangan dari pemerahan kulit kelapa sawit dimana banyak terbuang hanya tertumpuk dan menimbulkan bau tak sedap. Oleh karena itu mitra meminta tim pengabdi untuk melakukan kegiatan pelatihan bagaimana cara mengelola sampah kelapa sawit menjadi nilai berharga bagi masyarakat khususnya bagi masyarakat di wilayah tempat para karyawan perusahaan kelapa sawit bekerja. Dalam kegiatan ini mitra pengabdi menginginkan kegiatan pengabdian masyarakat ini menghasilkan luaran berupa para karyawan atau mahasiswa yang diberikan pelatihan pengelolaan limbah buangan hasil pemerahan kelapa sawit menjadi bagian dari masyarakat peduli lingkungan dan mampu mengelola buangan kulit kelapa sawit menjadi sesuatu nilai ekonomis buat perusahaan dan masyarakat. Dari permasalahan mitra tersebut maka tim melakukan pemberdayaan sumber energi alternatif bahan bakar dengan cangkang kelapa sawit berupa briket cangkang kelapa sawit. Briket menurut Hambali, dkk adalah perubahan bentuk produk dari serbuk yang dicampur dengan perekat menjadi bentuk tertentu sesuai yang diinginkan melalui proses pengepresan.[4]

Pemanfaatan briket masih dibawah angka rata-rata kebutuhan disebabkan karena kesulitan bahan. Sedangkan bahan buang dari perusahaan nabati misalkan kelapa sawit masih belum termanfaatkan. Cangkang sawit memiliki banyak kegunaan serta manfaat bagi industri usaha dan rumah tangga. Beberapa diantaranya adalah produk bernilai ekonomis tinggi, yaitu arang aktif, asap cair, fenol, briket arang, dan tepung tempurung. Cangkang sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit. Ditinjau dari karakteristik bahan baku, jika dibandingkan dengan tempurung kelapa biasa, tempurung kelapa sawit memiliki banyak kemiripan. Perbedaan yang mencolok yaitu pada kadar abu (ash content) yang biasanya mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan oleh tempurung kelapa dan cangkang kelapa sawit. Berdasarkan penelitian purwanto[4] bahwa : Briket tempurung kelapa sawit dengan bahan kehalusan serbuk 7 mesh menghasilkan nilai kalori lebih besar dan kadar abu lebih rendah dibandingkan 16 mesh dan 25 mesh. 2. Briket tempurung kelapa sawit dengan bahan kehalusan serbuk 25 mesh menghasilkan kekuatan tekan lebih besar dibandingkan 16 mesh dan 7 mesh. Tekanan kempa 7 ton menghasilkan kekuatan tekan yang lebih besar dibandingkan tekanan kempa 5 ton . 3. Briket tempurung kelapa sawit dengan perekat 5% menghasilkan kekuatan tekan lebih besar dan kadar air lebih rendah dibandingkan 2,5 4. Kadar sulfur yang dihasilkan dari bahan tempurung kelapa sawit, dan briket tempurung adalah rata-rata negatif. 5. Untuk menghasilkan briket tempurung kelapa sawit yang memiliki nilai kalori, kadar karbon dan kekuatan tekan yang tinggi; dan kadar air dan kadar abu yang rendah maka perlakuan yang digunakan bahan serbuk kehalusan 7 mesh, tekan kempa 3 ton dan konsentrasi perekat 5%. Selanjutnya berdasarkan penelitian Yessy Meisrilestari[5]yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa arang aktif yang dibuat dari cangkang kelapa awit dengan proses aktivasi secara fisika-kimia mempunyai daya jerap yang paling baik di antara arang aktif lain yang diaktivasi dengan proses fisika dan kimia. Pada waktu penjerapan 4 jam, arang aktif berdiameter 355 µm dengan aktivasi fisika-

kimia mampu menjerap sebanyak 34,4% bagian dari larutan asam asetat 0,5 N suhu 30°C. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil arang dari cangkang kelapa sawit sangatlah baik dipergunakan dalam pembuatan briket kelapa sawit sebagai bahan bakar energi alternatif.

Dari permasalahan tersebut mengenai bagaimana memanfaatkan kebutuhan energi dan pemanfaatan energi alternatif terbarukan membuat kami dari tim pengabdi membuat kegiatan pemberdayaan masyarakat dengan kegiatan berupa penginformasian dan pemberian pelatihan pembuatan briket dari cangkang arang kelapa sawit guna memperoleh kegunaan arang atau briket cangkang kelapa sawit sebagai suatu energi alternatif bahan bakar dan membuat mitra yang diberikan pelatihan menjadi mandiri serta menjadi nilai ekonomis bagi mitra terutama masyarakat.

2. METODE

Adapun metode yang digunakan dalam melakukan kegiatan pengabdian masyarakat adalah :

1. Observasi langsung yakni pengabdi langsung datang ke lokasi pengabdian untuk memperoleh data. Hal ini kami lakukan pada saat menjelang maupun saat kegiatan berlangsung. Observasi berguna untuk mengetahui kondisi permasalahan yang ada dan sumber daya yang dapat dimanfaatkan dalam melakukan kegiatan.
2. Melakukan kegiatan perencanaan proyek perbaikan lingkungan dimana kami membagi tim dengan beberapa tugas dan kegiatan yakni, langkah pertama memberikan penyuluhan mengenai kegunaan pengelolaan lingkungan hidup dan dampak bila limbah organik terbuang begitu saja, langkah kedua pemberian pelatihan pembuatan produk pengelolaan limbah organik kelapa sawit menjadi briket kulit kelapa sawit.
3. Melakukan evaluasi dan shering bersama untuk menemukan kesepakatan bersama dalam melakukan perbaikan lingkungan.

Peserta dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini adalah para mahasiswa dan karyawan perusahaan pengelolaan kelapa sawit yang diwadahi oleh Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi yang merupakan lembaga pendidikan dan pelatihan yang menghasilkan lulusan para teknisi dalam mengelola dan mengembangkan perusahaan kelapa sawit dengan jumlah peserta berjumlah 30 orang peserta. Dengan beberapa tahapan atau metode tersebut diharapkan memperoleh hasil yang maksimal sesuai dengan apa yang telah dirancang oleh tim pengabdi.

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Kegiatan

Kegiatan pengabdian masyarakat yang telah tim pengabdi laksanakan pada tanggal 21 April 2019 pada pukul 09.00 s/d 15.30 WIB bertempat di Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Bekasi diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Dalam melaksanakan kegiatan pengabdian masyarakat kami tim pengabdi membagi beberapa kegiatan dan pembicara atau pelaksana kegiatan. Adapun kegiatan pengabdian masyarakat dan para pembicara atau pelaksana kegiatan adalah sebagai berikut :
   a. Pembukaan dan sambutan kegiatan pengabdian masyarakat, pembicara atau pelaksana kegiatan yaitu **Luluk Setyowati, M.Pd.**
   b. Presentasi dan pelatihan pembuatan briket arang kulit kelapa sawit, pembicara atau pelaksana kegiatan yaitu **Deni Nasir Ahmad, M.Pd**. Kegiatan presentasi berisikan mengenai pemanfaatan energi di Indonesia dan peluang pemerolehan sumber energi alternatif guna memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. Dalam kegiatan pelatihan pembuatan briket kulit kelapa sawit peserta diajarkan bagaimana membuat adonan, pencampuran dan pengerasan briket kulit kelapa sawit sampai pada teknik pengeringan produk.

c. Pengemasan dan pemasaran produk, pembicara atau pelaksana kegiatan yaitu **Desi Novianti, M.T.** Kegiatan berisikan penjualan produk dan pengemasan agar produk menjadi menarik dan memperoleh nilai jual tinggi.

2. Para peserta yang terdiri dari para mahasiswa, karyawan perkebunan kelapa sawit dan Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Bekasi. Secara proaktif melaksanakan seluruh kegiatan dari awal sampai akhir. Rasa keingintahuan dan antusias dari para peserta membuat pemateri atau pembicara dalam melaksanakan kegiatan pengabdian masyarakat memperoleh banyak informasi dan pengalaman serta saran dalam mengembangkan teknologi briket kulit kelapa sawit dan peserta kegiatan menginginkan kesinergisan bantuan tenaga ahli dalam membimbing kegiatan dalam mengembangkan teknologi bahan bakar alternatif.
3. Dalam melakukan kegiatan pengabdian kepada mitra pengabdi, tim sangat berterima kasih kepada semua kalangan khususnya para peserta kegiatan telah mau membuka dirinya untuk menerima inforemasi teknologi bahan bakar alternatif berupa pelatihan pembuatan briket kulit kelapa sawit yang telah diberikan atau disajikan oleh tim pengabdi. Tim pengabdi berharap semoga informasi yang telah diberikan dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan menjadi enregi alternatif terbarukan khususnya teknologi bahan bakar.

B. Pembahasan

Setelah tim pengabdi melakukan kegiatan pengabdian masyarakat dapat diperoleh hasil bahwa banyaknya peserta mengalami masalah yang sama yakni peserta belum memahami hasil buangan kulit kelapa sawit masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar yang dapat dipergunakan untuk nilai ekonomis apabila dimanfaatkan secara maksimal. Banyaknya peserta hanya membuang dengan cara dipendam ataupun dibakar sampai habis untuk menghilangkan buangan sisa dari pengelolaan sampah kulit kelapa sawit. Dengan adanya kegiatan pengabdian masyarakat berupa pemberian pelatihan pengelolaan cangkang kelapa sawit dari hasil buangan pengelolaan minyak kelapa sawit yang tadinya terbuang masih dapat dimanfaatkan sebagai nilai tambah atau ekonomis bagi para peserta yang nantinya akan ditugaskan kembali dalam pengelolaan kelapa sawit pada wilayah kerja mereka.

Dalam kegiatan pengabdian masyarakat tim pengabdi menugaskan beberapa pembicara dibantu oleh beberapa mahasiswa yang merupakan anggota pada tim pengabdi untuk memudahkan dan membantu kelancaran kegiatan. Tujuan kami dari tim pengabdi inti yang terdiri dari beberapa dosen menyertakan para mahasiswa sebagai anggota untuk memberikan pengalaman diluar perkuliahan agar para mahasiswa memperoleh pengetahuan dan pengalaman baru dalam penerapan teknologi bahan bakar alternatif. Dengan antusias peserta pengabdian kami dari tim pengabdi merasa sangat bersemangat menularkan pengetahuan kami dalam memanfaatkan limbah buangan sebagai suatu alternatif energi bahan bakar khususnya pada limbah cangkang kelapa sawit.

Kesulitan dalam kegiatan pengabdian masyarakat yang telah kami lakukan adalah tim pengabdi mengalami kesulitan dalam pemerolehan buangan limbah cangkang kelapa sawit dikarenakan beberapa limbah hasil pengelolaan minyak kelapa sawit hanya sedikit kami peroleh, hal ini disebabkan karena kondisi tempat bukanlah wilayah perkebunan kelapa sawit sehingga pemerolehan bahan hanya sedikit dari hasil kegiatan praktikum mahasiswa pada prodi teknologi pengelolaan minyak kelapa sawit pada kelas penyulingan kelapa sawit menjadi produk unggulan. Namun kesulitan dari kegiatan pelatihan tersebut dapat teratasi dengan melakukan beberapa perlakuan kegiatan pelatihan yakni : kami membagi beberapa kelompok kemudian memberikan alat dan bahan selanjutnya berdasarkan arahan dari pembicara dalam pelatihan tersebut masing-masing kelompok bertanggung jawab dalam melakukan seluruh proses pengolahan limbah buangan cangkang kelapa sawit. Dibantu beberapa mahasiswa dari tim pengabdi memudahkan pembicara atau pelatih melakukan kegiatan pelatihan pengelolaan limbah buangan camgkang kelapa sawit menjadi bahan yang memiliki nilai ekonomis yakni briket cangkang kelapa sawit. Berikut foto tim pengabdi dan

perwakilan peserta kegiatan setelah melakukan pelatihan dan produk hasil kegiatan pelatihan pembuatan briket pada limbah cangkang kelapa sawit.



Gambar 1. Tim Pengabdi dan perwakilan peserta kegiatan pelatihan pembuatan briket cangkang kelapa sawit.



Gambar 2. Anggota dan tim inti pengabdian masyarakat.

4. KESIMPULAN

Adapun hasil dari kegiatan pengabdian masyarakat yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dalam melaksanakan kegiatan pengabdian masyarakat kepada mitra pengabdi, tim pengabdi memperoleh banyak masukan dari peserta dan membuat kesepakatan bersama bahwa saling bersinergi dalam mengembangkan teknologi alternatif bahan bakar yang bermanfaat bagi masyarakat di wilayah tempat peserta yakni para mahasiswa bekerja.
2. Peserta pelatihan sangat berantusias dan proaktif dalam seluruh kegiatan dari awal sampai akhir kegiatan terbukti bahwa banyaknya pertanyaan yang saling membangun guna membuat energi alternatif bahan bakar lebih baik dan maksimal digunakan didalam masyarakat.

5. SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil kegiatan pengabdian masyarakat yang telah tim pengabdi lakukan, yaitu :

1. Pemanfaatan bahan bakar briket sebagai bahan bakar sangatlah bermanfaat dikarenakan untuk mengurangi penggunaan sumber bahan bakar minyak dan gas yang tersedia dialam sangatlah terbatas oleh sebab itu pemerintah mau menyediakan alat dan sumber daya agar terwujud produk teknologi alternatif bahan bakar khususnya bahan bakar dari briket kulit atau cangkang kelapa sawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam mensukseskan kegiatan pengabdian masyarakat, kami dari tim pengabdi sangatlah berterima kasih kepada :

a. Universitas Indraprasta PGRI yang diwakili oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) Universitas Indraprasta PGRI yang telah memberikan **bantuan hibah pengabdian masyarakat dengan nomor kontrak 0342/SP3M/KPM/LPPM/UNINDRA/III/2019.**

b. Pimpinan dan karyawan dari Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Khususnya Bapak Istianto Budhi Rahardja, S.T.,M.T.,IPP (Kepala Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi).

c. Mahasiswa Universitas Indraprasta PGRI Khususnya pada mahasiswa prodi pendidikan fisika semester 4 tahun ajaran 2018/2019.

d. Peserta pelatihan mahasiswa dan karyawan perusahaan pengelolaan kelapa sawit yang diwadahi oleh Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Abdullah, Gamil, *Kebutuhan Energi Dunia*, 15 Feb 2011, http://appi-online.or.id/kebutuhan-energi-dunia.

[2] Chandra, Adhi Ardan, *Konsumsi Energi di RI Meningkat 5,9% di 2016*, Kamis, 14 Sep 2017, https://finance.detik.com/energi/d-3642523/konsumsi-energi-di-ri-meningkat-59-di-2016.

[3] Musabbikhah, Harwin Saptoadi, Subarmono dan Muhammad Arif Wibisono, 2015, *Optimasi Proses Pembuatan Briket Biomassa Menggunakan Metode Taguchi Guna Memenuhi Kebutuhan Bahan Bakar Alternatif Yang Ramah Lingkungan*. J, Manusia Dan Lingkungan, Vol. 22, No.1, Maret 2015: 121-128 [5] Meisrilestari,Yessy Rahmat Khomaini, Hesti Wijayanti. 2013, *Pembuatan Arang Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivasi Secara Fisika, Kimia Dan Fisika-Kimia*, Konversi, Volume 2 No. 1, April 2013.

[4] Purwanto, Djoko, 2010, *Briket Bahan Bakar Dari Limbah Tempurung Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq)*, Jurnal Riset Industri Hasil Hutan Vol.2, No.1, Juni 2010 : 27– 34 .

[5] Meisrilestari, Yessy, Rahmat Khomaini, Hesti Wijayanti, 2013, *Pembuatan Arang Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivasi Secara Fisika, Kimia Dan Fisika-Kimia*, Konversi, Volume 2 No. 1, April 2013.

PLN vs Energi Terbarukan: Peraturan Menteri ESDM Terkait Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap

Suci Modjo[1]

Abstrak

Mengingat keadaan iklim tanpa musim yang menyediakan sinar matahari sepanjang tahun dan tipe perumahan yang umumnya melekat dengan tanah, penggunaan panel surya atap sebagai sumber energi alternatif harusnya digalakkan di Indonesia. Di antara pelbagai cara pemberian insentif penggunaan panel surya adalah melalui pengurangan halangan peraturan dalam tahap instalasi, dan pembelian kelebihan tenaga oleh Pemerintah dengan harga yang diunggulkan. Tulisan ini membahas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral terkait Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). Peraturan ini memberi kewenangan yang luas kepada PLN, dari izin instalasi hingga pembelian kelebihan tenaga dengan potongan harga, yang secara praktis menempatkan masyarakat dan kelestarian lingkungan hidup pada posisi yang lebih lemah dibanding dengan pembangkit listrik komersial. Pemberian kewenangan yang luas kepada PLN tersebut merupakan pelanggaran konstitusi, bertentangan dengan komitmen Pemerintah untuk meningkatkan diversifikasi sumber listrik, dan secara umum kontra-produktif terhadap upaya pengurangan emisi dari pembangkit listrik.

Kata kunci: PLN, ESDM, PLTS

Abstract

Considering its non-seasonal climate providing year-round sunshine and the widespread use of landed properties, the use of rooftop solar panels as an alternative source of energy should be strongly encouraged in Indonesia. Amongst the ways to incentivise the use of solar panels are to lower regulatory barriers to installing them, and to guarantee the purchase of excess electricity by the Government at preferable rates. This paper discusses the Minister of Energy and Mineral Resources Regulation related to The Use of Rooftop Solar Power Producer by PT Perusahaan Listrik Negara. This regulation gives PLN a wide authority, from licencing installation to purchasing excess power at a discount, practically putting community and environmental sustainability at a disadvantage compared to commercial power producers. Providing such sweeping authority to PLN is unconstitutional, contrary to the commitment by the Government to diversify power sources, and generally counter-productive towards the effort to reduce emission from power plants.

***Keywords**: PLN, PLTS, MEMR*

[1] Penulis merupakan advokat di bidang energi dan infrastruktur.

I. Pendahuluan

Tenaga surya merupakan sumber energi terbarukan yang sungguh ramah lingkungan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan model paling sederhana dibangun dengan melekatkan panel *fotovoltaik* pada atap rumah dan bangunan, yang menangkap paparan sinar matahari sepanjang hari dan menggunakannya untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah atau bangunan yang bersangkutan, menjadikan PLTS sebagai sumber energi yang efisien dan ramah lingkungan. Namun demikian, pengembangan PLTS sebagai sumber energi untuk kepentingan umum belum jamak dilakukan baik oleh Pemerintah (melalui PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) ataupun swasta (IPP) dengan alasan mahalnya nilai investasi yang dibutuhkan menjadikan daya saing PLTS sangat lemah dibandingkan pembangkit bertenaga lain. Sayangnya, kebijakan terkait tidak mendukung keekonomian PLTS yang diinisiasi masyarakat dan kalangan bisnis dan malah semakin mengurangi potensi daya saing PLTS.

Penggunaan panel surya fotovoltaik sudah populer di berbagai kalangan seperti perumahan (sejak penggunaan awalnya sebagai pemanas air), gedung pemerintah dan fasilitas umum[2], hingga bangunan milik swasta yang mengejar penghematan rekening listrik dan sertifikasi sebagai green building[3]. Potensi penggunaan tenaga surya sebagai sumber pembangkit listrik di Indonesia sangatlah besar mengingat letak geografis kepulauan di garis khatulistiwa yang menjamin sinar matahari sepanjang tahun.[4] Dibandingkan dengan Jerman, misalnya, salah satu negara di Eropa dengan iklim empat musim yang membatasi paparan surya mereka, Indonesia berpotensi menghasilkan 10 kali lipat tenaga listrik berbasis surya.[5] Ditambah lagi dengan tipe perumahan Indonesia yang umumnya melekat dengan tanah

---

[2] MTH, "Pasang PLTS Atap, Tagihan Listrik Lebih Hemat," https://kominfo.go.id/index.php/content/detail/20547/pasang-plts-atap-tagihan-listrik-lebih-hemat/0/artikel_gpr, diakses tanggal 31 Agustus 2019.

[3] Sertifikasi *green building* diberikan oleh lembaga profesional untuk bangunan dengan desain eksterior dan interior (berikut rencana penggunaan energi) yang ramah lingkungan. Saat ini terdapat wacana untuk memberikan insentif khusus pada pemilik bangunan bersertifikat *green building*. Pamudji/FER, "Konsep Bangunan Hijau Butuh Insentif Pemerintah," https://www.beritasatu.com/interior/154113-konsep-bangunan-hijau-butuh-insentif-pemerintah.html, diakses tanggal 31 Agustus 2019.

[4] Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional menyatakan bahwa tenaga surya merupakan sumber energi dengan potensi kedua terbesar di Indonesia (diprediksi bisa menghasilkan 207.898MW), di bawah penggunaan arus laut (dengan potensi teoretis sebesar 287.822MW). Indonesia, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2019 Sampai Dengan 2038*, Keputusan No. 143 K/20/MEM/2019 Tahun 2019 (RUKN), Lampiran I, hlm. 228.

[5] Septian Denny, "Potensi Energi Tenaga Surya RI 10 Kali Lebih Besar dari Jerman," https://www.liputan6.com/bisnis/read/2493191/potensi-energi-tenaga-surya-ri-10-kali-lebih-besar-dari-

menjadikan pemasangan panel surya atap berikut perawatannya lebih mudah dan potensi akses masyarakat pada teknologi PLTS Atap relatif tinggi karena instalasi panel surya tidak memerlukan investasi tambahan untuk peletakannya.

II. Kebijakan Energi Indonesia

A. Instrumen Internasional dan Undang-undang Ketenagalistrikan

Pada tataran internasional, Indonesia telah menunjukkan sikap proaktif dalam menentukan langkah-langkah penanggulangan dampak pemanasan global. *Paris Agreement*[6] sebagai instrumen hukum internasional terbaru dalam bidang lingkungan yang diadopsi oleh Indonesia[7] menentukan panduan kuantitatif bagi tiap negara anggota dalam hal pengurangan jumlah emisi, dengan jalan konversi dari energi berbasis fosil dan langkah lainnya, demi tercapainya target pengurangan pemanasan global ke tingkat yang aman.

Undang-undang Ketenagalistrikan menetapkan keutamaan penggunaan energi baru dan terbarukan.[8] Namun, amanat undang-undang ini belum dilaksanakan dengan maksimal, mengingat: (1) kenyataan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dan dokumen turunannya yang masih menganggarkan penggunaan energi terbarukan dalam porsi bauran kurang dari 25% pada 2025, serta (2) kenyataan realisasi proyek-proyek pembangunan pembangkit listrik bertenaga terbarukan yang masih di bawah 10% dari jumlah seluruh pembangkit listrik untuk kepentingan umum. Dari sini terlihat bahwa Pemerintah belum memprioritaskan penggunaan energi terbarukan.

Sebagai ilustrasi, kapasitas terencana PLTS dengan baterai dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) hanya ditargetkan sebesar 200

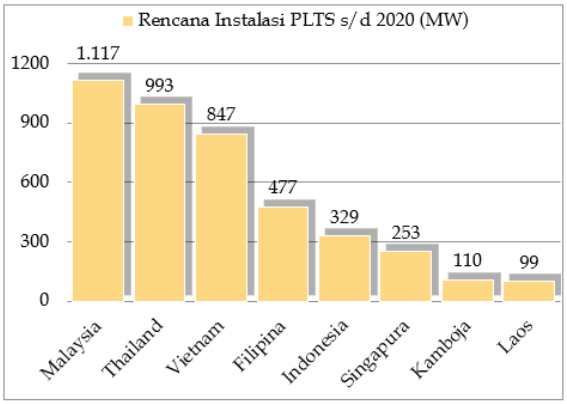
jerman?utm_expid=.9Z4i5ypGQeGiS7w9arwTvQ.0&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.liputan6.com%2Fbisnis%2Fread%2F2493191%2Fpotensi-energi-tenaga-surya-ri-10-kali-lebih-besar-dari-jerman, diakses tanggal 14 Agustus 2019.

[6] *Paris Climate Change Accord* (Kesepakatan Paris) 2015 yang diadopsi oleh 195 negara pada *6th Annual Sustainable Innovation Forum* (SIF15) di Paris, Perancis. Indonesia menandatangani Kesepakatan Paris pada 22 April 2016, dan meratifikasinya melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016.

[7] Berbagai instrumen internasional lain yang telah ditandatangani Indonesia termasuk *Copenhagen Accord* (Kesepakatan Kopenhagen) 2009 yang meskipun tidak mengikat secara hukum memiliki arti penting bagi perkembangan kerja sama internasional dalam pengurangan emisi, dan *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Protokol Kyoto) yang diratifikasi melalui Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2004 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca yang dinilai tidak berhasil karena kurangnya mekanisme akuntabilitas bagi negara anggota pelanggar komitmen sukarela.

[8] Indonesia, *Undang-Undang Ketenagalistrikan,* UU No. 32 Tahun 2009, LN No. 133 Tahun 2009. TLN No. 5052, Pasal 6: "*(2) Pemanfaatan sumber energi primer sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus dilaksanakan dengan mengutamakan sumber energi baru dan energi terbarukan*." (Penekanan frasa oleh Penulis.)

MW (dari kebutuhan total sebesar 127 GW) pada 2025.[9] Dengan demikian dapat dipahami bahwa target PLN untuk meningkatkan bauran energi dari PLTS di dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) sebesar 3.200 MW pada 2025-2028 utamanya mengandalkan konsumen yang memasang panel surya dan bukan dari rencana nasional untuk pengembangan PLTS komersial.[10] Hal ini sangat disayangkan, mengingat data Kementerian ESDM mengindikasikan potensi penggunaan energi baru dan terbarukan sebesar 442 *Gigawatt Peak* (GWp), dengan harapan PLTS dapat berkontribusi sebesar 207,8 GWp sedangkan realisasi pemanfaatan baru sebesar 0,092 GWp.[11] Rasio itu menunjukkan ketertinggalan pemanfaatan potensi PLTS, bahkan ketika dibandingkan dengan negara-negara lain di Asia Tenggara dengan industri energi yang tidak semaju Indonesia:[12]



Gambar 2. Rencana Instalasi PLTS s/d 2020 (MW)[13]

B. Dokumen Perencanaan

Komitmen internasional dan amanat undang-undang yang diejawantahkan dalam kebijakan energi Indonesia tertuang di berbagai dokumen perencanaan pembangunan bidang energi dari yang bersifat pedoman seperti Kebijakan Energi Nasional (KEN), RUEN, RUKN dan Rencana Umum Ketenagalistrikan Daerah (RUKD) hingga bersifat praktis dan dijadikan panduan bagi kalangan pelaku

[9] Indonesia, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2019 Sampai Dengan 2038*, Keputusan No. 143 K/20/MEM/2019, hlm. 119.

[10] Indonesia, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2019 Sampai Dengan 2028*, Keputusan No. 39 K/20/MEM/2019, hlm. V-64. PLTS yang direncanakan dalam RUPTL PLN sejatinya tidak termasuk fasilitas swadaya yang dibangun oleh masyarakat atau pelaku usaha untuk memenuhi kepentingannya sendiri. Rujuk penjelasan mengenai perbedaan pembangkit listrik untuk kepentingan umum dan untuk kepentingan sendiri pada bagian *II.C.Pembangkit Listrik Tenaga Surya dalam Kerangka Kebijakan Energi*.

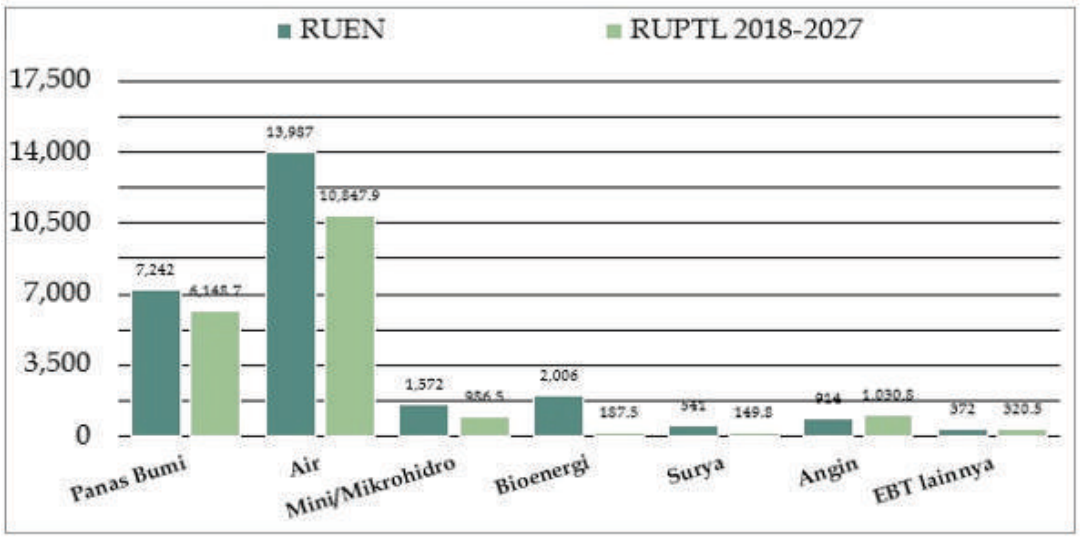
[11] IDZ/BIR, "Energi Terbarukan Bisa Bikin Pemerintah Hemat Puluhan Triliun," https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20190424095301-85-389098/energi-terbarukan-bisa-bikin-pemerintah-hemat-puluhan-triliun, diakses tanggal 14 Agustus 2019.

[12] Jason Thomas, "Indonesian Dull Solar Sector," https://theaseanpost.com/article/indonesias-dull-solar-sector, diakses tanggal 14 Agustus 2019.

[13] Stefan Robertsson, "Southeast Asian Solar: Market Outlook and Policy Overview," The Lantau Group, 31 Agustus 2017, https://www.lantaugroup.com/files/ppt_pgen17_sr.pdf., diakses tanggal 15 Agustus 2019.

usaha: RUPTL. Tatanan kebijakan yang sedemikian sistematis sepatutnya mencerminkan keseriusan pemerintah dalam memenuhi komitmen internasionalnya dalam berbagai instrumen lingkungan yang telah diratifikasi dan menjadi bagian hukum Indonesia. Pada kenyataannya, kualitas hidup penduduk Indonesia terdampak negatif dengan pola pembangunan yang tidak berwawasan lingkungan seperti penyakit yang ditimbulkan akibat tingkat polusi yang semakin tinggi, baik di perkotaan maupun pelosok yang terpapar emisi industri.[14] Belum lagi hilangnya habitat alami yang mengancam kepunahan berbagai flora dan fauna. Dampak lingkungan semestinya menjadi komponen pertimbangan penting dalam perencanaan pembangunan energi di Indonesia. Namun, itikad baik dan kebijakan umum belum tercermin dalam dokumen-dokumen perencanaan tersebut.

Gambar di bawah memperlihatkan ketimpangan antara rencana pembangunan pembangkit energi terbarukan berdasarkan komitmen yang diutarakan Pemerintah dalam RUEN dan kenyataan RUPTL saat ini:[15]



Gambar 3. Perbandingan Rencana Instalasi EBT (MW)[16]

[14] Lalu Rahadian, "Ini 10 PLTU yang Berpotensi Sumbang Polusi Udara Jakarta," https://jakarta.bisnis.com/read/20190716/77/1124981/ini-10-pltu-yang-berpotensi-sumbang-polusi-udara-jakarta, diakses tanggal 17 Agustus 2019. Mengutip Dwi Saung, peneliti lingkungan hidup dari Wahana Lingkungan Hidup Indonesia (Walhi), artikel menyebut PLTU dan industri berbahan bakar batubara menyumbang setidaknya 20-30% polusi udara di DKI Jakarta.

[15] Grita Anindarini Widyaningsih, "Membedah Kebijakan Perencanaan Ketenagalistrikan di Indonesia," *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, Vol. 5 No. 1 (2018), hlm. 117-136, https://icel.or.id/wp-content/uploads/JHLI-5.1-FINAL-compressed.pdf.

[16] *Ibid*. Penulis mengolah data yang disampaikan dalam bentuk tabel pada halaman 131-132 dari artikel tersebut menjadi gambar.

Selisih tersebut tidaklah mengherankan mengingat:

1. KEN secara eksplisit masih menyebut keutamaan penggunaan batubara untuk memenuhi target rasio elektrifikasi;[17]
2. Tidak terdapat mekanisme yang jelas untuk memastikan bahwa kebijakan pelaksana yang tingkatnya lebih rendah dari KEN tunduk terhadap instrumen hukum induknya, khususnya dalam menentukan jumlah tenaga yang direncanakan untuk tiap koridor;[18]
3. Melebihi pertimbangan lain kelestarian lingkungan hidup, RUPTL disusun sebagai strategi usaha PLN yang berpedoman pada perolehan manfaat ekonomi;[19] dan
4. Visi PLN tidak memperhitungkan potensi EBT[20]

C. Pembangkit Listrik Tenaga Surya dalam Kerangka Kebijakan Energi

Seperti halnya pembangkit dengan sumber tenaga lain, RUPTL hanya mengatur PLTS yang dibangun untuk kepentingan umum. PLTS yang dimaksud adalah proyek berskala besar yang dibangun sebagai industri penjualan tenaga listrik kepada transmisi PLN untuk kemudian didistribusikan kepada pelanggan umum. PLTS Atap tidak termasuk dalam kapasitas yang direncanakan dalam RUPTL karena sifatnya yang swasembada dan mengikuti kebutuhan dan kemampuan si pemilik.

---

[17] *Ibid*., hlm. 122.

[18] *Ibid*., hlm. 133. RUEN mengidentifikasi potensi suplai tenaga listrik dari PLTS sebesar 207GW atau sekitar 1035 kali dari rencana yang dituangkan dalam RUKN.

[19] Indonesia, *Op. Cit*., RUPTL PLN 2019-2028, hlm. II-2 - II.11, *2.2. Strategi Pengembangan Kapasitas Pembangkit*, PLN secara gamblang menyebut prinsip pengadaan adalah dengan biaya penyediaan listrik terendah (*least cost*). Pembangkit EBT "*..'didorong' namun dengan tetap mempertimbangkan keekonomian (efisiensi harga)*..". Khususnya untuk PLTS, PLN mengutip kebijakan ESDM pada Peraturan Menteri ESDM Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik yang menetapkan pagu 85% dari Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan (BPP) setempat oleh pembangkit PLN untuk tarif pembelian listrik dari PLTSA. Secara efektif, ESDM memastikan PLTSA tidak dapat bersaing secara ekonomis dengan PLN. Hal ini konsisten dengan kebijakan RUPTL yang menekankan penghindaran kenaikan BPP akibat harga listrik dari energi terbarukan (hlm. III.15) yang dikhawatirkan dapat menyebabkan penurunan *demand* listrik pelanggan PLN (hlm. II-1).

[20] *Ibid*., hlm. II-30 - II-31, *2.7. Strategi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)*. Meskipun PLN menyatakan dirinya sebagai 'bagian dari' komitmen Pemerintah dalam *Paris Agreement*, tidak terlihat upaya nyata dari PLN untuk melakukan pengurangan GRK secara signifikan mengingat (a) strategi PLN masih mengandalkan teknologi PLTU Batubara yang 'ramah lingkungan', dan (b) pengutamaan pengembangan EBT pada bagian perencanaan dalam RUPTL yang bersangkutan (misal: RUPTL hlm. III-14, *Tabel 3.2 Rencana Pengembangan Pembangkit EBT (MW)*, yang menempatkan target pembangunan pembangkit EBT pada laju yang sangat rendah dibandingkan dengan potensinya seperti ditunjukkan pada *Tabel 3.1 Potensi Energi Baru dan Terbarukan*.) Untuk ulasan lebih jauh mengenai disparitas perencanaan pembangkit EBT vs fosil lihat: Grita, *Op. Cit*., hlm. 129-133.

Pembangkit listrik untuk kepentingan sendiri lazim ditemukan pada perusahaan pertambangan atau manufaktur yang membutuhkan energi listrik yang besar. Alasan keekonomian atau lokasi pertambangan yang terpencil, belum tersedianya listrik dari PLN, terkadang memberikan inisiatif kepada perusahaan-perusahaan tersebut untuk membangun sendiri pembangkit listriknya dan memasang sendiri instalasi penyaluran tenaga sesuai rancangan fasilitas yang bersangkutan. Pemerintah (ESDM), gubernur atau bupati memberi izin sebelum pembangunan pembangkit yang bersangkutan dapat dilakukan[21] berdasarkan kelengkapan persyaratan seperti kelaikan desain dan studi dampak lingkungan. Seringkali pembangkit listrik untuk kepentingan sendiri menghasilkan tenaga listrik yang melebihi kapasitas yang dibutuhkan untuk menjalankan operasional industri yang bersangkutan (*excess power*). Demi menyokong rasio elektrifikasi terhadap masyarakat luas, Pemerintah memperbolehkan produsen *captive power* untuk menjual kelebihan tenaga tersebut dan dimanfaatkan bagi kepentingan umum dengan persetujuan sebelumnya dari Kementerian ESDM atau kepala daerah.[22] Dalam hal pembangkit menggunakan energi terbarukan, ESDM mengharuskan PLN untuk membeli kelebihan tenaga tersebut dengan memperhatikan kebijakan energi nasional dan rencana umum ketenagalistrikan.[23]

III. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral terkait Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT PLN

A. Kebijakan Baru yang Memberatkan

Peraturan ESDM No. 49 Tahun 2018, sebagaimana diubah dalam Peraturan ESDM No. 13 Tahun 2019 (Permen ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN) diterbitkan sebagai implementasi mandat Pemerintah bagi PLN untuk membeli *excess power* dari PLTS Atap milik pelanggan PLN. Dalam bagian pertimbangan dari

[21] Kewenangan Bupati dalam memberikan izin pembangunan berdasarkan Undang-Undang Ketenagalistrikan secara implisit dicabut dengan Indonesia, *Undang-Undang Pemerintahan Daerah*, UU No. 23 Tahun 2014, LN No. 244 Tahun 2014, TLN No. 5587 tidak lagi menempatkan kewenangan tersebut pada level Kabupaten. Rujuk penjelasan pada catatan kaki 33 dan 38 mengenai kewenangan Bupati dalam memberi izin pembangkit listrik pasca diundangkannya Undang-Undang Pemerintahan Daerah.

[22] Indonesia, *Op. Cit.*, Undang-Undang Ketenagalistrikan, Ps. 23 (3).
Indonesia, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik*, Peraturan No. 50 Tahun 2017, BN No. 1107 Tahun 2017, Pasal. 2.

[23] Indonesia, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)*, Peraturan No. 49 Tahun 2018 (Peraturan ESDM No. 49 Tahun 2018, sebagaimana diubah dalam Peraturan Menteri ESDM No. 13 Tahun 2019), BN No. 1525 Tahun 2018, Pertimbangan (a).

peraturan yang bersangkutan,[24] dan paparan ESDM,[25] tujuan instalasi PLTS Atap adalah untuk penghematan biaya rekening pelanggan PLN. Pemerintah menentukan sejumlah norma baru bagi instalasi dan pembelian *excess power* dari PLTS Atap:

1. Kewajiban memperoleh izin instalasi dari PLN;
2. Kapasitas maksimal ditentukan sebesar 100% dari daya tersambung PLN;
3. Besaran *excess power* yang dibeli oleh PLN dari PLTS Atap adalah 65% dari nilai nyata kelebihan tenaga yang tercatat pada meteran PLN; dan
4. Kewajiban bagi pelanggan PLN kategori industri yang hendak menggunakan PLTS Atap untuk membayar biaya kapasitas (*capacity charge*).

Ditinjau dari kebijakan yang berlaku terhadap PLTS Atap sebelum peraturan ini berlaku, tampaknya Pemerintah melupakan amanat undang-undang Ketenagalistrikan untuk memberi pengutamaan terhadap sumber energi baru dan terbarukan. Diskriminasi terhadap perlakuan pembelian *excess power* dari PLTS Atap dibanding dengan pembangkit lain termasuk yang berbahan bakar fosil terlihat secara gamblang dari pembatasan kapasitas terpasang dan besaran pembelian, serta pengenaan biaya tambahan. Keseluruhan ketentuan tersebut baru diperkenalkan dalam Permen ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN. Sebelumnya, pelanggan *on-grid* hanya cukup mendapatkan sertifikat laik operasi dari PLN sebelum pengoperasian. Dengan berbagai aturan baru ini, pelanggan PLN yang hendak memasang PLTS Atap menjadi sangat dirugikan. Asosiasi pelanggan dan produsen komersial telah menyatakan keberatannya terhadap aturan-aturan tersebut, dan beberapa PLTS Atap rumahan memutuskan untuk tidak lagi menjadi

[24] Peraturan Menteri ESDM ini telah diubah melalui: (i) Indonesia, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Perubahan atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), Peraturan No. 13 Tahun 2019, BN No. 1020 Tahun 2019, yang mengubah batas kapasitas produksi listrik yang wajib memperoleh sertifikat laik operasi mengikuti ketentuan Peraturan ESDM lainnya (Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 12 Tahun 2019 tentang Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik untuk Kepentingan Sendiri yang Dilaksanakan berdasarkan Izin Operasi); dan (ii) Indonesia, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), Peraturan No. 16 Tahun 2019, BN No. 1179 Tahun 2019, yang mengganti besaran pengali biaya kapasitas (*capacity charge*) dan meniadakan pengenaan biaya pembelian energi listrik darurat (*emergency charge*) bagi konsumen PLN kelas industri.

[25] Tim Komunikasi ESDM, "Narasi Tunggal: Pasang PLTS Atap, Tagihan Listrik Lebih Hemat," https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/narasi-tunggal-pasang-plts-atap-tagihan-listrik-lebih-hemat, diakses tanggal 31 Agustus 2019.

pelanggan PLN (*off-grid*) dengan membeli baterai penyimpan kelebihan tenaga untuk memenuhi kebutuhan *intermittent* listriknya. Biaya instalasi PLTS Atap dengan baterai dilaporkan mencapai 50% lebih mahal dari biaya instalasi normal.[26] Perizinan administratif yang harus diajukan sebelum instalasi dengan melibatkan sejumlah institusi ketenagalistrikan terdaftar memberatkan pelanggan dan berpotensi meningkatkan lagi harga instalasi. Dengan disinsentif demikian, makin sedikit jumlah konsumen yang mampu beralih ke PLTS Atap.

B. Permasalahan Hukum dalam Peraturan Menteri ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN

1. Kedudukan dan Fungsi PLN sebagai Pemberi Izin

Pertanyaan pertama yang timbul dari Permen ESDM tersebut adalah mengenai kedudukan PLN ditinjau dari kewenangan pemberian izin pembangunan PLTS Atap yang diwajibkan Pasal 10 ayat (1). Monopoli Negara terhadap bidang usaha yang menguasai hajat hidup orang banyak sesuai dengan Pasal 33 Undang-undang Dasar (UUD) tidak dapat diterjemahkan untuk dinikmati secara otomatis oleh PLN. Dalam bidang penyediaan tenaga listrik, Undang-undang Ketenagalistrikan memastikan kedudukan usaha penyediaan tenaga listrik sebagai salah satu cabang usaha sebagaimana dimaksud Pasal 33 UUD, dan menekankan kewenangan penyelenggaraan Pemerintah untuk usaha penyediaan tersebut.[27]

Kewenangan penyelenggaraan penyediaan tenaga listrik Pemerintah secara garis besar melingkupi kewenangan penetapan kebijakan, pengaturan, pengawasan, dan melaksanakan usaha penyediaan tenaga listrik.[28] Kewenangan penetapan kebijakan, pengaturan dan

---

[26] Stefanno Reinard Sulaiman, "New solar panel regulation discourages public use," https://www.thejakartapost.com/news/2019/02/22/new-solar-panel-regulation-discourages-public-use.html, diakses tanggal 16 Agustus 2019.

[27] Indonesia, Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia, Pasal 33 mengenai Kesejahteraan Sosial menyatakan bahwa: *(1) Perekonomian disusun sebagai usaha bersama berdasar atas asas kekeluargaan. (2) Cabang-cabang produksi yang penting bagi negara dan yang menguasai hajat hidup orang banyak dikuasai oleh negara. (3) Bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung didalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat.*

Indonesia, *Op. Cit.*, Undang-Undang Ketenagalistrikan, Penjelasan Umum Paragraf 2*: "Mengingat arti penting tenaga listrik bagi negara dalam mewujudkan kesejahteraan masyarakat dalam segala bidang dan sejalan dengan ketentuan dalam Pasal 33 ayat (2) Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945, Undang-Undang ini menyatakan bahwa usaha penyediaan tenaga listrik dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat yang penyelenggaraannya dilakukan oleh Pemerintah dan pemerintah daerah*."

[28] *Ibid*, Pasal. 3(2).

pengawasan penyediaan ketenagalistrikan tetap dipegang oleh Pemerintah dan pemerintah daerah yang pada praktiknya meliputi:

a. penetapan izin usaha penyediaan tenaga listrik (bagi pemilik pembangkit untuk kepentingan umum);
b. penetapan izin operasi (bagi pemilik pembangkit untuk kepentingan sendiri); dan
c. penetapan persetujuan penjualan kelebihan tenaga listrik dari pemegang izin operasi.[29]

Sedangkan, pelimpahan kewenangan kepada PLN (atau BUMD yang dapat ditunjuk Pemerintah Daerah) hanyalah pada bidang pelaksanaan usaha tenaga listrik.[30] Sesuai dengan Pasal 10 ayat (1) Undang-undang Ketenagalistrikan, lingkup usaha PLN sebagai BUMN yang ditunjuk oleh Pemerintah sebagai penyelenggara penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum hanyalah meliputi:

a. pembangkitan tenaga listrik;
b. transmisi tenaga listrik;
c. distribusi tenaga listrik; dan/atau
d. penjualan tenaga listrik.

Dengan demikian, dapat terlihat dalam Undang-undang Ketenagalistrikan bahwa penugasan PLN tidak termasuk pemberian perizinan sebagaimana diatur oleh Permen ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN Sebaliknya, Undang-undang Ketenagalistrikan tidak mengizinkan Pemerintah untuk memberikan kewenangan tersebut kepada PLN karena batasan lingkup kewenangan PLN pada Pasal 4 ayat (1) hanya meliputi "pelaksanaan kegiatan usaha" dan sifat kegiatannya sangat spesifik untuk pengusahaan seperti yang telah dijabarkan Pasal 10 tersebut. Wewenang lain Pemerintah berupa "penetapan kebijakan", "pengaturan", dan "pengawasan" tidak turut didelegasikan dalam undang-undang Ketenagalistrikan. Konsekuensinya, Pemerintah tidak berwenang untuk menugaskan PLN melaksanakan fungsi-fungsi tersebut meskipun penugasan dilakukan melalui Permen ESDM tersebut. Secara teori peraturan perundang-undangan, Permen ESDM tersebut melanggar dasar hukum penerbitannya karena penugasan tersebut tidak diizinkan UUD dan Undang-undang Ketenagalistrikan yang secara tegas membatasi lingkup fungsi badan usaha sebagai pelaksana penyediaan tenaga listrik.[31]

---

[29] *Ibid*, Pasal. 5.

[30] *Ibid*, Pasal. 4(1): "*Pelaksanaan usaha penyediaan tenaga listrik oleh Pemerintah dan pemerintah daerah dilakukan oleh badan usaha milik negara dan badan usaha milik daerah.*"

[31] Zaka Firma Aditya dan M. Reza Winata, "Rekonstruksi Hierarki Peraturan Perundang-undangan di Indonesia", *Negara Hukum: Membangun Hukum untuk Keadilan dan Kesejahteraan*, Vol. 9, No. 1 (2018),

2. Pengenalan Rezim Perizinan Baru tanpa Dasar Hukum

Ditinjau dari sifat perizinan yang disyaratkan Permen ESDM sebagaimana disebut di atas, ESDM juga tampak telah menciptakan kategori perizinan baru yang tidak didasarkan pada Undang-undang Ketenagalistrikan. Peraturan Menteri tidak diperkenankan untuk bertentangan dengan peraturan landasannya. Bahkan, UU Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan menjelaskan bahwa kekuatan mengikat dari peraturan menteri hanya sepanjang diperintahkan oleh Peraturan Perundang-undangan yang lebih tinggi atau dibentuk berdasarkan kewenangan.[32]

Dalam Undang-undang Ketenagalistrikan dan PP Nomor 14 Tahun 2012 tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik, hanya dikenal dua macam izin pembangunan fasilitas pembangkit listrik, yaitu Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL) yang ditujukan bagi pembangkit listrik untuk kepentingan umum, dan Izin Operasi (IO) untuk pembangkit listrik untuk kepentingan sendiri dengan kapasitas tertentu. Kedua izin tersebut disyaratkan sebelum pembangunan pembangkit dapat dilakukan, hingga sifatnya mirip dengan izin PLTS Atap yang disyaratkan Pasal 10 ayat (1) Permen ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN.

Ketentuan umum yang berlaku terhadap segala jenis pembangkit listrik untuk kepentingan sendiri dengan kapasitas sampai dengan 500 kVA[33] adalah bahwa pemilik tidak perlu mendapatkan IO ataupun SLO, dan hanya perlu menyampaikan laporan kepada Kementeri-

---

hlm. 81. Mengutip Retno Saraswati dalam "Perkembangan Pengaturan Sumber Hukum dan Tata Urutan Perundang-undangan di Indonesia", *Media Hukum*, Vol. IX, No. 2, April-Juni 2009, hlm. 1, antara lain menyebut bahwa tata urutan atau hierarki peraturan perundang-undangan memiliki makna bahwa: "*(a) Peraturan hukum atasan merupakan dasar hukum pembentukan peraturan hukum bawahan, (b) Peraturan hukum bawahan merupakan pelaksanaan peraturan hukum atasan, oleh karena itu kedudukannya lebih rendah dan materi muatannya tidak boleh bertentangan*."

[32] Indonesia, *Undang-Undang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan,* UU No. 12 Tahun 2011, LN No. 82 Tahun 2011, TLN No. 5234, sebagaimana diubah dengan Indonesia, *Undang-Undang tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan*, UU No. 15 Tahun 2019, LN No. 183 Tahun 2019, TLN No. 6398, Pasal 8(2). Selanjutnya, menurut Penjelasan Pasal 8(2):

"*Yang dimaksud 'berdasarkan kewenangan' berarti penyelenggaraan urusan tertentu pemerintahan sesuai dengan ketentuan Peraturan Perundang-undangan*."

Sekali lagi, peraturan menteri tidak dibenarkan untuk melakukan fungsi pengaturan (*beleid*) tanpa adanya dasar pemberian kewenangan untuk melakukan hal tersebut seperti mandat Undang-Undang. Lihat: Zaka Firma Aditya dan M. Reza Winata, *Op. Cit.,* hlm. 95.

[33] Kapasitas pembangkit untuk kepentingan sendiri yang wajib memperoleh IO dan SLO baru saja dinaikkan dengan Peraturan ESDM No. 13 Tahun 2019, sedangkan sebelumnya pembangkit untuk kepentingan sendiri yang berkapasitas >200 kVA wajib memperoleh IO dan SLO.

an ESDM cq. Direktur Jenderal Ketenagalistrikan atau Gubernur. Sedangkan untuk pembangkit dengan kapasitas >500 kVA pemilik diwajibkan memperoleh IO, baik dari Kementerian ESDM atau Pemerintah Daerah.[34]

IO diberikan kepada pembangkit untuk kepentingan sendiri dengan persyaratan yang lebih rendah dari IUPTL untuk kepentingan umum. Di samping persyaratan dasar yang berlaku untuk IO maupun IUPTL seperti data administratif, kajian teknis dan lingkungan, IUPTL untuk pembangkit listrik yang diberikan kepada pembangkit milik swasta (IPP) mensyaratkan adanya studi kelayakan usaha untuk IPP yang bersangkutan, perjanjian pembelian tenaga listrik (*power purchase agreement* - PPA) yang telah ditandatangani antara IPP dengan pembeli tenaga listrik (*off-taker* - dapat berupa PLN atau perusahaan lain yang memerlukan suplai eksklusif dari pembangkit), dan terlebih lagi diperlukan adanya sinergi antara pembangkit dengan RUPTL sehingga diperlukan kajian khusus untuk menentukan kapasitas penyediaan oleh PLN dan rencana penyambungan kepada jaringan distribusi PLN.[35]

Di samping IUPTL dan IO, "izin" yang berlaku umum terhadap seluruh instalasi ketenagalistrikan (termasuk jaringan transmisi, distribusi, dan instalasi listrik konsumen) adalah Sertifikat Laik Operasi (SLO) yang berlaku termasuk untuk PLTS Atap demi menjamin keamanan fasilitas yang bersangkutan. Sebelum pemberlakuan Permen ESDM tersebut, tidak dikenal konsep izin tersendiri yang harus diterbitkan sebelum perorangan maupun pelaku usaha dapat memasang PLTS Atap. SLO, yang masih diwajibkan dalam Peraturan tersebut, diterbitkan setelah instalasi rampung dan dapat diuji coba.

Patut digarisbawahi bahwa tidak satu pun dari IUPTL atau IO dapat diterbitkan oleh PLN. Kewenangan untuk menerbitkan izin tetap ada pada Pemerintah Pusat yang dalam hal ini adalah Kementerian ESDM ataupun Pemerintah Daerah, sedangkan kedudukan PLN dalam Undang-undang Ketenagalistrikan dan Peraturan Pemerintah tentang Penyediaan Tenaga Listrik sangat jelas hanya semata sebagai subjek pemegang IUPTL. SLO sendiri diberikan ESDM, gubernur atau bupati/walikota setelah dilakukan pemeriksaan dan pengujian

[34] Indonesia, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Sendiri Yang Dilaksanakan Berdasarkan Izin Operasi*, Peraturan No. 29 Tahun 2012, BN No. 1255 Tahun 2012, Pasal 2 (1).

[35] Indonesia, *Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik*, Peraturan Pemerintah No. 14 Tahun 2012, LN No. 28 Tahun 2012, TLN 5281, Bab II Bagian Kedua (Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Umum) dan Bagian Ketiga (Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Sendiri).

oleh lembaga inspeksi teknis yang terakreditasi oleh ESDM.[36]

3. Kewenangan ESDM dalam Pemberian Penugasan

Permasalahan hukum pun muncul berkaitan dengan penugasan terhadap PLN dari ESDM untuk memberi izin PLTS Atap. Wewenang Pemerintah Pusat (ESDM) menurut Undang-undang Ketenagalistrikan yang dapat dilimpahkan kepada PLN terbatas pada fasilitas ketenagalistrikan tertentu saja. Seperti penjabaran Pasal 5 ayat (1) Undang-undang Ketenagalistrikan, Pemerintah (ESDM) berwenang memberi IUPTL dan IO dalam hal:

a. Badan usaha merupakan BUMN atau wilayah usahanya lintas provinsi;
b. Pembangkit terhubung dengan jaringan lintas provinsi;
c. Pembangkit merupakan usaha penanaman modal asing; atau
d. Pembangkit menjual kelebihan tenaga kepada jaringan nasional.

Potensi cakupan wewenang pemerintah daerah sangatlah luas dalam PLTS Atap mengingat sifatnya yang swasembada dan pada umumnya dipergunakan untuk kepentingan sendiri atau, kalaupun diusahakan, pengusahaannya yang berskala relatif kecil dan tidak dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional. [37]

Prinsip otonomi daerah menjamin kewenangan pemerintah daerah untuk menentukan arah kebijakan pengusahaan dalam batasan wilayah administratifnya.[38] Otonomi ini diperlukan untuk

[36] *Ibid.*, Pasal 46.

[37] Menjadi pertanyaan terpisah apakah pemberian izin dalam hal PLTS Atap dalam area kabupaten menjadi kewenangan Bupati karena adanya konflik antara Undang-Undang Ketenagalistrikan dengan Undang-Undang Pemerintah Daerah yang tidak lagi memberikan kewenangan pemberian izin pembangkit kepada Bupati (meskipun pembagian tersebut tidak spesifik diberlakukan terhadap PLTS Atap). Mahkamah Konstitusi dalam Putusan Nomor 11/PUU-XIV/2016 mengenai kewenangan pemberian izin pemanfaatan panas bumi (Pemerintah Provinsi Jawa Timur vs Pemerintah Republik Indonesia) memutuskan bahwa sifat energi panas bumi yang tidak bisa secara mudah didelineasi ke dalam batasan wilayah administratif membenarkan pemusatan kewenangan perizinan kepada Pemerintah RI berdasarkan Undang-Undang Pemerintah Daerah, meskipun Undang-Undang Panas Bumi No. 21 Tahun 2014 (sebagaimana Undang-Undang Ketenagalistrikan) memberikan kewenangan perizinan kepada Pemerintah Provinsi. Akan sulit membenarkan posisi tersebut (menarik kuasa perizinan dari pemerintah daerah ke Pemerintah Pusat dan, sebagai konsekuensi, membenarkan pemberian penugasan melalui Peraturan ESDM kepada PLN untuk memberikan izin dalam segala skenario pembangunan PLTS Atap) dalam kasus PLTS Atap karena (1) energi surya tidak mengenal batas ketersediaan dalam satu wilayah dan tidak memerlukan ekstraksi sehingga membutuhkan koordinasi khusus oleh Pemerintah Pusat seperti dalam kasus panas bumi, dan (2) Penarikan wewenang dalam skenario ini dilakukan hanya melalui level peraturan menteri karena Undang-Undang Ketenagalistrikan tidak mengenal perizinan untuk PLTS Atap (rujuk *Bagian III.C.2. Pengenalan Rezim Perizinan Baru tanpa Dasar Hukum* diatas).

[38] Hal ini juga ditegaskan oleh Undang-Undang Ketenagalistrikan yang dalam Penjelasan Umum Paragraf 3 menjelaskan: "*Sesuai dengan prinsip otonomi daerah, Pemerintah atau pemerintah daerah sesuai dengan kewenangannya menetapkan izin usaha penyediaan tenaga listrik.*"

menjamin terselenggaranya pemerintahan daerah yang kebijakannya memenuhi kebutuhan masyarakat setempat dan menghormati kearifan lokal dan tidak semata-mata menjalankan kebijakan Pemerintah pusat.

Dengan demikian, sebagaimana dijamin oleh UUD[38] serta asas pembentukan peraturan perundang-undangan yang baik[39], kepala pemerintahan daerah sendirilah yang berwenang untuk menugaskan badan usaha atau instansi lainnya untuk menjalankan fungsinya. Prinsip ini juga tertuang secara tegas dalam Undang-undang Ketenagalistrikan yang memisahkan kewenangan penyelenggaraan penyediaan tenaga listrik kepada tiap-tiap unit Pemerintahan Pusat, Provinsi, dan Kabupaten/Kota setara sesuai dengan luasan pengusahaan dan ketersambungan pembangkit dengan jaringan. Pelaksanaan fungi pemerintahan melalui penugasan kepada instansi usaha milik pemerintah lazim dilakukan secara mandiri oleh Pemerintah Daerah melalui peraturan gubernur atau peraturan bupati seperti yang dilakukan oleh Gubernur DKI Jakarta kepada Perusahaan Daerah untuk penyelenggaraan fasilitas pengolahan sampah antara di dalam kota.[40]

Untuk merealisasikan kewenangan PLN dalam memberi izin PLTS Atap seperti diinginkan Pasal 10 ayat (1) Permen ESDM tersebut, seyogyanya (a) satu per satu Gubernur dan Bupati harus menerbitkan peraturan yang menunjuk PLN untuk melaksanakan kewenangan perizinan mereka berdasarkan Undang-undang Ketenagalistrikan, atau (b) Undang-undang Ketenagalistrikan menciptakan kewenangan perizinan baru untuk pembangunan PLTS Atap dan menetapkan Pemerintah Pusat sebagai

[38] Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia (sebagaimana diamandemen) Pasal 18 (5) mengatakan hanya undang-undang yang dapat menetapkan urusan pemerintahan sebagai urusan Pemerintah Pusat.

[39] Sebagaimana diatur dalam Pasal 5 Undang-Undang No. 12 Tahun 2011 yang dalam penjelasannya mensyaratkan peraturan perundang-undangan untuk dibentuk dengan memperhatikan asas kelembagaan atau pejabat pembentuk yang tepat dan asas kesesuaian antara jenis, hierarki, dan materi muatan:

"Huruf b

Yang dimaksud dengan "asas kelembagaan atau pejabat pembentuk yang tepat" adalah bahwa setiap jenis Peraturan Perundang-undangan harus dibuat oleh lembaga negara atau pejabat Pembentuk Peraturan Perundang-undangan yang berwenang. Peraturan Perundang-undangan tersebut dapat dibatalkan atau batal demi hukum apabila dibuat oleh lembaga negara atau pejabat yang tidak berwenang.

Huruf c

Yang dimaksud dengan "asas kesesuaian antara jenis, hierarki, dan materi muatan" adalah bahwa dalam Pembentukan Peraturan Perundang-undangan harus benar-benar memperhatikan materi muatan yang tepat sesuai dengan jenis dan hierarki Peraturan Perundang-undangan."

[40] Daerah Khusus Ibukota Jakarta, *Penugasan kepada Perseroan Terbatas Jakarta Propertindo (Perusahaan Daerah) dalam Penyelenggaraan Fasilitas Pengolahan Sampah Antara di Dalam Kota*, Peraturan Nomor 65 Tahun 2019, Berita Daerah Nomor 73004 Tahun 2019.

pihak yang berwenang. Oleh karena itu, dengan memberi kewenangan umum kepada PLN untuk memberi izin instalasi PLTS Atap, ESDM melanggar lingkup kewenangannya dalam Undang-undang Ketenagalistrikan dan melanggar Undang-undang Dasar yang menjamin wewenang pemerintah daerah untuk melaksanakan fungsi pengaturan dalam wilayah administratifnya.

C. Insentif Persaingan Tidak Sehat

1. Lingkup Monopoli Ketenagalistrikan

Pembatasan kewenangan bagi PLN konsisten dengan transformasi bentuk BUMN-nya yang tadinya merupakan Perusahaan Umum (Perum) dengan misi pelayanan masyarakat menjadi Perusahaan Perseroan[41] dengan tujuan utamanya mendapatkan laba sebagaimana layaknya perseroan lain, meskipun sahamnya dimiliki oleh Negara. Sejak saat itu, PLN diperlakukan sebagai korporasi biasa dengan pengecualian bahwa PLN menerima penugasan dari Pemerintah (ESDM) untuk menyelenggarakan pengusahaan tenaga listrik untuk kepentingan umum.[42] Namun demikian, penugasan berdasarkan Undang-Undang Ketenagalistrikan tidak menutup kemungkinan adanya penyedia tenaga listrik swasta seperti terlihat dengan maraknya skema IPP yang kemudian menjual tenaga listrik yang dihasilkan ke PLN. Undang-Undang Ketenagalistrikan Pasal 4 ayat (2) secara jelas membuka kemungkinan tersebut, seperti ditegaskan kembali dalam Putusan Mahkamah Konstitusi Republik Indonesia Nomor 111/PUU-XIII/2015 bahwa pelaksanaan kegiatan usaha penyediaan tenaga listrik dapat dilakukan oleh swasta sepanjang tidak diartikan adanya erosi terhadap monopoli Negara terhadap bidang usaha penyediaan tenaga listrik.[43]

Monopoli ini diatur dengan Undang-undang dan dapat diselenggarakan oleh Pemerintah yang dapat menunjuk Badan Usaha Milik Negara yang bidang usaha-

---

[41] Indonesia, *Pengalihan Bentuk Perusahaan Umum (Perum) Listrik Negara Menjadi Perusahaan Perseroan (Persero)*, Peraturan Pemerintah No. 23 Tahun 1994, LN No. 34 Tahun 1999, Pasal 2 (penekanan frasa oleh penulis):

"Maksud dan tujuan Perusahaan Perseroan (PERSERO) sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 adalah:

Menyediakan tenaga listrik bagi kepentingan umum dan sekaligus memupuk keuntungan berdasarkan prinsip pengelolaan Perusahaan;"

[42] Rujuk pada bagian *III.B.1. Kedudukan dan Fungsi PLN sebagai Pemberi Izin* di atas.

[43] Dalam pertimbangannya, Mahkamah mengutip putusannya terdahulu (Putusan Nomor 001-021-022/PUU-I/2003) dalam membenarkan akses kepada swasta dalam pengusahaan ketenagalistrikan yang pendapatnya antara lain berbunyi sebagai berikut:

"*Dengan demikian, Mahkamah berpendapat, ketentuan Pasal 33 UUD 1945 tidaklah menolak privatisasi, sepanjang privatisasi itu tidak meniadakan penguasaan oleh negara c.q. Pemerintah sebagai penentu utama kebijakan usaha dalam cabang produksi yang penting bagi negara dan/atau menguasai hajat hidup orang banyak. Pasal 33 UUD 1945 juga tidak menolak ide kompetisi di antara para pelaku usaha, sepanjang kompetisi itu tidak*

nya sesuai.[44] Namun demikian, berdasarkan penjelasan Pasal 51 Undang-undang Nomor 5 Tahun 1999 Tentang Larangan Praktik Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat (Undang-undang Persaingan Usaha), pengecualian terhadap BUMN dari larangan monopoli tidak dimaksudkan untuk melarang adanya kompetisi dari kalangan swasta, bahkan pelaku usaha asing, melainkan untuk memastikan terpenuhinya kebutuhan pokok bagi seluruh masyarakat. Pengecualian terhadap larangan monopoli yang diberikan kepada negara untuk dilaksanakan oleh BUMN harus dilakukan secara efisien serta tidak mengakibatkan praktik monopoli dan atau persaingan usaha tidak sehat.[45]

2. *Entry Barrier* bagi PLTS Atap dan Kewenangan PLN

Permen ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN telah melanggar prinsip anti monopoli karena peraturan tersebut secara efektif memberlakukan larangan masuk (*entry barrier*) bagi usaha swasta - termasuk kecil dan menengah - dalam pengadaan PLTS Atap dengan mengharuskan adanya perizinan dari PLN. Pun diizinkan oleh PLN, kapasitas terpasang PLTS Atap tidak boleh melebihi kapasitas terpasang PLN pada fasilitas pelanggan yang bersangkutan.[46] Tidak terdapat alasan teknis mengapa larangan ini diberlakukan karena prinsip dari prosumen (produsen-konsumen sebagaimana dijelaskan sebagai visi Listrik 4.0 Pemerintah dalam RUKN 2019-2038)[47] memang menghendaki adanya prinsip jual beli tenaga listrik antar konsumen.

PLTS Atap pada umumnya dibangun untuk kepentingan sendiri. Asumsi bahwa PLTS Atap yang terhubung kepada jaringan distribusi (*grid*) PLN akan

---

*meniadakan penguasaan oleh negara yang mencakup kekuasaan mengatur (*regelendaad*), mengurus (*bertuursdaad*), mengelola (*beheersdaad*), dan mengawasi (*toezichthoudensdaad*) cabang-cabang produksi yang penting bagi negara dan/atau yang menguasai hajat hidup orang banyak untuk tujuan sebesar-besarnya kemakmuran rakyat."*

[44] Indonesia, Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat, UU No. 5 Tahun 1999, LN No. 3 Tahun 1999, TLN No. 3817, Pasal 51*:*

"Monopoli dan atau pemusatan kegiatan yang berkaitan dengan produksi dan atau pemasaran barang dan atau jasa yang menguasai hajat hidup orang banyak serta cabang-cabang produksi yang penting bagi negara diatur dengan Undang-undang dan diselenggarakan oleh Badan Usaha Milik Negara dan atau badan atau lembaga yang dibentuk atau ditunjuk oleh Pemerintah."

[45] Indonesia, Komisi Pengawas Persaingan Usaha, Pedoman Pelaksanaan Ketentuan Pasal 51 Undang-Undang No. 5 Tahun 1999 Tentang Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat, Peraturan No. 3 Tahun 2010. Praktik monopoli sendiri diartikan oleh Undang-Undang Persaingan Usaha sebagai pemusatan kekuatan ekonomi oleh satu atau lebih pelaku usaha yang mengakibatkan dikuasainya produksi dan atau pemasaran atas barang dan atau jasa tertentu sehingga menimbulkan persaingan usaha tidak sehat dan dapat merugikan kepentingan umum. Indonesia, *Op. Cit.*, Undang-Undang Persaingan Usaha, Pasal 1.2.

[46] Peraturan ESDM No. 49 Tahun 2018, sebagaimana diubah, *Op. Cit.*, Pasal 5(1).

[47] RUKN, *Op. Cit.*, hlm. 88-89.

diperuntukkan bagi penjualan *excess power* kepada PLN adalah tidak berdasar. Sebelum Peraturan ESDM No. 49 Tahun 2018, sebagaimana diubah, PLTS Atap bahkan tidak diperbolehkan untuk menjual kelebihan tenaga kepada PLN karena tarifnya belum ditentukan; yang umum terjadi adalah pemilik pembangkit mempergunakan panel surya untuk kepentingan sendiri tanpa perlu meminta izin instalasi. Peran Pemerintah hanya terbatas pada pemberian SLO untuk memastikan kelaikan teknis pembangkit yang bersangkutan dalam hubungannya dengan jaringan PLN yang akan menyuplai cadangan listrik dalam hal *intermittent supply* (ketidakstabilan tenaga listrik untuk penggunaan konsumen karena PLTS Atap tidak menghasilkan energi secara terus-menerus (*continuous supply*).[48] Usaha kemandirian energi ini terancam kelangsungannya karena pemilik harus memperoleh izin sebelum instalasi PLTS Atap apabila masih mau terhubung dengan *grid* PLN.[49] Terlebih lagi, ESDM tidak mempertimbangkan konsep PLTS Atap yang bisa menyimpan kelebihan energi seperti dengan sistem penyimpanan dalam baterai untuk kemudian dipergunakan sebagai cadangan saat terjadi *intermittent supply* atau *down time* yang artinya PLTS Atap tersebut tidak menghendaki penjualan kelebihan tenaga kepada *grid* PLN. Ditinjau secara keseluruhan, pemasangan PLTS Atap membawa beragam kesulitan bagi pemiliknya dan mengurangi potensi keekonomian dari investasi besar yang harus dilakukan di muka mengingat harga panel surya dan biaya instalasinya di Indonesia yang masih terbilang mahal.

Apabila dibenarkan adanya *entry barrier*, Undang-Undang Persaingan Usaha mengharuskan penugasan terhadap BUMN dilakukan secara jelas melalui Undang-undang.[50] Ditinjau dari Undang-undang Ketenagalistrikan[51], nyata adanya bahwa penugasan terhadap PLN tidak meliputi pemberian izin untuk PLTS Atap atau pembangkit lain secara

[48] PT PLN (Persero), *Pedoman Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Ke Sistem Distribusi PLN,* Keputusan Direksi No. 0357.K/DIR/2014, Tanggal 22 Juli 2014.

[49] Peraturan ESDM No. 49 Tahun 2018, sebagaimana diubah dalam Peraturan ESDM Nomor 13 Tahun 2019 juga menetapkan persyaratan baru kepada pemilik PLTS Atap yang tidak terkoneksi dengan PLN (*off-grid*) untuk menyampaikan laporan kepada Dirjen EBTKE (Pasal 15(2). Pemilik PLTS Atap sektor industri yang terhubung dengan PLN akan dikenakan pembayaran khusus berupa *capacity charge* bagi pemakaian listrik PLN untuk menutupi defisit tenaga listrik, terlepas apakah fasilitas yang bersangkutan hendak menjual *excess power*-nya kepada PLN (Pasal 14(2).

[50] Indonesia, Komisi Pengawas Persaingan Usaha, *Op. Cit.*, Bab II Unsur-Unsur Dalam Pasal 51 UU Nomor 5 Tahun 199 dan Penjabarannya, unsur (4) Diatur dengan Undang-undang, yang antara lain menyatakan bahwa monopoli dalam konteks Pasal 51 Undang-Undang Persaingan Usaha "*…hanya dapat dilakukan setelah diatur terlebih dahulu dalam bentuk undang-undang (bukan peraturan perundang-undangan di bawah undang-undang*)." (Penekanan frasa oleh penulis.)

[51] Rujuk pada bagian *III.B.1. Kedudukan dan Fungsi PLN sebagai Pemberi Izin* diatas.

umum sehingga perlu dipertanyakan apakah pengecualian dari penerapan prinsip anti monopoli berdasarkan Pasal 51 Undang-undang Persaingan Usaha dapat dibenarkan dalam konteks ini dan apakah Undang-undang Persaingan Usaha membenarkan adanya penugasan dalam bidang perizinan karena wewenang ini tidak termasuk lingkup pengusahaan sebagaimana dimaksudkan Pasal 51 Undang-undang Persaingan Usaha.

3. Konflik Kepentingan PLN dan Diskriminasi Tarif

Absen adanya pengecualian yang sah dari larangan anti monopoli dalam lingkup Pasal 51 Undang-undang Persaingan Usaha, wewenang PLN dalam Peraturan ESDM tersebut dapat ditafsirkan sebagai konflik kepentingan. Di satu sisi, PLN adalah pelaku usaha penyediaan tenaga listrik yang memegang IUPTL sebagaimana layaknya usaha pembangkit lain yang mencari laba, namun di lain pihak PLN diberi wewenang untuk memutuskan apakah pihak lain dibolehkan untuk membangun PLTS Atap yang berpotensi mengurangi pendapatan PLN. Tidaklah sulit membayangkan suatu skenario, di mana PLN yang tujuan utamanya mendapat laba, tidak memberi izin pendirian PLTS Atap kepada kalangan usaha swasta atau individu karena akan mengurangi porsi penerimaan tarif listrik PLN yang merupakan sumber utama pendapatannya.[52] Tendensi atas skenario tersebut tampak dalam bagian pertimbangan Permen ESDM tersebut yang menyatakan bahwa tujuan utama PLTS Atap adalah untuk penghematan pembayaran tenaga listrik bagi konsumen PLN. Betapa tidak lazimnya bahwa ESDM dapat berpraduga motivasi individu atau pelaku usaha dalam memutuskan untuk memiliki PLTS Atap; khususnya praduga ini menyampingkan motivasi pelestarian lingkungan yang sejatinya utama dalam pengembangan PLTS.[53] Dengan demikian PLN dalam mempertimbangkan permohonan izin akan bias terhadap segi keekonomian dari PLTS Atap, termasuk apakah PLTS yang bersangkutan akan menggantikan kebutuhan konsumen tersebut terhadap listrik PLN. Hal ini tidak saja bertentangan dengan prinsip Undang-undang Persaingan Usaha namun juga Undang-undang Ketenagalistrikan yang tidak menghendaki PLN menjadi satu-satunya pelaku usaha pengadaan listrik.[54]

---

[52] PT PLN (Persero), *Laporan Keuangan Konsolidasian Untuk Tahun-tahun yang Berakhir pada Tanggal 31 Desember 2018 dan 2017*, hlm. 4 menyatakan bahwa ~96% pendapatan PLN berasal dari pembayaran tarif listrik pelanggan. PLTS Atap yang di-swasembadakan oleh pelanggan PLN tentunya akan mengurangi ketergantungan terhadap listrik yang disediakan oleh PLN dan pada akhirnya juga mengurangi porsi pendapatan tersebut.

[53] Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2018, *Op. Cit.*, Pasal 2.

[54] Undang-Undang Ketenagalistrikan, *Op. Cit.*, Pasal 4 (2). Indonesia, Komisi Pengawas Persaingan Usaha, *Op. Cit.*, Bab III Simulasi Kasus Yang Terkait Dengan Pasal 51 UU Nomor 5 Tahun 1999, B. Kasus

Selanjutnya dapat dilihat bahwa diskriminasi terhadap PLTS Atap juga tampak dalam aspek komersial pemasangan PLTS Atap. Pertama, penentuan besaran *excess power* yang diterima oleh PLN dan tarif bagi PLTS Atap dalam Peraturan ESDM tersebut. PLN hanya akan memperhitungkan 65% dari nilai kWh ekspor yang dihasilkan PLTS Atap sebagai *excess power*, yang kemudian selisihnya dengan penggunaan listrik dari PLN oleh pelanggan yang bersangkutan (kWh impor) yang akan dibeli oleh PLN. Kemudian bagi PLTS Atap yang dipasang oleh konsumen level industri, pengenaan *capacity charge* juga akan menjadi beban khusus bagi pelanggan. Lagi-lagi pertimbangan yang diberikan adalah karena PLTS Atap hanya digunakan untuk menghemat pembayaran rekening pelanggan. Ironis bahwa kebijakan ini bertentangan dengan perintah khusus Undang-undang Ketenagalistrikan yang mengharuskan keutamaan penggunaan energi terbarukan.

IV. Penutup

Dalam usaha memenuhi target Pemerintah untuk meningkatkan level bauran energi terbarukan, khususnya tenaga surya yang tersedia secara masif dan gratis, kebijakan yang terkandung dalam Permen ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN harus ditinjau ulang. Insentif, atau setidaknya perlakuan yang non-diskriminatif, harus diberikan kepada pihak yang hendak beralih ke PLTS Atap dan berkontribusi pada keberlangsungan tenaga ramah lingkungan.

Bentuk dan isi peraturan yang diterbitkan juga harus memperhatikan kaidah pembentukan peraturan perundang-undangan untuk menghindari pertentangan dengan instrumen hukum lain, termasuk peraturan yang tingkatnya lebih tinggi, baik dalam kandungan materi yang sesuai ataupun pencabutan wewenang khusus bagi pemerintah daerah berdasarkan Undang-undang dan Konstitusi. Keberadaan PLN hanya sebagai BUMN penerima mandat usaha penyelenggaraan ketenagalistrikan tidak bisa diartikan melebihi wewenangnya dan lantas diberikan kuasa perizinan dan menimbulkan berbagai potensi perilaku persaingan usaha tidak sehat.

Monopoli yang mengarah pada Praktek Monopoli dan atau Persaingan Usaha Tidak Sehat yang membahas penunjukan langsung oleh BUMN menyatakan bahwa tindakan yang dilakukan oleh pemegang hak monopoli yang bertentangan dengan prinsip-prinsip persaingan usaha yang sehat tidak dikecualikan, termasuk ketika terjadi potensi tindakan yang menghambat persaingan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 19 Undang-Undang Persaingan Usaha (mengenai penguasaan pasar).

DAFTAR PUSTAKA

Peraturan Perundang-Undangan

Indonesia. Undang-Undang Dasar Negara 1945.

_____. *Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat*, UU No. 5 Tahun 1999, LN No. 3 Tahun 1999, TLN No. 3817.

_____. Komisi Pengawas Persaingan Usaha, Peraturan tentang Pedoman Pelaksanaan Ketentuan Pasal 51 Undang-Undang No. 5 Tahun 1999 Tentang Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat, No. 3 Tahun 2010.

_____. *Undang-Undang Ketenagalistrikan,* UU No. 30 Tahun 2009, LN No. 133 Tahun 2009, TLN No. 5052.

_____. *Undang-Undang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan*, UU No. 12 Tahun 2011, LN No. 82 Tahun 2011, TLN No. 5234.

_____. *Undang-Undang tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan*, UU No. 15 Tahun 2019, LN No. 183 Tahun 2019, TLN No. 6398.

_____. *Undang-Undang Pemerintahan Daerah*, UU No. 23 Tahun 2014, LN No. 244 Tahun 2014, TLN No. 5587.

_____. *Pengalihan Bentuk Perusahaan Umum (Perum) Listrik Negara Menjadi Perusahaan Perseroan (Persero)*, PP No. 23 Tahun 1994, LN No. 34 Tahun 1999.

_____. *Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik*, PP No. 14 Tahun 2012, LN No. 28 Tahun 2012, TLN 5281.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Peraturan tentang Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Sendiri Yang Dilaksanakan Berdasarkan Izin Operasi, No. 29 Tahun 2012, BN No. 1255 Tahun 2012.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik, No. 50 Tahun 2017, BN No. 1107 Tahun 2017.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), Peraturan No. 49 Tahun 2018, BN No. 1525 Tahun 2018.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), Peraturan No. 13 Tahun 2019, BN No. 1020 Tahun 2019.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Peraturan Menteri Energi

dan Sumber Daya Mineral tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), Peraturan No. 16 Tahun 2019, BN No. 1179 Tahun 2019.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2019 Sampai Dengan 2028, No. 39 K/20/MEM/2019.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2019 Sampai Dengan 2038, No. 143 K/20/MEM/2019 Tahun 2019.

Daerah Khusus Ibukota Jakarta. *Penugasan kepada Perseroan Terbatas Jakarta Propertindo (Perusahaan Daerah) dalam Penyelenggaraan Fasilitas Pengolahan Sampah Antara di Dalam Kota*, Peraturan No. 65 Tahun 2019, Berita Daerah Nomor 73004 Tahun 2019.

Putusan pengadilan

Mahkamah Konstitusi, Putusan No. 111/PUU-XIII/2015.

Mahkamah Konstitusi, Putusan No. 11/PUU-XIV/2016.

Artikel Jurnal/Media Massa

Aditya, Zaka Firma dan M. Reza Winata. Rekonstruksi Hierarki Peraturan Perundang-undangan di Indonesia, *Negara Hukum Membangun Hukum untuk Keadilan dan Kesejahteraan*, Vol. 9, No. 1, Juni 2018.

Denny, Septian. "Potensi Energi Tenaga Surya RI 10 Kali Lebih Besar dari Jerman," https://www.liputan6.com/bisnis/read/2493191/potensi-energi-tenaga-surya-ri-10-kali-lebih-besar-dari-jerman?utm_expid=.9Z4i5ypGQeGiS7w9arwTvQ.0&utm_referrer=http-s%3A%2F%2Fwww.liputan6.com%2Fbisnis%2Fread%2F2493191%2Fpotensi-energi-tenaga-surya-ri-10-kali-lebih-besar-dari-jerman, diakses tanggal 14 Agustus 2019.

IDZ/BIR. "Energi Terbarukan Bisa Bikin Pemerintah Hemat Puluhan Triliun," https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20190424095301-85-389098/energi-terbarukan-bisa-bikin-pemerintah-hemat-puluhan-triliun, diakses tanggal 14 Agustus 2019.

MTH. "Pasang PLTS Atap, Tagihan Listrik Lebih Hemat," https://kominfo.go.id/index.php/content/detail/20547/pasang-plts-atap-tagihan-listrik-lebih-hemat/0/artikel_gpr, diakses tanggal 31 Agustus 2019.

Pamudji/FER. "Konsep Bangunan Hijau Butuh Insentif Pemerintah," https://www.beritasatu.com/interi-

or/154113-konsep-bangunan-hijau-butuh-insentif-pemerintah.html, diakses tanggal 31 Agustus 2019.

Rahadian, Lalu. "Ini 10 PLTU yang Berpotensi Sumbang Polusi Udara Jakarta," https://jakarta.bisnis.com/read/20190716/77/1124981/ini-10-pltu-yang-berpotensi-sumbang-polusi-udara-jakarta, diakses tanggal 17 Agustus 2019.

Sulaiman, Stefanno Reinard. "New solar panel regulation discourages public use," https://www.thejakartapost.com/news/2019/02/22/new-solar-panel-regulation-discourages-public-use.html, diakses tanggal 16 Agustus 2019.

Tim Komunikasi ESDM. "Narasi Tunggal: Pasang PLTS Atap, Tagihan Listrik Lebih Hemat," https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/narasi-tunggal-pasang-plts-atap-tagihan-listrik-lebih-hemat, diakses tanggal 31 Agustus 2019.

Thomas, Jason. "Indonesian Dull Solar Sector," https://theaseanpost.com/article/indonesias-dull-solar-sector, diakses tanggal 14 Agustus 2019.

Widyaningsih, Grita Anindarini. "Membedah Kebijakan Perencanaan Ketenagalistrikan di Indonesia," *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, Vol. 5, No. 1, Oktober 2018.

Lain-Lain

PT PLN (Persero). "Laporan Keuangan Konsolidasian Untuk Tahun-tahun yang Berakhir pada Tanggal 31 Desember 2018 dan 2017".

PT PLN (Persero). "Pedoman Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Ke Sistem Distribusi PLN," Keputusan Direksi No. 0357.K/DIR/2014, Tanggal 22 Juli 2014.

PT PLN (Persero). "Statistik PLN 2017," *Sekretariat Perusahaan PLN*, https://www.pln.co.id/statics/uploads/2018/06/Laporan-Statistik-PLN-2017-Indonesia.pdf, diakses pada 25 Agustus 2019.

Robertsson, Stefan. "Southeast Asian Solar: Market Outlook and Policy Overview," *The Lantau Group*, 31 Agustus 2017, https://www.lantaugroup.com/files/ppt_pgen17_sr.pdf, diakses tanggal 15 Agustus 2019.

POTENSI ENERGI BARU TERBARUKAN UNTUK PENGEMBANGAN PARIWISATA DI PULAU AMBON

Lory Marcus Parera[1)], Conny E. Pelamonia[2)]
[1,2)]Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon
[1)]lory.parera75@gmail.com, [2)]connypelamonia74@gmail.com

ABSTRACT

Conventional power plants have made people's dependence on this form, without realizing that there is alternative energy or new renewable energy that is environmentally friendly and saves costs and energy. New renewable energy is also free from pollution, unlike the use of conventional power plants, but its use is still very limited in Ambon island. Therefore, this article will show the potential of new and renewable energy devoted to the tourism sector in the island of Ambon, through the utilization of solar energy or solar cells. Electric energy by utilizing solar energy is only used in part as street lighting and traffic light. The object of the research is on two tourist locations in Ambon island, namely Natsepa Beach and Hatusua Hot Water Bath on Tulehu. The results show that energy-efficient solar lights have simple components and are very easy to install and are very flexible in their use, and are one of the solutions to reduce the use of PLN electricity sources and can even save energy above 75% of the total supplied with PLN electricity. The total power in the two tourist locations is 2665 watts spread over 59 points with electricity sources coming from PLN. When using energy-saving solar lights, the buffer saves 2495 power with electricity savings of 93.58%.

ABSTRAK

Pembangkit listrik konvensional telah membuat ketergantungan masyarakat terhadap bentuk ini, tanpa menyadari bahwa ada energi alternatif atau energi baru terbarukan yang ramah lingkungan dan hemat biaya serta energi. Energi baru terbarukan juga bebas dari polusi, beda dengan penggunaan pembangkit listrik konvensional, namun penggunaannya masih sangat terbatas di pulau Ambon. Oleh karena itu, artikel ini akan menunjukkan potensi energi baru dan terbarukan yang dikhususkan pada sektor pariwisata di pulau Ambon, melalui pemanfaatan energi matahari atau *solar cell*. Energi listrik dengan memanfaatkan energi matahari hanya digunakan sebagian sebagai lampu penerangan jalan dan *trafic light*. Objek penelitian adalah pada dua lokasi wisata di pulau Ambon, yaitu Pantai Natsepa dan Permandian Air Panas Hatusua di Tulehu. Hasilnya menunjukkan bahwa lampu tenaga surya hemat energi memiliki komponen yang sederhana dan sangat mudah dipasang serta sangat fleksibel dalam penggunannya, dan merupakan salah satu solusi untuk mengurangi penggunaan sumber listrik PLN dan bahkan dapat menghemat energi di atas 75 % dari total yang disuplai dengan sember listrik PLN. Total daya pada kedua lokasi wisata sebesar 2665 watt tersebar pada 59 titik dengan sumber listrik berasal dari PLN. Ketika menggunakan lampu tenaga surya hemat energi, dapar menghemat daya sebesar 2495 waat dengan penghematan energi listrik sebesar 93,58 %.

***Kata Kunci** : spektrum radiasi; tenaga surya; fotovoltaik; hemat energi*

1. PENDAHULUAN

Energi baru terbarukan merupakan energi yang sangat potensial untuk memenuhi penyediaan energi listrik di suatu lokasi. Penyedian energi listrik ini dapat digunakan di rumah-rumah penduduk, perkantoran, dan sebagai penerangan jalan. Namun, pemanfaatan energi baru terbarukan masih sangat terbatas, karena didominasi oleh pembangkit konvensional, seperti PLTD, PLTU, PLTG, dan PLTA. Dengan demikian, ketergantungan terhadap pembangkit tenaga listrik tersebut sangatlah besar.

Alasan utama ketergantungan ini karena energi listrik sangat penting untuk kehidupan manusia, dan telah menjadi kebutuhan primer sebagai penyedia energi listrik. 100 % pasokan sumber energi listrik berasal dari pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), dan digunakan untuk industri, perkatoran, perumahan dan penerangan jalan. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah ini, maka perlu dilakukan pengembangan sektor energi terbarukan. Menurut (Graziano, Billing, Kenter, & Greenhill, 2017), pengembangan sektor energi terbarukan memiliki potensi untuk mengatasi masalah kebutuhan energi listrik, termasuk masalah transisi dari penggunaan pembangkit listrik konvensional ke energi baru terbarukan. Kapasitas listrik Indonesia dalam bentuk energi terbarukan adalah energi surya, angin, dan biomassa (Alifdini et al., 2018).

Energi baru terbarukan yang akan dikaji dalam artikel ini adalah energi sel surya atau *solar cell*. Penggunaan sumber energi listrik dengan *solar cell* memiliki potensi sangat besar untuk digunakan dalam pengembangan sektor pariwisata di kota Ambon melalui penempatan penerangan pada titik-titik lokasi

pariwisata, seperti pantai Natsepa, pantai Lawena, pantai Namalatu, pantai Liang, pantai Pintu Kota, pantai Santai, pantai Nanseri, permandian Air Panas Hatusua.

Dampak tidak adanya penerangan membuat kegelapan meliputi sepanjang jalan menuju lokasi pariwisata tersebut di malam hari. Akhirnya, masyarakat menjadi segan dan jarang mengunjungi lokasi wisata pada malam hari karena faktor penerangan yang belum memenuhi harapan masyarakat untuk menikmati keindahan pantai pada malam hari. Pengunjung pariwisata di kota Ambon lebih memilih mengunjungi lokasi wisata pada hari libur dan di siang hari, sedangkan pada malam hari mereka mengunjungi mall-mall atau pusat perbelanjaan yang ada di kota Ambon.

Pemanfaatan energi *solar cell* pada beberapa lokasi wisata di kota Ambon harus dilakukan karena belum ada penerangan menuju lokasi-lokasi pariwisata itu, dan banyaknya kebutuhan penerangan di dalam lokasi pariwisata tersebut. Hal ini sejalan dengan pendapat (Alifdini et al., 2018), yang mengemukakan bahwa aktivitas pariwisata yang tinggi, memungkinkan permintaan listrik yang tinggi juga. Hal inilah yang melatarbelakangi penulisan artikel ini, yaitu untuk menunjukkan manfaat penggunaan energi matahari atau *solar cell* sebagai energy baru terbarukan untuk pengembangan pariwisata di kota Ambon

2. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut (Abubakar Lubis 2009), Energi Matahari memasok energi ke bumi dalam bentuk radiasi. Tanpa radiasi dari matahari, maka kehidupan di bumi tidak akan berjalan. Setiap tahunnya ada sekitar 3.9 x 1024 Joule ~ 1.08 x 1018 kWh energi matahari yang mencapai permukaan bumi Artinya, energi yang diterima bumi dari matahari adalah 10.000 kali lebih banyak dari permintaan energi primer secara global tiap tahunnya, dan lebih banyak dari cadangan ketersediaan keseluruhan energi yang ada di bumi.

Intensitas radiasi matahari di luar atmosfir bumi tergantung pada jarak antara bumi dengan matahari. Sepanjang tahun, jarak antara matahari dengan bumi bervariasi antara 1,47 x 108 km sampai 1,52 x 108 km. Akibatnya, irradiance Gsc berfluktuasi antara 1.325 W/m^2 sampai 1412 W/m^2.

Nilai konstan ini bukanlah besarnya radiasi yang sampai dipermukaan bumi. Atmosfir bumi mereduksi atau mengurangi radiasi matahari tersebut melalui proses pemantulan, penyerapan (oleh ozon, uap air, oksigen dan karbon dioksida) dan penghamburan (oleh molekul-molekul udara, partikel debu atau polusi). Untuk cuaca yang cerah pada siang hari, irradiant yang mencapai permukaan bumi adalah 1.000 W/m^2. Nilai ini relatif terhadap lokasi. Insolasi (energi radiasi) maksimum terjadi pada hari yang cerah namun berawan sebagian. Ini karena pemantulan radiasi matahari oleh awan sehingga insolasi (energi radiasinya) dapat mencapai 1.400 W/m^2 untuk periode yang singkat

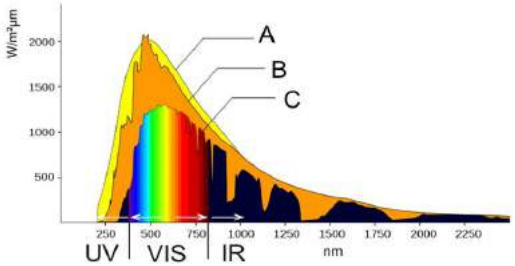
Pancaran matahari merupakan radiasi elektromagnetik yang luar biasa banyak. Jika melihat kaitannya dengan sel surya yaitu perangkat pengkonversi radiasi matahari menjadi listrik, terdapat dua parameter penting dalam energi surya: *pertama*, intensitas radiasi, yaitu jumlah daya matahari yang datang kepada permukaan per luas area, dan *kedua*, karakteristik spektrum cahaya matahari. Energi surya terpancar sampai ke bumi berupa paket-paket energi yang disebut foton.Total kekuatan radiasinya mencapai 3,83 x 1023 kilowatt (kW). Namun demikian, sebagian besar dari radiasi ini hilang di angkasa. Radiasi surya dipancarkan dari *fotoshpere* matahari pada temperatur 6000 K, yang memberikan distribusi spektrumnya mirip dengan distribusi *spectrum black body*.

2.1. Spektrum Radiasi Matahari

Berlangsungnya proses fusi Matahari menyebabkan suhu meningkat hingga 15.000.000 K. Namun, spektrum sinar matahari yang dipancarkan didasarkan pada proses di lapisan luar matahari. Komposisi spektral dapat dijelaskan secara teoretis oleh apa yang disebut tubuh hitam dengan suhu permukaan 5777 K.

Dalam perjalanannya ke permukaan bumi, radiasi matahari melemah di atmosfer oleh hamburan dan penyerapan. Di sini, massa udara efektif secara optik tergantung pada sudut kejadian. Variabel AM (massa udara) telah diterima sebagai ukuran melemahnya radiasi di atmosfer.

Spektrum di luar atmosfer didefinisikan sebagai AM 0. Di sini ada intensitas radiasi rata-rata 1367 W / m2. AM 1 mengacu pada insiden tegak lurus ke permukaan bumi. (Boedecker 2018)



Sumber : Boedecker, 2018

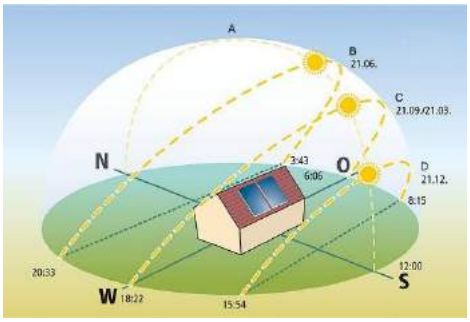
Gambar 1. Intensitas radiasi spektral dipengaruhi oleh atmosfer Bumi

A = Spektrum radiator benda hitam (T = 5777 K)
B = Spektrum matahari di luar atmosfer bumi (AM 0)
C = Spektrum matahari di permukaan tanah (AM 1,5)
UV = Radiasi ultraviolet
VIS = Radiasi yang terlihat
IR = Radiasi infra merah

2.2. Ketersediaan Radiasi Matahari

Kecenderungan sumbu Bumi sehubungan dengan orbit bumi di sekitar matahari, mengakibatkan

kemampuan sinar matahari pada permukaan bumi ditentukan oleh lokasi geografis masing-masing penyerap matahari.



Sumber : Boedecker, 2018

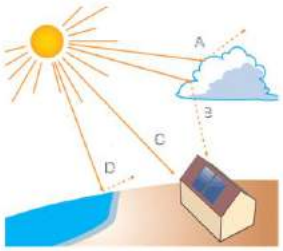
Gambar 2. Jalur Matahari di Langit pada Musim yang berbeda (sumber: DGS)

Durasi sinar matahari dan sudut puncak maksimum tunduk pada fluktuasi musiman.Proses ini, serta awan dan bayangan lokal, menyebabkan perbedaan musiman yang jelas dalam ketersediaan radiasi matahari yang dapat digunakan dalam setahun.

2.3. Komponen Radiasi Global

Radiasi global mengacu pada jumlah total radiasi matahari yang jatuh di permukaan. Hal Ini terdiri atas radiasi langsung dan difus. Asal usul komponen radiasi ini diilustrasikan pada Gambar 4.8. Radiasi sebagian dipantulkan dan disebarkan oleh awan. Di sekitar badan air, jumlah pantulan yang signifikan dapat sampai ke permukaan.

Secara keseluruhan, komponen radiasi difus mungkin 50% dan lebih banyak, tergantung pada cuaca dan kondisi lingkungan. Total tahunan radiasi global yang sering dinyatakan dalam peta radiasi adalah diajukan dari komponen langsung dan difus. (Boedecker 2018)



Sumber : Boedecker, 2018

Gambar 3. Komponen Radiasi

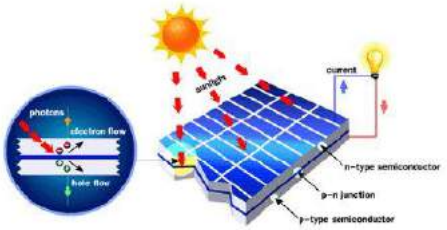
A = Refleksi, hamburan
B = Radiasi difus
C = Radiasi langsung
D =Refleksi

2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan fotovoltaik, dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Fotovoltaik mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Pemusatan energi surya menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor.

2.5. Sel Surya Fotovoltaik

Sel surya disusun dengan menggabungkan silikon jenis p dan jenis n. Silikon jenis p adalah silikon yang bersifat positif akibat dari kekurangan elektron sedangkan silikon jenis n adalah silikon yang bersifat negatif akibat dari kelebihan elektron. Ketika menerima (dikenai) radiasi surya (berupa foton) pada keduanya (silikon jenis p dan n) terbentuk positif (hole) dan negatif (elektron). Hal ini menyebabkan terciptanya pengkutuban (polarisasi) dengan hole bergerak menuju silikon jenis n. Dengan menyambungkan kedua jenis silikon melalui suatu penghantar luar, maka terjadi beda potensial antara keduanya dan mengalirkan arus searah seperti pada gambar di bawah ini. (Abubakar Lubis 2009)

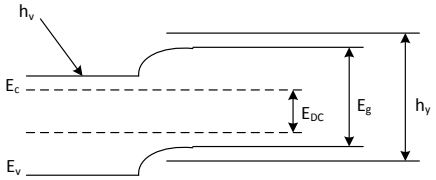


Sumber : teknologisurya.wordpress.com, 2018

Gambar 4. Prinsip Sel Fotovoltaik

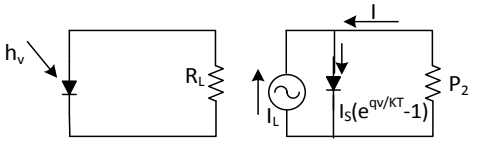
2.6. Karakteristik Arus - Tegangan

Untuk menurunkan atau mendapatkan karakteristik arus-tegangan, kita harus memerhatikan diagram pita energi dari suatu p-n junction yang kena radiasi surya, seperti pada gambar 5 dan rangkaian ekivalen gambar 6.



Sumber: Abubakar Lubis, 2009

Gambar 5. Diagram Pita Energi



Sumber : Abubakar Lubis, 2009

Gambar 6. Rangkaian Ekivalen Fotovoltaik

Karakteristik arus (I) dan tegangan (U) listrik sel surya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6., diperoleh dengan menggunakan alat ukur yang disebut I-U *curve tracer unit*. Dengan alat tersebut dapat diketahui parameter-parameter keluaran sel surya seperti, arus hubung-singkat (Isc), tegangan listrik rangkaian-terbuka (Voc), arus dan tegangan listrik maksimum, Im dan Vm, serta konversi efisiensi sel (Ș). Perkalian parameter Im dan Vm akan menghasilkan daya maksimum (Pm) keluaran sel surya. Dengan alat yang sama dapat diketahui pula temperatur sel dan intensitas (radiasi) cahaya yang datang pada permukaan sel saat pengukuran. Nilai Isc diperoleh pada saat tegangan listrik sel surya sama dengan nol (U=0), sebaliknya Voc diperoleh pada saat sel surya pada kondisi rangkaian terbuka (I=0). (Boedecker 2018)

Perhitungan daya listrik dari titik pengukuran kurva karakteristik I-U diperoleh dari :

$$P = U.I \quad \text{.....} (1)$$

Efiseinsi dihitung dengan persamaan :

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_R} \quad \text{.....} (2)$$

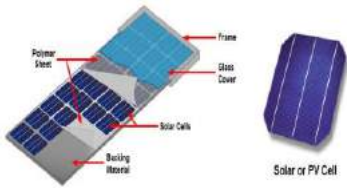
2.7. Teknologi Sel Fotovolatik

Bermacam-macam teknologi telah diteliti oleh para ahli di dunia untuk merancang dan membuat fotovoltaik yang lebih baik, murah dan efisien.

Berikut disampaikan beberapa generasi teknologi sel surya.

1. Generasi pertama Kristal (*single* Kristal)

Konfigurasi normal untuk sel fotovoltaik terdiri atas p-n junction mono kristal silikon materi mempunyai kemurnian yang tinggi yaitu 99,999%. Ditumbuhkan dengan sistem yang paling terkenal metode Czochralski. Hasil berbentuk silinder dengan panjang 12 cm, diameter 2-5 inchi, alat pemotong yang terbaru adalah gergaji yang mampu memotong dua sisi sekaligus dengan kapasitas 4000 wafer per jam (Energie Nouvella Enviroment/ENE) Belgia. NEDO, Jepang telah berhasil menurunkan ketebalan wafer 250 mikrimeter ke 30-50 mikrometer. Wafer ini menjadi material dasar untuk pembuatan sel fotovoltaik berupa tipe p-n junction dengan difusi, ion *implantation.* (Abubakar Lubis 2009)



Sumber : www.wikikomponen.com, 2018

Gambar 7. Sel Surya

2. Generasi kedua (Polikristal)

Material mono kristal harga perkilo gramnya masih mahal, untuk menurunkan harga material, dikembangkan material lain yang disebut polikristal. Pembuatan wafer dengan material ini menggunakan metode silikon, kemudian dipotong dengan ukuran 40 x 40 cm^2. Efisiensi modul fotovoltaik polikristal yang komersial dicapai 9,5% oleh Kyocera telah memproduksi modul dengan kapasitas 55 Wp yang terdiri dari 36 sel berukuran 10 x 10 cm^2, sedangdikembangkan sel dengan ukuran 15 x 15 cm^2 yang menghasilkan daya sebesar 100 Wp dengan efisiensi 15%.

3. METODOLOGI

Metode pengambilan data yang diuraikan ini merupakan parameter-parameter yang saling berkaitan. Oleh karena itu, jenis-jenis data tersebut dapat dikategorikan sebagai data primer.

Tahapan pengambilan jenis-jenis data tersebut dapat dilakukan dan dijelaskan secara rinci.

Pada penelitian ini, jenis-jenis data yang dibutuhkan dalam proses penelitian sampai mendapatkan hasil analisis adalah sebagai berikut :

- Jumlah lokasi pariwisata di kota Ambon
- Jumlah titik penempatan penerangan di setiap lokasi pariwisata
- Besar daya listrik setiap titik penerangan

Dalam penelitian ini populasi sampel yang digunakan dapat dilihat dari suatu karakteristik lokasi pariwisata. jika karakteristiknya sama, maka data yang digunakan tersebut dapat mewakili lokasi yang lain.

Metode yang digunakan dalam analisis yaitu perbandingan penggunaan energi listrik dari sumber PLN dengan sumber energi hemat listrik atau (LTSHE).

Lokasi wisata yang menjadi objek penelitian adalah Pantai Natsepa di desa Suli dan Permandian Air Panas Hatusua di desa Tulehu. Kedua tempat wisata ini dipilih dengan alasan bahwa kedua tempat wisata ini yang paling banyak dikunjungi oleh wisatawan manca negara maupun wisatawan lokal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemanfaatan energi baru terbarukan khususnya tenaga surya menjadi salah satu alternative yang sangat tepat, karena sifatnya gratis dan berasal dari alam. Untuk pengembangannya membutuhkan teknologi yang tepat dan sangat praktis. Penggunaan tenaga surya yang dimaksud untuk memenuhi kebutuhan penerangan di lokasi penelitian yaitu wisata Pantai Natsepa di desa Suli dan Permandian Air Panas Hatusua di desa Tulehu, Kabupaten Maluku Tengah terdiri dari beberapa komponen yang mudah dan praktis untuk di install.

4.1. Gambaran Umum dan Karakteristik Lokasi Penelitian.

Sektor pariwisata dikembangkan di seluruh belahan dunia, termasuk Maluku, karena memiliki beberapa manfaat, diantaranya meningkatkan devisa Negara, memperluas lapangan kerja, serta meningkatkan kesejahteran masyarakat. Potensi wisata yang dapat dikembangkan di Maluku yang berada di

bagian timur Indonesia adalah wisata pantai dan pemandian air panas.

Maluku yang diresmikan pada tanggal 7 September 1575 ini, memiliki wilayah pantai yang masih alami dan indah. Potensi alamnya memiliki keunikan dan daya tarik yang besar untuk para wisatawan domestik dan mancanegara. Namun perlu ada pengembangan dari unsur infrastruktur, yaitu pemanfaatan energi baru terbarukan melalui energi *solar cell* untuk penerangan di lokasi wiisata dan sekitarnya. Berikut adalah deskripsi tentang lokasi-lokasi wisata di Maluku, yang sekaligus menjadi lokasi penelitian.

1. Pantai Natsepa.

Pantai Natsepa berlokasi di Provinsi Maluku Tengah , tepatnya di desa Suli yang berada di pulau Ambon. Pantai ini adalah salah satu lokasi wisata yang sangat terkenal dan banyak dikunjungi oleh wisatawan domestik dan mancanegara. Pantai Natsepa sendiri memiliki potensi alam yang menarik. Jadi, para wisatawan dapat menikmati keindahan alamnya, juga menikmati berbagai kuliner yang berada di sepanjang jalan pantai Natsepa.

2. Permadian Air Panas Hatusua.

Permandian air panas Hatusua berlokasi di desa Tulehu, Kecamatan Salahutu, kabupaten Maluku Tengah. Lokasi wisata ini terkenal sebagai salah satu tempat wisata yang biasanya dikunjungi pada malam hari, baik hari biasa, mapun hari libur. Pengunjung permandian air panas biasa datang untuk melakukan terapi bagi kesehatan tubuh.

Hasil observasi menunjukkan bahwa para wisatawan mengunjungi lokasi wisata Pantai Natsepa paling banyak dilakukan pada siang hari, sedangkan Permandian Air Panas biasa dikunjungi pada sore hingga malam hari.

4.2. Implikasi Pengembangan Energi Baru Terbarukan terhadap Pariwisata

1. Daya Tarik Wisata (*Attraction)*

Pantai Natsepa memiliki kekayaan alam, pasir putih, serta keadaan pantai yang bersih dan indah. Kuliner yang tersedia merupakan ciri khas yang dapat dinikmati oleh para wisatawan, misalnya rujak Natsepa, sagu gula, kepala muda dll.

Lokasi permandian air panas Hatusua Tulehu, memiliki sumber air panas serta ketersediaan kuliner yang juga dapat dinikmati oleh para pengunjung. Ciri khas dari tempat wisata para pengunjung dapat melakukan terapi air panas bagi kesehatan tubuh manusia. (Alfriani Maria Frdinandus 2014).

2. Aksesibilitas (*Accesibility)*

Aksesibilitas dalam mencapai daya tarik wisata Pantai Natsepa dan Permandian Air Panas dapat dilihat dari kondisi jalan yang bagus dan jarang terjadinya hambatan kemacetan, serta jarak dan waktu tempuh. Jarak dan waktu tempuh ke Pantai Natsepa ± 35 menit dari pusat kota Ambon, karena jaraknya hanya 18 km dari pusat Kota. Selanjutnya aksesibilitas ke Permandian Air Panas dapat di tempuh ± 1 Jam dengan jarak tempuh 30 km dari pusat kota Ambon.

3. Fasilitas (*Amenities*)

Fasilitas yang terdapat di kawasan wisata Pantai Natsepa dan Permandian Air Panas yaitu adanya area parkir yang cukup luas, toilet umum, penyewaan ban renang, penyewaan banana boat, dan lain-lainnya.

4. Sarana Prasarana (*Acilarries*)

Sarana prasarana pendukung yang terdapat di Pantai Natsepa dan Permandian Air Panas yaitu tersedianya warung-warung (kuliner lokal), penjualan souvenir, penginapan, serta air bersih. Terhadap pengembangan energi baru terbarukan, misalnya penggunanan energi listrik dengan menggunakan sumber energi alternatif seperti matahari dan angin sama sekali belum dimanfaatkan secara optimal, sekalipun sumber-sumber tersebut tersedia dengan gratis.

Pada penelitian ini data-data yang diambil berupa pemakaian daya listrik pada beberapa tempat wisata yaitu wisata Pantai Natsepa di desa Suli dan Permandian Air Panas Hatusua di desa Tulehu, Kabupaten Maluku Tengah. Pemakaian daya listrik pada lokasi wisata Pantai Natsepa terdapat 48 titik usaha yang menggunakan daya listrik PLN sebesar 660 watt, sedangkan di Permandian Air Panas sebesar 2025 watt. Penggunaan bola lampu rata-rata 15 watt per bola lampu.

4.3. Besar Daya Listrik dengan Menggunakan Energi Baru Terbarukan

Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di lokasi wisata Pantai Natsepa dan Permandian Air Panas Tulehu dapat dilakukan tanpa mengggunakan sumber listrik PLN. Berdasarkan jumlah lokasi yang digunakan sebagai tempat pengunjung melakukan aktivitas wisatanya, maka untuk mengurangi penggunaan sumber listrik PLN, solusi yang dapat direkomendasikan adalah menggunakan lampu tenaga surya hemat energi (LTSHE).

Satu set lampu tenaga surya hemat energi terdiri atas 5 komponen, yaitu modul surya dengan kapasitas 20 Wp, 3 buah bola lampu Ligth Emiting Dioda (*ligth bulb*) dengan kapasitas 3 watt, 1 buah remote kontrol, 3 buah kabel penghubung sepanjang 5 meter, pusat jaringan (*charging hub*), USB kabel hub dan *mobile phone charging hub*. Secara skematik lampu tenaga surya hemat energi dipasang seperti pada gambar di bawah ini.



Sumber : Lory Marcus Parera, 2018

Gambar 8. Lampu Tenaga Surya Hemat Energi

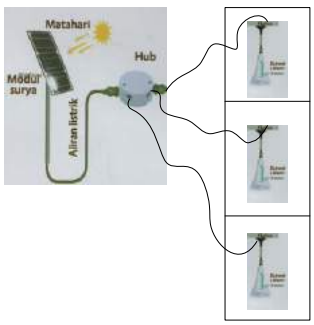
Hasil pengambilan data, daya listrik yang digunakan pada lokasi wisata Pantai Natsepa sebesar 660 watt. Daya listrik ini sebagian besar digunakan sebagai penerangan pada setiap tempat penjualan kuliner, sedangkan daya listrik yang digunakan pada lokasi Permandian Air Panas sebesar 2005 watt. Jadi total daya pada kedua lokasi tersebut sebesar 2665 watt. Semua kebutuhan daya ini di suplay dari sumber listrik PLN terhadap 59 titik lokasi yang terdiri dari 48 titik di pantai Natsepa dan 11 titik di permandian Air Panas.

4.4. Perbandingan daya LTSHE dengan sumber listrik PLN.

Sumber listrik PLN menyuplai daya pada kedua tempat wisata mencapai 2665 waat tersebat pada 59 titik di mana pengunjung melakukan aktivitas wisata, dan menggunakan lampu tenaga surya hemat energi, satu paket LTSHE terdiri atas 3 buah bola lampu dengan masing-masing daya sebesar 3 waat.

Jika satu titik pada lokasi wisata menggunakan satu buah bola lampu LTSHE, maka pada keseluruhan 59 titik dapat menggunakan 19 paket LTSHE, karena satu paket terdiri atad 3 buah bola lampu masing-masing 3 watt. Total daya dengan menggunakan LTSHE untuk mensuplai daya sebesar 171 watt. Dengan menggunakan lampu LTSHE, telah menghemat daya sebesar 2495 watt atau hemat energi listrik sebesar 93,58 %.

4.5. Spot-spot panel pada lokasi wisata



Sumber : Lory Marcus Parera, 2018

Gambar 9. Spot Panel Surya Pada Lokasi Wisata

Pada gambar di atas, satu spot panel surya dengan tiga buah lampu dapat mewakili satu stand tempat wisata di mana terdapat tiga lokasi yang digunakan sebagai tempat berjualan. Dengan demikian ada terdapat 19 paket panel surya untuk menerangi 59 titik tempat usaha yang akan dipasang dan disesuaikan dengan masing-masing lokasi.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Lokasi wisata pantai Natsepa dan Permandian Air Panas, memiliki daya tarik, aksesibilitas, fasilitas dan sarana prasarana dengan memanfaatkan sumber energi baru terbarukan.
2. Total daya pada kedua lokasi tersebut sebesar 2665 watt tersebar pada 59 titik dengan sumber listrik berasal dari PLN.
3. Kedua lokasi wisata tersebut direkomendasikan menggunakan lampu tenaga surya hemat energi (LTSHE) dan dapat mensuplai daya hanya sebesar 171 watt.
4. Menggunakan lampu tenaga surya hemat energi telah menghemat daya sebesar 2495 waat dengan penghematan energi listrik sebesar 93,58 %.

DAFTAR PUSTAKA

Abubakar Lubis, dkk. 2009. *Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik.* Indonesia.

Alfriani Maria Frdinandus, dkk. 2014. "Studi Pengembangan Wisata Bahari untuk Mneingkatkan Kunjungan Wistawan di Pantai Natsepa Kota Ambon Provinsi Maluku." *Destinasi Pariwisata.*

Aliffini, I. 2018. "Analysis Of Ocean Waves In 3 Sites Potential Areas For Renewable Energy Development In Indonesia." *Ocean Engineering* 34-42.

Anwar Ilmar Ramadhan, dkk. 2016. "Analisis Sedain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP." *http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik.*

Boedecker, Kristian. 2018. *Experiment Instruction Solar Modul Measurement.* Humburg: Gunt.

Celik, A., N. 2003. "Long-Term Energy Output Estimation for Photovoltaic Energy Systems using Synthetic Solar Irradiation Data, Amsterdam, Journal of Energi."

Graziano, M. 2017. "Energy Research & Social Science A Transformational Paradigm For Marine Renewable Energy Development." *Chemical Physics Letters* 23: 136-147.

https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/

https://www.wikikomponen.com/pengertian-solar-cell-atau-sel-surya-dan-prinsip-kerjanya/

White, J.R. 2007. "Comparing Solar Energy Alternatives. New York. International Journal of Energy Research." 39-52.

POTENSI ENERGI TERBARUKAN DI KABUPATEN KEDIRI PROPINSI JAWA TIMUR

Oleh:
Nugraho Sistu Prabintoro
Madrasah Mualimin Yogyakarta

Abstrak

Energi Terbarukan (Renewable) adalah energi yang dapat terus menerus dipakai dengan jumlah yang dapat diperbarui sehingga tidak pernah habis. Jawa Timur khususnya Kabupaten Kediri memiliki potensi sumber energi terbarukan pembangkit listrik, antara lain energi mikrohidro, gelombang, dan surya. Energi terbarukan pembangkit listrik sebagai energi input pembangkit listrik ada 7, yaitu air, angin, biomassa, biogas, panas bumi, matahari, dan gelombang laut. Sumber energi biomassa dapat berupa sampah hasil pertanian dan sampah rumah tangga. Kebijakan pengembangan energi terbarukan dan konservasi energi adalah suatu konsep untuk mewujudkan sistem penyediaan dan pemanfaatan energi berkelanjutan yang dapat mendorong tercapainya pembangunan nasional berkelanjutan melalui pemanfaatan energi terbarukan yang optimal, penggunaan teknologi energi yang efisien, dan membudayakan pola hidup hemat energi. Yang dimaksud dengan pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan yang dapat memenuhi kebutuhan nasional saat ini serta mampu mengkompromikan dengan kebutuhan generasi yang akan datang. Untuk mencapai tujuan ini perlu penerapan kewajiban bagi pelaku energi, untuk memanfaatkan energi terbarukan (renewable energy obligation), khususnya di sektor ketenagalistrikan dan kewajiban pelaku energi untuk melakukan efisiensi energi.

Kata Kunci : Jawa Timur, Kediri, Potensi, Energi Terbarukan

Pendahuluan

Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) 210 Ketergantungan pada minyak bumi masih cukup besar dan dengan mempertimbangkan cadangan minyak bumi yang dimiliki oleh Indonesia serta sifat energi fosil yang tidak dapat diperbarui, maka ketergantungan pada minyak bumi harus segera diturunkan dan mengganti kedudukan minyak bumi dengan sumber energi alternatif lainnya sebagai salah satu langkah diversifikasi energi. Dengan demikian, jika tingkat produksi minyak

bumi masih seperti saat ini dan penemuan cadangan baru tidak ada, maka cadangan minyak bumi tersebut akan habis dalam 10 tahun.

Aktivitas pembangunan memerlukan modal sumberdaya alam. Pembangunan secara umum bertujuan untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi, dan hal ini akan memacu semakin cepatnya laju eksploitasi terhadap sumberdaya alam yang pada akhirnya akan mengurangi ketersediaan sumberdaya alam tersebut. Dalam pengertian sederhana, sumberdaya (resources) dapat diartikan sebagai segala sumber persediaan yang secara potensial dapat didayagunakan. Dari sudut pandang ekonomi sendiri, sumberdaya mengandung arti sebagai suatu masukan (input) dalam suatu proses produksi yang dapat menghasilkan produk yang bermanfaat, baik barang maupun jasa.

Jawa Timur mempunyai potensi minyak dan gas bumi yang cukup besar. Pemakaian gas alam sampai saat ini umumnya di dominasi oleh industri -industri besar, dan pendistribusiannya sementara ini masih terbatas hingga daerah Probolinggo. Untuk metode pendistribusiannya dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan sistem botol ataupun dengan sistem jaringan pipa. Sumber gas alam untuk memenuhi kebutuhan gas di Jawa Timur diambil dari daerah Pagerungan, Terang/Sirasun, Muriah, Wunut Sidoarjo dan S. Saubi.

Hasil dari penambangan gas alam terdiri dari beberapa macam komposisi gas yaitu metana, etana, propana, butana serta gas - gas lain Dari beberapa tambang gas tersebut telah terdapat beberapa perusahaan yang menangani baik dari perusahaan domestik maupun perusahaan asing. Potensi Energi Panas Bumi di Jawa Timur berdasarkan data Direktorat Jenderal Inventarisasi Sumber Daya Mineral tahun 2004 sebesar 1.144 Mwe, tersebar di beberapa Kabupaten seperti Pacitan, Ponorogo, Madiun, Mojokerto, Malang, Sumenep, Probolinggo, Banyuwangi, dan lain-lain. Potensi sumber daya energi terbarukan, seperti; matahari, angin dan air, ini secara prinsip memang dapat diperbarui, karena selalu tersedia di alam. Namun pada kenyataannya potensi yang dapat dimanfaatkan adalah terbatas. Tidak di setiap daerah dan setiap waktu; matahari bersinar cerah air jatuh dari ketinggan dan mengailr deras serta angin bertiup dengan kencang disebabkan oleh keterbatasan-keterbatasan tersebut, nilaii sumber daya energi sampal saat ini belum dapat begitu menggantikan kedudukan sumber daya energi fosil sebagai bahan baku produksi energi listrik. Oleh sebab itu energi terbarukan ini lebih tepat disebut sebagai energi aditif, yaitu sumber daya energi tambahan untuk memenuhi peningkatan

kebutuhan energi listrik, serta menghambat atau mengurangi peranan sumber daya energi fosil.

Uraian di atas mengandung arti bahwa dalam penggunaan sumberdaya alam untuk pembangunan harus memperhatikan konservasi sumberdaya alam atau upaya untuk melestarikannya, keseimbangan alam harus terjaga dan timbulnya dampak negatif harus ditekan sekecil mungkin. Untuk mendukung keberhasilan usaha tersebut, maka penting diketahui dnegan baik mengenai Sumberdayadan kondisi sumberdaya alam yang ada. Dengan kata lain perlu diketahui besarnya sumberdaya alam yang telah digunakan.

Karakteristik Wilayah Kabupaten Kediri

Posisi geografis Kabupaten Kediri terletak antara 111^0 47'05" sampai dengan 112^0 18'20" bujur Timur dan 7^0 36'12" sampai dengan 8^0 0'32" Lintang selatang . wilayah Kabupaten Kediri diapit oleh 5 kabupaten yaitu:

Sebelah Barat-Utara	: Kabupaten Nganjuk
Sebelah Utara-Timur	: Kabupaten Jombang
Sebelah Timur	: Malang
Sebelah Selatan	: Kabupaten Blitar
Sebelah Barat	: Kabupaten Nganjuk

Kondisi topografi terdiri dari dataran rendah dan pegunungan yang dilalui aliran sungai Brantas yang membelah dari Selatan ke Utara. Pada tahun 2005 suhu udara berkisar antara 230 C sampai 310 C dengan tingkat curah hujan rata-rata sekitar 19,81 mm per hari.

Secara Geografis Kabupaten Kediri terletak di belahan Selatan Propinsi Jawa Timur. Secara Ekologis, Wilayah Kabupaten Kediri diapit oleh dua Gunung yang berlawanan sifatnya, yaitu Gunung Kelud di Sebelah Timur yang bersifat Vulkanik dan Gunung Wilis di Sebelah Barat yang bersifat non vulkanik. di bagian tengah wilayah Kabupaten Kediri melintang aliran Sungai Brantas, yang membelah wilayah Kabupaten Kediri menjadi dua bagian dengan hamparan dataran rendah berupa daerah persawahan subur di sebelah timur sungai berantas.

Secara keseluruhan luas wilayah ada sekitar 138.605 ha, terdiri dari lahan sawah 47, 188 ha, lahan kering 91.386 ha dan sekitar 31 ha lahan lainnya yang secara adminisratif terdiri dari 26 Kecamatan, 343 Desa dan 1 Kelurahan. Kabupaten Kediri terbagi menjadi 2 wilayah yang dipisahkan oleh sebuah sungai yang cukup besar yaitu sungai Brantas. Wilayah Timur sungai merupakan dataran rendah yang sangat subur dengan jenis tanah latosol, andosol dan regosol dan sangat cocok untuk budidaya pertanian baupun perkebunan, sedangkan wilayah barat sungai merupakan unungan, tanah marginal kurang subur dengan jenis tanah alluvial dan

anyak dikembangkan untuk budidaya komoditas perkebun
kehutanan.

Tipe iklim di Kabupaten Kediri adalah tropis dengan dua musim ya
musim kemarau dan musim penghujan dengan jumlah bulan basah 7 dan
bulan kering 5. Pada saat musim penghujan curah hujan cukup tinggi yaitu
1.326 mm/tahun. Sedangkan suhu minimum 20,9° C dan suhu maksimum
34,5°C.

Tabel 1. Data Jumlah dan kepadatan Penduduk Kabupaten Kedir

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk	Luas Wilayah	Kepadatan Penduduk
1	Mojo	62,110	102.73	604 59
2	Semen	44,645	80.42	555 15
3	Ngadiluwih	71,109	41.85	1699 14
4	Kras	56,687	44.81	1265 05
5	Ringinrejo	47,683	42.38	1125 13
6	Kandat	52,709	51.96	1014 41
7	Wates	82,778	76.58	1080 93
8	Ngancar	44,486	94.05	473 00
9	Plosoklaten	65,835	88.59	743 14
10	Gurah	72,647	50.83	1429 22
11	Puncu	55,824	68.25	817 93
12	kepung	76,005	105.65	719 40
13	Kandangan	47,025	41.67	1128 51
14	Pare	153,461	86.42	1775 76
15	Kunjang	34,163	29.98	1139 53
16	Plemahan	53,946	47.88	1126 69
17	Purwoasri	59,264	42.5	1394 45
18	Papar	49,974	36.22	1379 73
19	Pagu	79,223	60.44	1310 77
20	Gampengrejo	82,346	38.59	2133 87
21	Banyakan	53,823	72.55	741 87
22	Grogol	43,349	34.5	1256 49
23	Tarokan	49,691	47.2	1052 78
JUMLAH		1,438,783	1386.05	25967 56

Penduduk Kabupaten Kediri sebanyak 1.406.076 jiwa terdiri dari 695.255 laki-laki dan 710.821 perempuan dengan penduduk usia kerja (10 tahun ke atas) sebanyak 1.172.997 orang. Sedangkan jumlah pekerja sebanyak 608.456 orang dan yang bekerja di sektor pertanian sebanyak 258.128 orang atau 42,42 %. Data jumlah penduduk pertengahan dan akhir tahun dihitung berdasarkan hasil regristrasi penduduk oleh Dinas catatan sipil dan kependudukan.Jumlah penduduk Kabupaten Kediri pada akhir tahun 2005 tercatat ada 1.438.783 jiwa. Ada penambahan 15.54

a, dibandingkan tahun 2004. Jumlah kelahiran dan kematian selisih 5.764 jiwa , masing-masing sebanyak 13.890 jiwa dan 8.126 jiwa . Selanjutnya dapat dihitung ada net migrasi sebanyak 9.785 jiwa. Ini berarti ada selisih positif antara penduduk yang datang dan keluar Kabupaten Kediri. Angka Net migrasi tahun 2005 ini lebih tiga kali lipat net migrasi tahun 2004 yang sebanyak 2.750 jiwa.

Produk Domestik Regional Brutto (PDRB) per kapita Kabupaten Kediri Tahun 2004 atas dasar harga berlaku sebesar Rp. 4.863.807,- dengan kontribusi terbesar dari sektor pertanian (40.75%), sektor perdagangan, hotel dan restaurant (24,01%), sektor Industri (12,13%), Jasa-jasa (11,39%), sektor keuangan, persewaan dan jasa persewaan (5,71%), angkutan dan komunikasi (2,96%), Bangunan (1,45%), pertambangan dan galian (0,56%). Fasilitas sarana dan prasarana yang ada sangat memadai terutama sarana jalan yang sangat vital bagi industrialisasi dan pengembangan wilayah pedesaan. Total panjang Jalan di Kabupaten Kediri 1.339,002 km, terdiri dari 44,639 km jalan negara, 71,463 km jalan propinsi dan 1.222,900 km jalan Kabupaten sedangkan listrik memiliki daya terpasang sebesar 378.382.854 Mw yang berasal dari pembangkit listrikPLN.

Sumberdaya Energi Terbarukan

Berdasarkan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD). Di Jawa Timur, telah banyak dilakukan studi tentang pembangkit listrik dengan energi altematif (sumber energi terbarukan), misa1nya sampah. Namun sampai saat ini masih terkendala oleh biaya investasi dan harga jual tenaga listrik. Apabila harga jual tenaga listrik secara bisnis sudah membaik dan biaya investasi sudah dapat ditekan, maka pembangkit dengan sumber energi altematif ini akan dapat menambah pasokan daya kebutuhan listrik di Jawa Timur. Dalam upaya pengurangan emisi, disamping penggunaan teknologi bersih lingkungan dan pengurangan pencemaran, penggunaan tenaga air perlu dioptimalkan. Pembangunan PLTA Kesamben (DAS Brantas) Malang sesuai studi kelayakan tahun 1997 dengan kapasitas 37 MW produksi tenaga listrik sebesar 66 GWH per-tahun perlu dipertimbangkan oleh Pemerintah untuk pembangunannya. Demikian juga PLTA Grindulu - Kali Grindulu Pacitan, yang sesuai Pre Feasibility Study tahun 1987 dengan kapasitas 16,28 MW.

Potensi pembangkit dengan sumber energi alternatif (non-konvensional) lainnya, misal : biomassa, tenaga surya, tenaga angin, mikrohidro, tenaga geiombang di masa mendatang dapat digunakan untuk daerah-daerah tertentu yang terpencil atau program listrik perdesaan. Pemanfaatan sumberdaya energi terbarukan agar pemakaiannya lestari dan

amah lingkungan perlu di lakukan konservasi energi yang be terbentuknya jaringan masyarakat hemat energi yang kuat u menggerakkan programprogram konservasi energi terutama dalam rangk operasionalisasi kebijakan harga energi berdasarkan mekanisme pasar; Terwujudnya peningkatan capacity building efisiensi energi pada setiap aktivitas dan jasa melalui peningkatan keahlian dan keterampilan manajemen energi; dan Menyebarluaskan informasi konservasi energi kepada masyarakat dan mendorong terlaksananya percepatan programprogram konservasi energi.

Merupakan suatu kenyataan bahwa kebutuhan akan energi, khususnya energi listrik di Indonesia, makin berkembang menjadi bagian tak terpisahkan dari kebutuhan hidup masyarakat sehari-hari seiring dengan pesatnya peningkatan pembangunan di bidang teknologi, industri dan informasi. Namun pelaksanaan penyediaan energi listrik yang dilakukan oleh PT.PLN (Persero), selaku lembaga resmi yang ditunjuk oleh pemerintah untuk mengelola masalah kelistrikan di Indonesia, sampai saat ini masih belum dapat memenuhi kebutuhan masyarakat akan energi listrik secara keseluruhan. Kondisi geografis negara Indonesia yang terdiri atas ribuan pulau dan kepulauan, tersebar dan tidak meratanya pusat-pusat beban listrik, rendahnya tingkat permintaan listrik di beberapa wilayah, tingginya biaya marginal pembangunan sistem suplai energi listrik (Ramani,K.V,1992), serta terbatasnya kemampuan finansial, merupakan faktor-faktor penghambat penyediaan energi listrik dalam skala nasional.

Selain itu, makin berkurangnya ketersediaan sumber daya energi fosil, khususnya minyak bumi, yang sampai saat ini masih merupakan tulang punggung dan komponen utama penghasil energi listrik di Indonesia, serta makin meningkatnya kesadaran akan usaha untuk melestarikan lingkungan, menyebabkan kita harus berpikir untuk mencari altematif penyediaan energi listrik yang memiliki karakter; dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian energi fosil, khususnya minyak bumi; dapat menyediakan energilistrik dalam skala lokal regional mampu memanfaatkan potensi sumber daya energi setempat, serta cinta lingkungan, dalam artian proses produksi dan pembuangan hasil produksinya tidak merusak lingkungan hidup disekitarnya.

Potensi energi terbarukan di Indonesia besar sehingga mempunyai peluang untuk dikembangkan. Dilihat dari perkembangannya, pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia, dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu :

1. energi yang sudah dikembangkan secara komersial (biomassa, panas bumi dan tenaga air);

energi yang sudah dikembangkan tetapi masih secara terbatas (energi surya, energi angin); dan
3. energi yang sudah dikembangkan, tetapi baru sampai pada tahap penelitian (energi samudera).

Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Untuk mewujudkan pembangunan ketenagalistrikan di Jawa Timur program yang akan dilaksanakan adalah : Penguasaan dan Pengembangan Aplikasi serta Teknologi Ketenagalistrikan. Program ini bertujuan pencarian, penemuan dan penerapan energi baru dalam rangka pemenuhan kebutuhan listrik untuk mendorong peningkatan kegiatan ekonomi desa-desa terpencil dan kepulauan serta peningkatan taraf hidup masyarakat.

Kegiatan utama :

1. Bantuan ketenaġalistrikan berupa Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) bagi masyarakat di perdesaan dan kepulauan;
2. Pengembangan jaringan listrik di perdesaan dan kepulauan;
3. Pengembangan energi terbarukan sebagai energi listrik bagi masyarakat di perdesaan dan kepulauan;

Kegiatan Penunjang :

1. Mendorong industri penunjang ketenagalistrikan dan memberikan peluang seluas-luasnya kepada pengusaha tenaga listrik daerah untuk berpartisipasi dalam usaha penunjang ketenagalistrikan;
2. Peningkatan kualitas Sumber Daya Manusia bidang ketenagalistrikan melalui sertifikasi kompetensi;
3. Mendorong lembaga perguruan tinggi daerah, lembaga penelitian daerah untuk berpartisipasi dalam penelitian, perencanaan dan pengembangan ketenagalistrikan.

Berdasarkan pengelompokkan potensi energi terbarukan dan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD), gambaran mengenai sumber energi terbarukan yang terdapat di Kabupaten Madiun, Nganjuk, dan Kediri di jelaskan secara rinci tiap masing-masing kabupaten.

Sumberdaya energi Surya dan angin

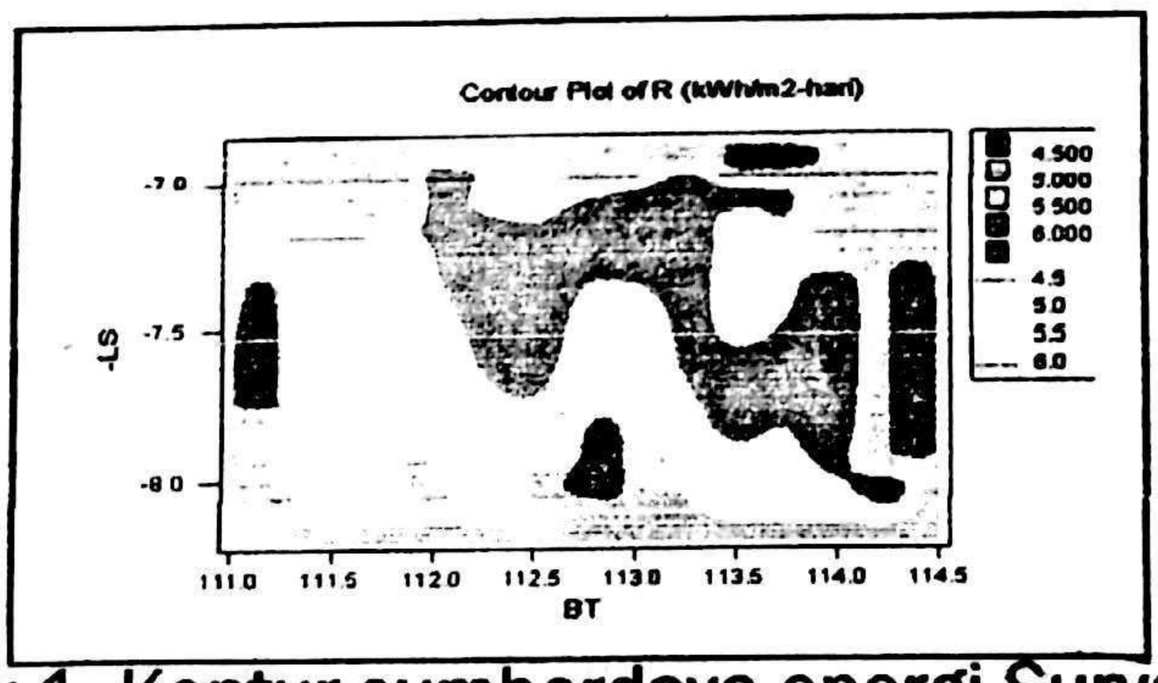
Sumberdaya energi surya yang tersedia di sejumlah lokasi dalam wilayah Kabupaten Kediri adalah besar. Sebagai contoh, besarnya insolasi surya di Kota Kediri lebih kurang 5,2 kWh/m^2/hari. Untuk memetakan potensi sumberdaya energi surya di dalam satu wilayah maka dilakukan penaksiran berdasarkan sehimpunan data tentang (1) persentase lama penyinaran dalam rentang waktu beberapa tahun, dan (2) letak geografis tiap lokasi di kabupaten Trenggalek. Data yang digunakan untuk akukan analisis di sini diperoleh dari Stasiun Meteorologi terdekat yang

erada di Lanud Iswahyudi. Stasiun Meteorologi Lanud Iswahyudi
105m dpl pada 07° 36' 30" LS, 111° 26' 00" BT. Data lama penyin
matahari dalam jam/hari menurut bulan dalam periode 1960 - 1981 (2
tahun) disajikan pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 2. Penyinaran Matahari - jam/hari

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nop	Des	Rata-rata
Rerata (Mean)	4,7	4,9	5,8	8,6	9,4	9,0	9,9	10,4	10,2	9,7	8,5	7,3	8,
Maksimum (Max)	6,0	7,0	8,1	11,0	10,3	10,5	11,0	11,0	11,0	10,4	10,0	9,0	8,
Minimum (Min)	4,0	2,0	2,0	6,0	8,0	7,0	9,0	9,0	9,0	9,0	6,5	6,5	7,

Berdasarkan data ini kemudian dibuat prediksi potensi sumberdaya energi surya yang bisa dimanfaatkan di seluruh lokasi kabupaten Kediri. Penaksiran dilakukan dengan memperhitungkan faktor letak geografis. Gambar berikut menyajikan kontur potensi sumberdaya energi surya di wilayah Kediri. Dari sajian kontur ini terlihat bahwa secara umum, sumberdaya energi surya di wilayah kabupaten adalah besar dan layak dikembangkan. Hal ini mudah dimengerti melalui pembandingan sederhana dengan konsumsi listrik tipikal rumah tangga yang hanya beberapa kWh per hari. Jadi potensi 4,5 kWh per meter persegi per hari adalah suatu potensi yang besar. Sayangnya upaya untuk memanfaatkan potensi yang besar ini hingga saat ini masih terkendala oleh mahalnya produk teknologi penuaian energi surya (sel PV).

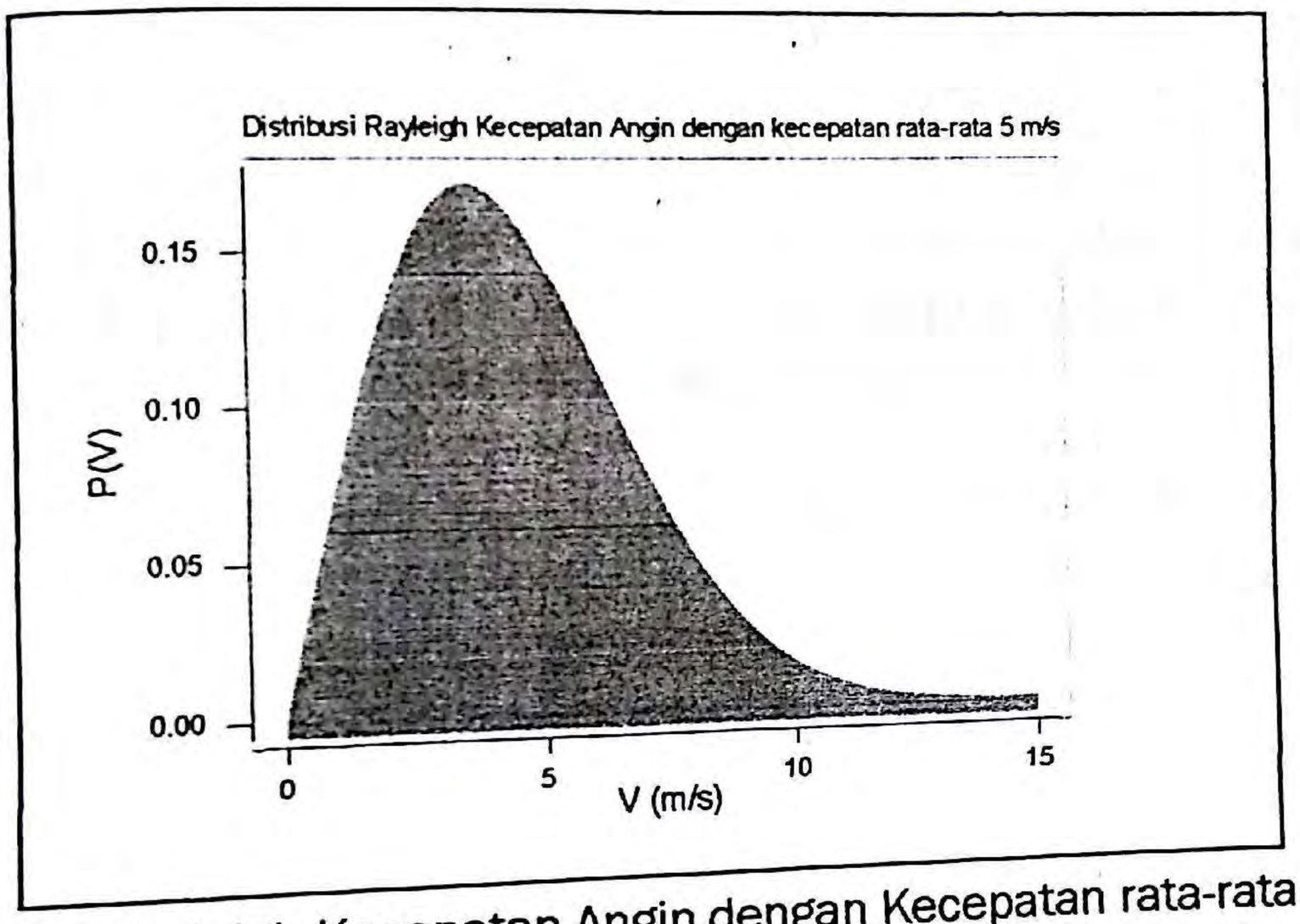


Gambar 1. Kontur sumberdaya energi Surya (kWh/m^2.hari)

Potensi sumberdaya energi angin di suatu lokasi sangat bergantung pada letak geografisnya. Dari hasil pengamatan di lapangan diperoleh gambaran bahwa kecepatan angin di sejumlah titik-titik sampel pengamatan yang merupakan kawasan tadah hujan ternyata tidak bagus. engukuran sesaat menggunakan anemometer portabel memberikan ha berbeda dari di wilayah Kediri, yaitu 2-3 m/detik pada ketinggian

permukaan tanah. Angka ini setara dengan 3,17-4,75 m/detik pada ketinggian 50 (dengan anggapan profil kecepatan angin mengikuti profil pangkat 1/7). Ini setara dengan rapat daya angin sebesar kurang dari 200 W/m^2, yang kalau dikelaskan menurut patokan yang biasa diterapkan di Amerika serikat, termasuk dalam kategori potensi yang "kurang".

Daya pada tabel klas rapat daya angin ditentukan dengan anggapan bahwa kecepatan angin terdistribusi Rayleigh (atau terdistribusi Weibull dengan k=2), rapat massa udara pada keadaan standar permukaan laut, dan ekstrapolasi vertikal kecepatan angin didasarkan pada hukum pangkat 1/7



Gambar 2. Distribusi Rayleigh Kecepatan Angin dengan Kecepatan rata-rata 5 m/s

Tabel 3. Klas rapat daya angin

Klas daya angin	Rapat Daya (W/m^2)	Kecepatan angin (m/s)	Sumberdaya
1	0-200	0 - 5,6	Kurang
2	200-300	5,6 - 6,4	Kecil
3	300-400	6,4 – 7,0	Sedang
4	400-500	7,0 – 7,5	Baik
5	500-600	7,5 -8,0	Sangat Baik
6	600-800	8,0-8,8	Sangat^2 Baik

Dengan anggapan tersebut maka daya rata-rata dihitung menggunakan rumus berikut:

$$_{rata} = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot \left[V_{rata-rata}\right]^3 . K_e$$

dengan:

$P_{rata\text{-}rata}$ adalah daya rata-rata dari angin (W).
ρ adalah rapat massa udara (1,225 kg/m^3).
$V_{rata\text{-}rata}$ adalah kecepatan rata-rata (m/s).
K_e adalah faktor pola energi (tanpa dimensi); faktor ini didefinisikan sebagai jumlah daya yang tersedia dalam angin dibagi dengan daya yang dihitung dari pemangkattigaan kecepatan rata-rata angin.

Selanjutnya, untuk memperoleh gambaran potensi energi angin dalam wilayah yang luas dilakukan prediksi menggunakan CFD, suatu program komputer yang menyelesaikan persamaan Navier-Stokes untuk memprediksi pola aliran. Data yang diperlukan untuk prediksi adalah rekaman dari stasiun pemantauan cuaca terdekat dengan lokasi yaitu Lanud Iswahyudi yang terletak pada 07°36'30" LS, 111° 26' 00" BT, elevasi: 105 m dpl. Data tersebut mencakup rentang waktu yang memadai dari 1960 - 1981 (22 tahun) dan dirangkumkan di bawah ini.

Tabel 4. Kecepatan Angin pada - m/det

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nop	Des	Rata-rata
Rerata (Mean)	4,3	3,9	3,6	3,5	3,9	5,1	6,1	5,2	7,0	5,1	4,5	3,7	4,8
Maksimum (Max)	7,7	6,2	5,1	5,0	7,0	8,0	9,0	9,0	9,8	9,0	7,0	6,2	6,4
Minimum (Min)	2,6	2,6	2,1	2,1	2,1	3,0	3,1	4,6	4,6	3,1	2,6	2,5	3,5

Keterangan:Kecepatan angin pada tabel di atas adalah kecepatan pada 10 m di atas permukaan tanah.

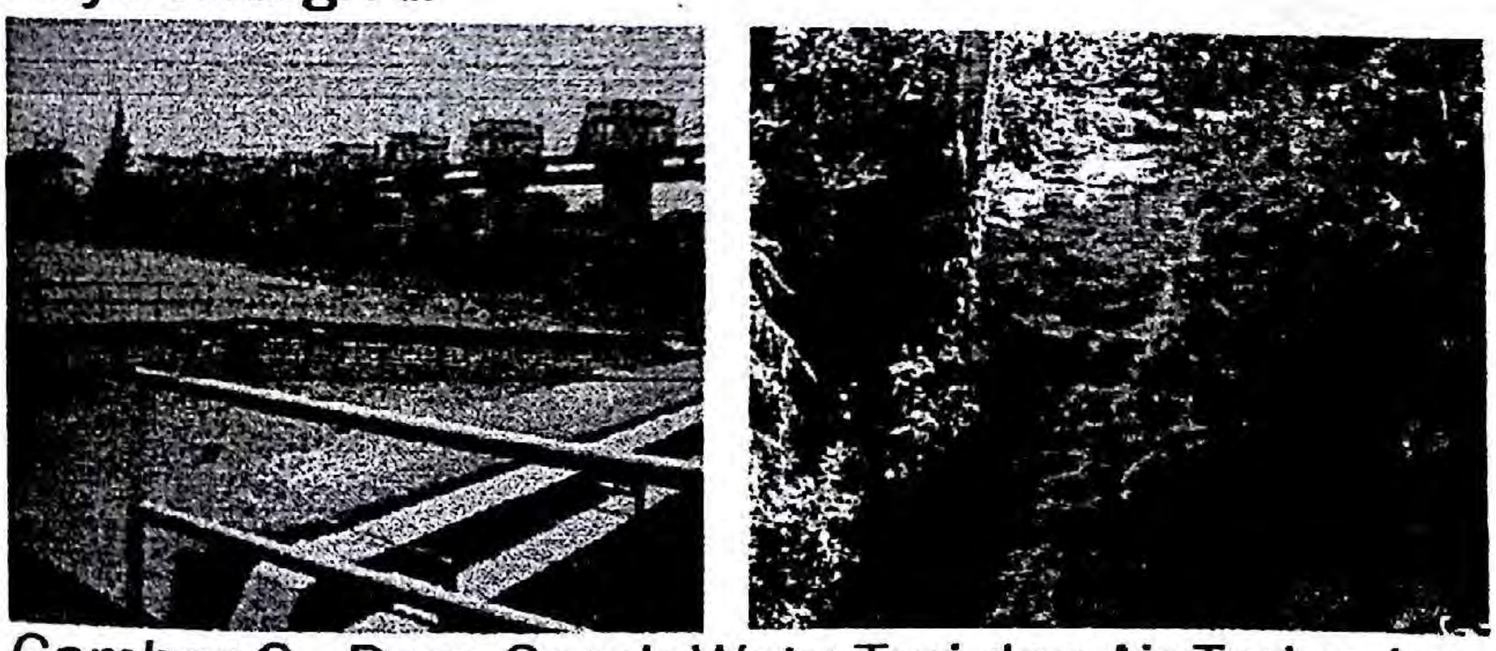
Hasil analisis dirangkum dalam bentuk tabel distribusi kecepatan angin di bawah ini. Kecepatan angin pada tabel tersebut adalah nilainya pada ketinggian 50 meter dari permukaan tanah. Angka 50 meter ini adalah suatu yang lazim diambil dalam kajian potensi sumberdaya energi angin *untuk pembangkitan listrik. Daerah yang secara umum dipandang layak* untuk kebanyakan penerapan turbin angin minimal masuk dalam klas 4. Daerah dengan klas 3 cocok hanya untuk pengembangan energi angin menggunakan turbin dengan ketinggian poros turbin 50 m atau lebih.

Dari hasil analisis ini bisa diperoleh gambaran yang ternyata tidak berbeda dari hasil pengamatan di lapangan bahwa bahwa potensi sumberdaya energi angin di wilayah Kabupaten Kediri secara umum masuk dalam klas 1 (kurang potensial). [Hanya ada satu lokasi di mana ditemukan potensi sumberdaya energi angin masuk dalam klas 3 ini yaitu di sek

[111,180 BT dan 7,464 LS. Di sekitar lokasi sini boleh jadi bisa dibangun turbin angin. Namun, sebelum hal tersebut dilakukan maka diperlukan kajian yang lebih teliti di sekitar lokasi ini melalui pengukuran dan pemantauan langsung di lokasi untuk selama 2 tahun atau minimal 1 tahun]. Sementara itu di sebagian besar lokasi sisanya potensi sumberdaya angin hanya masuk dalam klas 1 [dan beberapa lokasi masuk klas 2]. Di daerah dengan klas angin di bawah 2, potensi sumberdaya energi angin tidak layak dikembangkan untuk pembangkitan listrik.

Perlu dipahami bahwa hasil pemetaan tersebut menunjukkan adanya potensi sumberdaya sejauh kehandalan data yang mendasarinya. Peta tidak memperhitungkan keragaman kecepatan angin pada skala lokal, melainkan hanya menunjukkan daerah di mana sumber daya energi angin yang tinggi boleh jadi ditemukan. Misal, daerah berpermukaan kompleks (bisa diharapkan dijumpai di daerah berbukit-bukit atau bergunung-gunung) dengan klas 2 boleh jadi meliputi tempat tertentu yang memiliki sumber daya energi angin lebih tinggi. Hal sebaliknya juga bisa terjadi. Ini semua tergantung pula pada resolusi kisi-kisi perhitungan dalam simulasi. Untuk mengungkap kemungkinan ini lebih jauh di lokasi dengan klas angin 2 bisa dilakukan: (1) analisis yang jauh lebih teliti dari yang kini dilakukan dengan kisi-kisi perhitungan yang lebih halus (resolusi 1 km), atau (2) pengukuran dan pemantauan lokal langsung di titik-titik lokasi tersebut. Keduanya sudah tentu akan membutuhkan sumberdaya, termasuk biaya, yang tidak sedikit.

Sumberdaya Energi Air



Gambar 3. Dam Gerak Watu Turi dan Air Terjun Ironggolo

Asal ada air yang mengalir dan beda ketinggian, maka listrik dapat dibangkitkan. Dua syarat itulah kunci pembangkitan listrik bertenaga mikro hidro (PLTMH). PLTMH sangat cocok diterapkan di berbagai pelosok wilayah Indonesia karena hampir sepanjang tahun ketersediaan air melimpah.

Anggapan bahwa untuk membangkitkan listrik harus ada air terjun. Tidak selamanya demikian, Beda ketinggian dapat dibuat dengan membuat

intake (kolam penampung) dari sungai dan mengalirkannya kembali ... posisi yang tepat sehingga optimal. Lagipula tidak hanya air sungai, dan ... bendungan atau sumber mata air lainnya yang dapat dipergunakan untuk membangkitkan listrik, air PAM sekalipun bisa. "Intinya ada air dan beda ketinggian, tinggal teknologi turbin seperti apa yang efisien untuk dipaka...

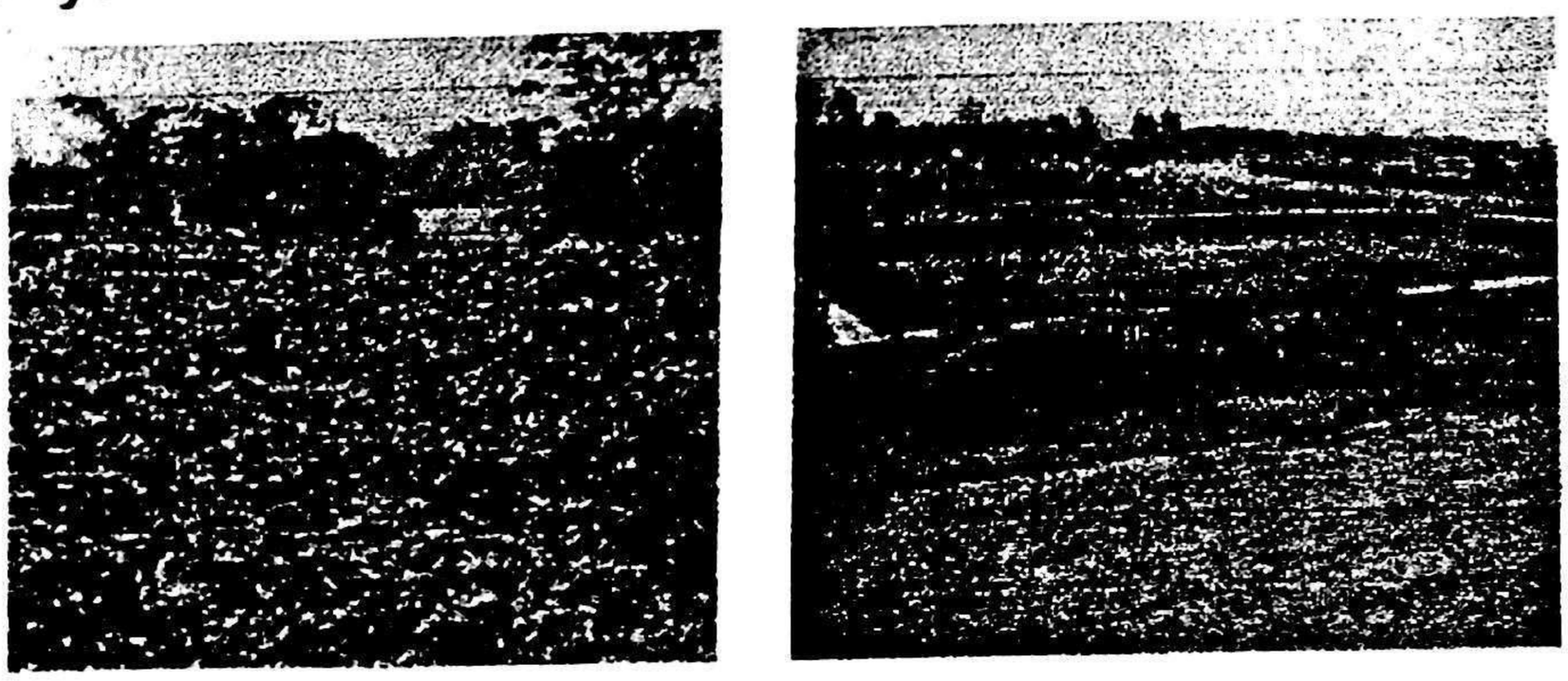
Sumberdaya Energi Panas Bumi

Gunung Kelud yang dalam waktu ke lapangan sedang dalam kondisi waspada merupakan salah potensi panas bumi yang ada di kabupaten Kediri. Walaupun demikian potensi dari gunung kelud tidak dapat di optimalkan karena beberapa hal, yaitu:

1. keaktifan gunung kelud yang tidak kontinyu
2. tidak tersedianya cadangan panas bumi di sekitar kawah
3. tidak ada sumber panas selai kawah gunung Kelud.

Sumberdaya Energi Biogas

Kabupaten Kediri mempunyai Tempat pembuangan Sampah yang besar, yaitu TPA Sekoto. Energi terbarukan lain yang dapat dihasilkan dengan teknologi tepat guna yang relatif lebih sederhana dan sesuai untuk daerah pedesaan adalah energi biogas dengan memproses limbah bio atau bio massa di dalam alat kedap udara yang disebut digester. Biomassa berupa limbah dapat berupa kotoran ternak bahkan tinja manusia, sisa-sisa panenan seperti jerami, sekam dan daun-daunan sortiran sayur dan sebagainya. Namun, sebagian besar terdiri atas kotoran ternak.



Gambar 5. Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sekoto, Kabupaten Kediri

Rata-rata penduduk di kabupaten Kediri menghasilkan sampah 3 ons per hari/kapita. Apabila dihitung banyaknya sampah di daerah tersebut dan tenaga listrik yang dihasilkan selengkapnya disajikan pada tabel 5.

Banyaknya sampah yang dihasilkan oleh Penduduk Kabupaten Kediri dan Potensi Energi

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk	Luas Wilayah	Kpadatan Penduduk	Banyaknya Sampah	MWH /Hari
1	Mojo	62,110	102.73	604.59	186330.00	0.2236
2	Semen	44,645	80.42	555.15	133935.00	0.1607
3	Ngadiluwih	71,109	41.85	1699.14	213327.00	0.2560
4	Kras	56,687	44.81	1265.05	170061.00	0.2041
5	Ringinrejo	47,683	42.38	1125.13	143049.00	0.1717
6	Kandat	52,709	51.96	1014.41	158127.00	0.1898
7	Wates	82,778	76.58	1080.93	248334.00	0.2980
8	Ngancar	44,486	94.05	473.00	133458.00	0.1601
9	Plosoklaten	65,835	88.59	743.14	197505.00	0.2370
10	Gurah	72,647	50.83	1429.22	217941.00	0.2615
11	Puncu	55,824	68.25	817.93	167472.00	0.2010
12	kepung	76,005	105.65	719.40	228015.00	0.2736
13	Kandangan	47,025	41.67	1128.51	141075.00	0.1693
14	Pare	153,461	86.42	1775.76	460383.00	0.5525
15	Kunjang	34,163	29.98	1139.53	102489.00	0.1230
16	Plemahan	53,946	47.88	1126.69	161838.00	0.1942
17	Purwoasri	59,264	42.5	1394.45	177792.00	0.2134
18	Papar	49,974	36.22	1379.73	149922.00	0.1799
19	Pagu	79,223	60.44	1310.77	237669.00	0.2852
20	Gampengrejo	82,346	38.59	2133.87	247038.00	0.2964
21	Banyakan	53,823	72.55	741.87	161469.00	0.1938
22	Grogol	43,349	34.5	1256.49	130047.00	0.1561
23	Tarokan	49,691	47.2	1052.78	149073.00	0.1789
JUMLAH		**1,438,783**	**1386.05**	**25967.56**	**4316349.00**	**5.179619**

Sumber: Kantor Dinas PU

Tabel 5, menunjukkan bahwa semakin banyak penduduk semakin banyak sampah yang dihasilkan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa empat 3 kecamatan yang berpotensi menghasilkan sampah banyak yang digunakan sebagai tenaga listrik. Ketiga kecamatan tersebut yaitu

Kecamatan Wates,Pare, Gampeng rejo. Namun jumlah sampah yang besar terdapat pada wilayah yang dijadikan Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Sampah tersebut merupakan kumpulan dari pasar-pasar dan penduduk daerah perkotaan.

Apabila dihitung secara keseluruhan, potensi sampah di Kabupaten Kediri untuk dijadikan potensi energi listrik adalah:

4316349.00 kg = 4316349.00 ton/hari

Potensi energi terangkrut di Kabupaten Kediri

(4316349.00 /100) x 1,2 MWH = 5.179619 MWH/hari.

Daftar Pustaka

Anton Dayan. 1974. *Pengantar statistik* II. LP3S. Jakarta

BPS, 2007. *Kabupaten Kediri Dalam Angka*, Badan Pusat Statistik Kabupaten Kediri, 2007

Borszy, Z. 1974. *Recent Result of Wind.* John Wiley and Sons. Inc. New York

Kattili, JA. 1964. *Geologi*. Departemen Reseach Nasional. Jakarta

King. C.A. M. 1967. *Tehcniques in Geomorphology*. Edwar Arnold. London

Potensi Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan Di Wilayah Kalimantan Barat

Fauzi

Magister Teknik Elektro Universitas Tanjungpura Pontianak,
Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak
e-mail : alaydrusfauzi363@gmail.com

Abstract– *The area of oil palm plantations spread in 12 (twelve) regencies and 1 (one) city in West Kalimantan until 2016 has reached more than 1.4 million hectares. In addition to producing the main products of CPO, the oil palm plantation industry also produces biomass waste which, if not treated properly, will have adverse impacts on the environment. Solid waste from the processing of fresh fruit bunches can be utilized as fuel boiler driving steam turbine power plant. Liquid waste can be processed into biogas for fuel gas engines or gas turbines. While solid waste from stems and palm oil plant bark can be processed to produce bioethanol. Solid waste from the palm oil processing plant that has not been optimally utilized in the form of empty bunches of volumes reached more than 1.077.087 tons/ year and shell 301.584 tons/ year. Of these two solid wastes have the potential to generate energy of 21.826 TJ/yr. While liquid waste has the potential to produce methane gas of 66.779 on/year with a calorific valu of 3.606 TJ /yr. The total energy produced by solid and liquid waste is 25.432 TJ/yr. If used as fuel boiler or gas engine with heat transfer value into energy (efficiency) of 21,5%, will be generated electrical energy equal to 1,466,159 MWh/yr or equivalent with power plant with capacity more than 167 MW that operate throughout the year. From the processing of stem and oil palm plant stem if in every year re-planting of 4% of the plant area (48,344 ha), will potentially produce bioethanol 698.861 kL/yr. From utilization of palm oil processing waste as raw material of energy replacing fossil fuel will have positive impact to environment and potency to reduce CO2 emission up to 3,047,808 t-CO2/yr. Utilization of waste oil palm plantations into energy will provide financial benefits and environmental improvement.*

Keywords*- palm oil, biomass waste, energy, environment*

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok untuk menjalankan aktifitas industri, bisnis, dan berbagai aspek sosial kemasyarakatan lainnya. Ketersediaan energi listrik yang cukup akan mempengaruhi produktifitas, memacu pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Pada saat ini aktifitas kehidupan, terutama bagi masyarakat perkotaan tidak bisa dipisahkan dari energi listrik, dengan kata lain ketergantunagn masyarakat terhadap ketersediaan energi listrik sangat tinggi. Hampir setiap peralatan kerja dan penunjang kegiatan kantor, rumah tangga dan bisnis memerlukan energi listrik, sehingga jika pasokan energi listrik terganggu, akan berdampak langsung terhadap aktifitas sosial ekonomi masyarakat.

Kelangkaan dan mahalnya harga energi merupakan permasalahan nasional dan global yang berdampak luas bagi kehidupan masyarakat, baik untuk keperluan rumah tangga, industri dan transportasi. Saat ini 54,5% kebutuhan energi di Indonesia dipenuhi dari eksploitasi cadangan minyak bumi, berikutnya gas bumi 26,5% dan batu bara 14,4%, selebihnya dipenuhi dari sumber energi lainnya. Pada tahun 2025 komposisi penggunaan energi bersumber pada batu bara 33%, gas 30%, minyak bumi 20%, bahan bakar nabati 5%, panas bumi 5% dan sisanya dari sumber energi terbarukan mencapai 7% (Kepres No. 5 tahun 2006). Di wilayah Kalimantan Barat, pada saat ini pasokan energi listrik sebagian besar masih tergantung pada pembangkit listrik tenaga disel (PLTD) [1]. Besarnya ketergantungan pada sumber energi bahan bakar minyak (BBM), mengakibatkan membengkaknya anggaran belanja negara untuk subsidi BBM. Krisis ekonomi yang dipicu oleh naiknya harga minyak dunia semakin menghimpit kehidupan masyarakat berbagai lapisan di Indonesia. Hal ini semakin menyadarkan berbagai kalangan di tanah air bahwa ketergantungan terhadap BBM secara perlahan perlu dikurangi. Buruknya pengaruh pembakaran BBM terhadap lingkungan juga menjadi faktor pendorong pengembangan teknologi dan sekaligus tantangan untuk mencari sumber energi terbarukan yang belum dimanfaatkan secara optimal.

Indonesia merupakan negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia, pada tahun 2016 produksi *crude palm oil* (CPO) mencapai 33,229 juta ton, dengan luas lahan sekitar 12 juta hektar [2]. Sedangkan produksi CPO Malaysia pada tahun 2016 mencapai 17,320 juta ton dan Thailand 2,3 juta ton. Industri perkebunan kelapa sawit menghasilkan limbah padat dan cair yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Limbah padat tandan kosong sawit (TKS) dan limbah cair *palm oil mill effluent* (POME) yang tidak ditangani secara baik merupakan sumber pencemaran lingkungan. Gas

methana yang dihasilkan oleh tandan kosong (TKS) dan POME akan berpengaruh terhadap pemanasan global dan berpotensi menjadi isu global yang merugikan industri perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Di Malaysia dan Thailand limbah pabrik pengolahan kelapa sawit dimanfaatkan sebagai sumber energi. Pada tahun 2016 jumlah pembangkit tenaga listrik biogas dari POME di Malysia berjumlah 66 buah yang sudah beroperasi, 11 buah dalam tahap konstruksi dan 150 buah dalam tahap persiapan [3]. Sedangkan di Thailand pada tahun 2011 telah beroperasi *biogas power plant* berbasis limbah sawit sebanyak 28 buah dan 18 buah lainnya dalam tahap konstruksi [4]. Potensi biomassa dan biogas dari limbah pabrik pengolahan kelapa sawit di Indonesia sangat melimpah namun hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal walaupun kelangkaan energi sudah menjadi isu nasional.

Dari proses pengolahan tandan buah segar (*fresh fruit bunches*) menjadi minyak sawit (*crude palm oil*) lebih kurang 42% nya akan menjadi limbah padat berupa tempurung (*shell*) sebanyak 6% , serabut (*fiber*) 13% dan tandan kosong (*empty fruit bunches*) 23%. Dari hasil proses pengolahan tandan buah segar (FFB) menjadi CPO juga dihasilkan limbah cair (POME) sebesar 65% [3]. Limbah padat dan cair yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan kelapa sawit tersebut dapat dijadikan sumber energi listrik untuk memenuhi kebutuhan operasional pabrik maupun masyarakat di sekitarnya. Pemanfatan limbah pabrik pengolahan kelapa sawit menjadi energi listrik akan memperoleh dua keuntungan yaitu penjualan energi ke PLN dan kontrak penurunan emisi karbon (*Carbon Emission Reduction / CER*). Biaya pembangkitan energi listrik berbasis limbah pabrik pengolahan minyak kelapa sawit jauh lebih murah dibanding dengan pembangkit listrik tenaga diesel.

Luas areal perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Barat pada akhir tahun 2015 telah mencapai lebih dari 1,4 juta hektar, dengan produksi tandan buah segar (TBS) mencapai lebih dari 10 juta ton. Budi daya perkebunan kelapa sawit dikembangkan diseluruh Kabupaten yang ada Propinsi Kalimantan Barat yang memiliki luas daratan sekitar 14,68 juta hektar dengan jumlah penduduk kurang lebih 5 juta jiwa. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Dinas ESDM Provinsi Kalimantan Barat, tingkat elektrifikasi mencapai sekitar 78% dan masih tersisa 22% pemukiman masyarakat yang belum memperoleh pasokan energi listrik. Daerah yang belum dialiri listrik umumnya adalah pemukiman terpencil yang sulit dijangkau dengan jumlah penduduk yang tidak banyak. Pemerataan pasokan energi listrik hingga keseluruh pelosok daerah terpencil memerlukan biaya operasional yang sangat mahal, sehingga permasalahan ini menjadi pertimbangan utama dalam analisis kelayakan ekonomis. Untuk itu pemerintah daerah harus secara serius melakukan kajian terhadap potensi sumber energi setempat yang lebih murah dan dapat menjangkau masyarakat di daerah terpencil.

Sementara itu menyikapi semakin menipisnya cadangan minyak dunia dan dampak dari pembakaran bahan bakar minyak (BBM) bagi kelestarian lingkungan, pemerintah menggalakkan penggunaan berbagai sumber energi alternatif terbarukan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Industri perkebunan kelapa sawit menghasilkan limbah yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut dengan beberapa kelebihan yaitu:

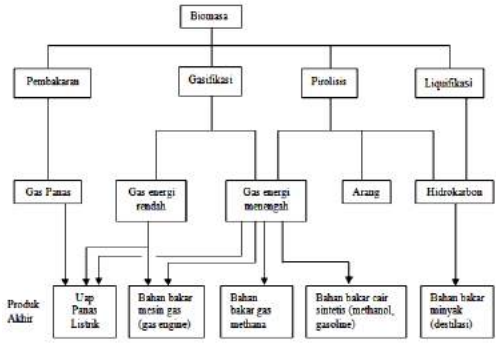
1). Biaya ongkos angkutan lebih murah karena lokasi pabrik tersebar di seluruh wilayah provinsi Kalimantan Barat.
2). Membantu mengatasi pencemaran lingkungan akibat pelepasan emisi CH_4 dan CO_2 ke udara yang dihasilkan oleh limbah biomasa dan asap dari pembakaran limbah padat secara terbuka dan tidak terkendali.
3). Kompensasi biaya pengurangan emisi karbon (*Carbon Emission Reduction / CER*) dari United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) .
4). Membuka peluang kesempatan kerja, yang berdamapak pada peningkatan kesejahteraan masyarakat.

2. Teknologi Konservasi Energi

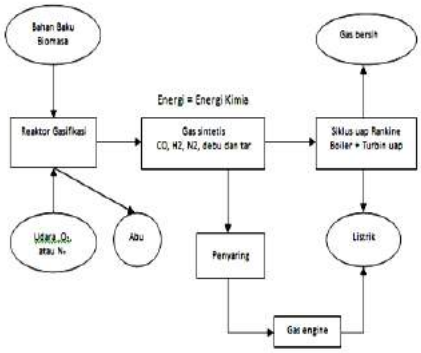
Untuk mengubah bahan biomasa menjadi energi dapat dilakukan melalui beberapa proses yaitu: proses thermo kimia, proses bio kimia dan proses mekanis. Proses thermo kimia mengolah bahan biomasa menjadi energi dalam bentuk lain pada temperatur tinggi. Teknologi proses thermo-kimia tersebut diantaranya pembakaran langsung, gasifikasi, pirolisis, liquifikasi dan torefikasi, dimana masing-masing proses akan menghasilkan produk yang berbeda. Blok diagram dari teknologi proses dan produk yang dihasilkan ditunjukkan dalam gambar 1. Proses konversi tersebut berlangsung pada konsentrasi oksigen yang berbeda-beda.

2.1. Pembakaran langsung

Proses konversi biomasa menjadi kalor melalui pembakaran secara langsung telah terjadi dalam kurun waktu ribuan tahun, baik untuk mendukung aktivitas rumah tangga, transportasi maupun industri. Proses pembakaran secara langsung membutuhkan oksigen untuk proses oksidasi secara menyeluruh dari unsur-unsur di dalam material biomasa, yaitu karbon menjadi karbon dioksida, hidrogen menjadi air, belerang menjadi belerang dioaksida dan nitrogen menjadi nitrogen oksida. Salah satu aplikasi teknologi konversi energi biomasa dalam skala komersial yang lebih besar adalah pembakaran biomasa pada sistem boiler untuk pembangkit tenaga listrik atau CHP (*Combine Heat and Power).*



Gambar 1. Diagram blok teknologi proses thermo kimia dan produk yang dihasilkan [5].



Gambar 2. Diagram blok pembangkit tenaga listrikdari proses gasifikasi [6].

2.2. Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses oksidasi parsial dari material yang mengandung unsur karbon seperti biomasa atau batu bara untuk memproduksi gas sintetis, yaitu dengan memasukkan oksigen yang lebih sedikit dari persyaratan stoikiometri pada pembakaran sempurna. Proses gasifikasi berada diantara pembakaran dan pirolisis yang terjadi pada temperatur antara 600 – 1500 ^{o}C. Kualitas gas yang dihasilkan tergantung pada jenis proses dan kondisi operasional dari reaktor. Untuk memproduksi gas sintetis dapat menggunakan oksidan udara, campuran udara dengan oksigen atau uap (*steam*). Proses gasifikasi menggunakan oksidan udara biayanya cukup murah, gas yang dihasilkan mengandung nitrogen lebih dari 60% dan memiliki nilai kalori neto antara 4 – 6 MJ/Nm^3, sedangkan jika menggunakan oksigen, gas yang dihasilkan mengandung kalori neto yang lebih tinggi antara 10 – 18 MJ/Nm^3 dan dibutuhkan biaya yang lebih mahal [6]. Teknologi ini sangat ramah lingkungan namun biaya investasi dan operasinalnya masih cukup mahal. Keuntungan dari teknologi gasifikasi biomasa tersebut adalah:

1. Dapat memanfaatkan limbah perkebunan (dalam hal ini perkebunan kelapa sawit)
2. Gas produknya dapat dimanfaatkan dengan bersih, dalam alat pembakar yang kompak serta efisiensi termal yang tinggi.
3. Ramah lingkungan, teknologi gasifikasi telah banyak digunakan untuk memproduksi bahan bakar komersial dan bahan kimia.

Pada saat ini penggunaan fasilitas gasifikasi pada industri kilang minyak dan kimia untuk menghasilkan gas sintetis semakin meningkat. Teknologi gasifikasi memiliki keandalan untuk menghasilkan gas sintetis berkualitas tinggi yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Pemanfaatan biomasa dan limbah pertanian sebagai bahan baku gas sintetis akan memberikan keuntungan yang lebih baik daripada dibakar secara konvensional atau dibuang dalam pembakaran. Efisiensi gas sintetis yang dihasilkan (*cold gas efficiency*) dari proses gasifikasi antara 65% hingga 80%, tergantung teknologi yang digunakan. Proses gasifikasi dan pembangkit tenaga listrik dari gas sintetis ditunjukkan dalam gambar 2.

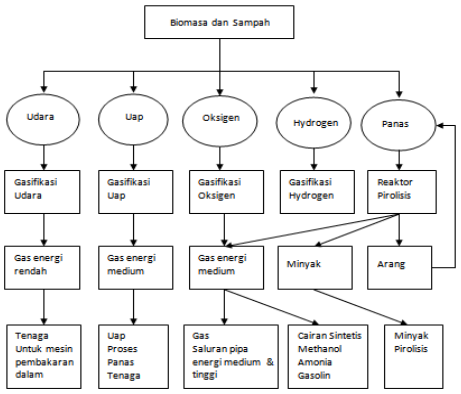
Dalam proses gasifikasi material biomasa dipanaskan pada temperatur tinggi hingga menyebabkan serangkaian perubahan fisik dan kimia yang menghasilkan evolusi produk yang mudah menguap (gas) dan residu padat karbon. Komposisi dan jumlah gas yang dihasilkan tergantung pada temperatur reaktor, jenis dan karakteristik dari material bahan bakar. Pada umumnya laju gasifikasi pada fase arang dari material biomasa dibatasi karena tahap devolatilisasi berlangsung sangat cepat. Komposisi gas produk akhir juga tergantung pada tingkat keseimbangan yang dicapai oleh berbagai reaksi fase gas, terutama reaksi pemisahan air – gas. Dengan tidak adanya katalis, gasifikasi arang dengan gas reaktif seperti O_2 , H_2O dan CO_2 terjadi pada suhu yang lebih tinggi (700°C s/d 1000°C) sesuai dengan reaksi berikut:

Arang + oksigen terbatas → Gas + Tar + Abu

Pada proses gasifikasi arang dengan oksidan uap akan dihasilkan gas terutama CO_2, CO, H_2 dan CH_4.

Uap dapat ditambahkan dari sumber eksternal atau dari reaksi dehidrasi sisa biomasa. Pada saat reaktor beroperasi pada suhu rendah, tingkat pemanasan yang rendah dan tekanan yang sangat tinggi , reaksi sekunder sangat penting karena lamanya waktu tinggal (dari produk yang mudah menguap di zona reaksi). Di sisi lain, pada tekanan rendah, suhu tinggi, dan tingkat pemanasan yang tinggi, sebagian besar produk yang mudah menguap akan melepaskan diri dari partikel bahan bakar selama dalam tahapan pirolisis, sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya interaksi antara arang dengan gas. Dalam *fluidized bed* gasifikasi, reaksi sekunder dalam fase gas - padat dan gas - gas berlangsung.

Dekomposisi termal dari produk kayu dimulai pada temperatur kurang dari 160°C saat penyulingan air belangsung, yang dikenal sebagai " cuka kayu (*pyroligneous acid*) ". Namun karena produk utama dari biomasa di bawah 600°C adalah berbentuk arang, proses gasifikasi biomasa biasanya dirancang untuk beroperasi pada suhu di atas titik ini . Dengan demikian suhu yang lebih tinggi diperlukan untuk memenuhi persyaratan terjadinya konversi arang menjadi produk gas, yang merupakan tujuan utama dari gasifikasi biomassa.



Gambar 3. Proses gasifikasi dan produk yang dihasilkan [7]

Proses gasifikasi biomassa terjadi dalam empat tahap yang saling terkait: 1) pengeringan bahan baku; 2) pirolisis untuk menghasilkan material yang mudah menguap (gas) dan arang; 3) gasifikasi untuk membentuk arang dengan gas reaktif seperti CO2, H2O, H2 dan O2; dan CH4) reaksi sekunder gas primer dan tar. Proses gasifikasi menggunakan oksidan udara, oksigen, hidrogen atau uap ditunjukkan dalam gambar 3. untuk mengkonversi bahan karbon menjadi produk gas.

2.3. Pirolisis

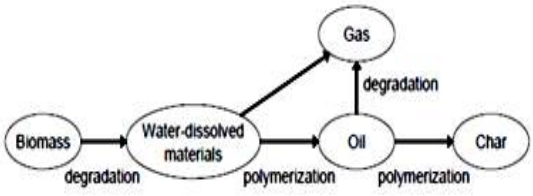
Pirolisis adalah proses dekomposisi dari material organik pada temperatur tinggi (300oC – 700oC) tanpa oksigen. Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis bahan lignoselulosa terdiri dari tiga bentuk yaitu padat berupa arang, cairan berupa minyak pirolisis (pyrolysis oil) dan campuran gas yang mudah terbakar. Sifat dari masing-masing produk tergantung pada parameter reaksi yaitu; suhu, tingkat pemanasan, lamanya waktu tinggal dan tekanan pada saat proses berlangsung. Pirolisis telah dipraktekkan selama berabad-abad untuk memproduksi arang (karbonisasi). Proses ini berlangsung pada suhu yang relatif rendah dan waktu tinggal yang cukup lama untuk menghasilkan arang padat hingga maksimal sekitar 35%.

Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian lebih banyak dicurahkan untuk memproduksi minyak pirolisis, karena memiliki beberapa keuntungan yaitu mudah dibakar dan mengandung nilai kalori yang lebih tinggi. Pada proses reaksi (fast or flash pyrolysis) dengan temperatur moderat dihasilkan kondensat organik 40 – 65%, arang 10 – 20%, gas 10 – 30%, air 5 – 15% dari masa bahan baku kondisi kering. Cairan ini disebut bio-oils atau biocrudes, yang dapat dibakar langsung di dalam boiler, mesin pembakar atau penggerak turbin. Minyak pirolisis memiliki nilai kalori neto antara 15 – 18 MJ/kg, gas 15 MJ/Nm3 dan arang sekitar 32 MJ/kg. Arang yang dihasilkan oleh proses pirolisis sangat mudah terbakar oleh karena itu harus ditangani dengan hati-hati terutama pada kondisi panas.
Produk ini memiliki beberapa kelemahan seperti stabilitas termal dan nilai kalori yang rendah, kekentalannya tinggi dan bersifat korosif, oleh karena itu diperlukan beberapa perlakuan untuk memperbaiki kemahan tersebut. Keuntungan penggunaan bahan bakar bio-oils pada power plant adalah proses produksi dapat dilakukan terpisah dari sistem pembangkit tenaga listrik sehingga permasalahan transportasi akibat rendahnya berat jenis bahan baku biomasa dapat diatasi.

2.4. Liquifikasi

Liquifikasi atau pencairan hidrotermal adalah pirolisis dalam air panas terkompresi 10 Mpa dan suhu sekitar 300oC. Biomasa dikonversi menjadi gas, cair dan padat seperti pirolisis secara umum dalam fase gas. Tar fraksi ringan, seperti pyroligneous dapat larut dalam air dan fraksi berat tar dapat dapat diperoleh dalam pencampuran dengan arang. Artinya produk yang dihasilkan adalah gas, cairan dan bahan berminyak. Proses liquifikasi menghasilkan pruduk cair lebih banyak, kandungan oksigen lebih rendah, energi yang lebih tinggi dan produk akhir yang lebih stabil. Produk liquifikasi lebih baik dibandingkan dengan produk pirolisis. Meskipun kandungan oksigen dari produk minyak liquifikasi jauh lebih rendah dibandingkan pada biomasa asalnya, namun kandungan oksigen tersebut masih terlalu tinggi untuk membuat gasoline atau minyak disel, untuk itu diperlukan proses lebih lanjut.
Karena liquifikasi berlangsung di dalam air , maka tidak diperlukan proses pengeringan bahan baku. Oleh karena itu sangat cocok untuk biomasa yang memiliki kelembaban tinggi, seperti biomasa dari daerah berair, sampah, lumpur organik dan sebagainya. Selain itu berbagai jenis reaksi dapat terjadi pada suhu reaksi yang berbeda dan banyak aplikasi lain yang memungkinkan. Pada sekitar suhu 100oC, fraksi larut air terlarutkan dan ekstraksi berlangsung. Di atas suhu 150oC terjadi hidrolisis dan polimererisasi biomasa, seperti selulosa, hemiselulosa, protein dan sebagainya terdegradasi menjadi monomer. Pada suhu sekitar 200oC dan tekanan 1Mpa, bahan padat seperti biomasa diubah menjadi bubur, tetapi tidak diperoleh produk berminyak. Pada tekanan 10 Mpa dan suhu 300oC proses pencairan terjadi dan diperoleh produk berminyak. Ketika kondisi reaksi berubah seperti waktu reaksi atau katalis, produk utama dapat diubah menjadi arang.

Proses liquifikasi pada dasarnya adalah pirolisis dan oleh karena itu degradasi dan polimerisasi terjadi, secara skematik ditunjukkan dalam gambar 4. Pada tahap pertama biomasa dapat terdegradasi menjadi bahan larut air, kemudian bahan larut air dipolimerisasi untuk membentuk minyak. Ketika reaksi diperpanjang, minyak yang terbentuk dipolimerisasi menjadi arang. Reaksi dilakukan tanpa mengurangi gas, seperti hidrogen dan karbon monoksida dengan katalis alkali untuk kayu dan tanpa katalis untuk limbah lumpur. Minyak yang dihasilkan mengandung oksigen 20%, oleh karena itu nilai kalorinya kurang dari 42 MJ/kg, lebih rendah dari minyak bumi dan kekentalannya sangat tinggi. Minyak yang diperoleh dari kayu memiliki fraksi asam cukup tinggi, dapat menimbulkan korosi dan polimerisasi selama dalam penyimpanan. Minyak yang diperoleh dari limbah lumpur mengandung nitrogen yang berasal dari protein, oleh karena itu saat pembakaran diperlukan perlakuan Nox.



Gambar 4. Skema reaksi liquifikasi sederhana [8]

Perbandingan nilai kalori dalam minyak yang dihasilkan dari proses liquefikasi adalah sekitar 70% dari nilai kalori yang terkandung dalam bahan baku. Energi yang diperlukan untuk proses liquifikasi sedikit lebih rendah dari energi yang terkandung dalam minyak hasil proses liquifikasi.

2.5. Proses Biokimia

Hasil proses fotosintesis akan membentuk lignin dan selulosa / hemiselulosa pada tanaman. Untuk mengubah lignin yang terkandung pada bahan biomasa menjadi energi diperlukan proses termokimia, karena proses biokimia tidak bisa mengubah lignin menjadi gas sintetis. Sedangkan proses hidrolisis atau enzimatik (biokimia) lebih cocok digunakan untuk mengubah selulosa menjadi energi, karena selulosa memiliki degradabilitas yang lebih tinggi dari lignin. Proses ini akan menghasilkan produk akhir dalam bentuk bahan bakar cair atau gas. Teknologi proses yang umum digunakan adalah fermentasi untuk menghasilkan bahan bakar cair dan anaerobic degerter untuk menghasilkan bahan bakar gas sintetis.

2.5.1 Fermentasi

Tanaman yang banyak mengadung gula atau pati sangat cocok digunakan sebagai bahan baku untuk memproduksi etanol melalui proses fermentasi. Proses tersebut melibatkan bakteri atau jamur untuk menguraikan bahan organik menjadi alkohol. Bahan baku industri etanol pada awalnya bertumpu pada produk pertanian yang biasanya digunakan sebagai bahan pangan. Dalam perkembangannya produk pangan semakin mahal, sehingga industri etanol semakin tidak mampu bersaing. Seiring dengan permasalahan tersebut, berbagai penelitian dan inovasi dilakukan hingga didapatkan pengganti bahan baku yang berasal dari kayu dan limbah biomasa (lignocellulosic materials), yang lebih menjanjikan dalam jangka panjang dan tidak mengganggu stabilitas pangan.

Pada dasarnya kebanyakan bahan biologis mengadung selulosa, hemiselulosa dan lignin. Semua komponen biologis tersebut adalah sakarida, selulosa terdiri dari polimer glukosa rantai panjang, hemiselulosa juga demikian, namun rantai polimernya memiliki struktur amorf. Lignin juga terdiri dari polimer glukosa rantai panjang tetapi ikatan kimianya berbeda dengan selulosa dan jauh lebih sulit untuk dipecah. Bahan baku lignoselulosa (material yang mengandung lignin dan selulosa) dapat berupa limbah pertanian atau tanaman khusus untuk industri etanol. Dibandingkan dengan penggunaan bensin sebagai bahan bakar, etanol lebih ramah terhadap lingkungan, karena tidak menghasilkan emisi karbon dioksida.

Untuk mengkonversi biomasa menjadi etanol menggunakan proses enzimatik dan mikroba dilakukan sebagai berikut: Bahan biomasa mentah dilakukan proses awal (pretreatment) dengan hidrolisa hemiselulosa menggunakan asam sulfat. Pretreatment diperlukan karena biomasa tidak dapat larut, selain itu juga dimaksudkan untuk membuka struktur fisik agar selulosa dapat diakses oleh enzim dan proses pencernaan selanjutnya dapat berlangsung dengan baik. Pada tahap ini secara kimiawi hemiselulosa yang merupakan sakarida amorf diubah menjadi glukosa. Aliran proses selanjutnya terbagi menjadi dua yaitu; glukosa yang berasal dari hidrolisis hemiselulosa diproses terpisah dan sisanya sebagai umpan untuk dua tahap proses lainnya. Salah satu tahapan proses tersebut adalah produksi enzim selulase. Enzim selulase diproduksi oleh jamur dalam fermentasi aerobik multiphase yang melibatkan aliran cairan dan gas hasil proses sebelumnya. Sedangkan tahapan proses lainnya adalah hidrolisis selulosa dan fermentasi gula secara anaerobic pada reaktor utama. Proses ini tergantung pada enzim selulase yang diproduksi pada tahap sebelumnya. Tahap akhir dari proses adalah pemisahan produk etanol dari kotoran limbah. Produk limbah berupa lignin dan bahan lainnya dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk memenuhi kebutuhan energi dalam keseluruhan proses.

2.5.2 Anaerobic Degester

Anaerobic degester adalah proses alami dimana bakteri mengubah bahan organik menjadi biogas, pada lingkungan bebas oksigen (anaerob). Melalui proses pengasaman bakteri menguraikan bahan organik menjadi gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) sebagai produk utama, selebihnya adalah berupa gas nitrogen (N_2), hidrogen sulfida (H_2S), hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Perkembangan proses anaerobik digestion telah berhasil pada banyak aplikasi. Proses ini memiliki kemampuan untuk mengolah sampah / limbah yang keberadaanya melimpah dan tidak bermanfaat menjadi produk yang lebih bernilai. Aplikasi anaerobik digestion telah berhasil pada pengolahan limbah industri, pertanian dan peternakan. Produk biogas dapat digunakan untuk menghasilkan panas penggerak turbin atau bila dimurnikan bisa digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor.

Process pencernaan anaerobic berlangsung melalui empat tahapan . Beberapa kelompok mikro organisme yang berbeda harus berbagi sejumlah kecil energi yang tersedia. Proses pencernaan dimulai dengan hidrolisis bakteri, yang memecah polimer rantai panjang dari lemak, protein dan karbohidrat yang tidak larut menjadi polimer rantai pendek. Berikutnya, bakteri Acidogenic mengkonversi asam lemak, asam amino, dan gula menjadi CO_2, H_2, NH_3 dan asam organik . Bakteri acetogenic kemudian mengubah asam organik menjadi asam asetat . Akhirnya, bakteri metanogen mengubah produk ini ke gas, sebagian besar metana. Proses

pencernaan limbah organik menjadi biogas adalah sebagai berikut:

- Hidrolisis

Pada tahap hidrolisis , air bereaksi dengan polimer organik rantai panjang seperti polisakarida, lemak dan protein menjadi polimer rantai pendek yang dapat larut seperti gula, asam lemak rantai panjang dan asam amino. Selulosa, amilase, lipase, protease atau enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme melakukan proses ini.

- Asidogenesis

Dalam tahap asidogenesis, oksidasi anaerobik menggunakan gula, asam lemak rantai panjang dan asam amino yang diciptakan selama hidrolisis sebagai substrat. Berbagai macam bakteri yang berbeda melakukan asidogenesis. Asidogenesis merupakan langkah yang paling singkat dalam konversi bahan organik komplek pada pencernaan fase cair. Dalam pencernaan anaerobik stabil, rangkaian proses degradasi adalah melalui asetat, karbon dioksida, dan hidrogen. Bakteri merespon konsentrasi peningkatan hidrogen dalam cairan dengan memproduksi laktat, etanol, propionat, butirat dan asam lemak yang mudah menguap (*volatile fatty acids* / VFAs), dimana mikro organisme metanogen digunakan sebagai substrat.

- Asetogenesis

Dalam tahap asetogenesis, hidrogen membuat bakteri acetogenic mengkonversi asam lemak dan etanol / alkohol menjadi asetat, karbon dioksida dan hidrogen. Konversi menengah ini sangat penting untuk keberhasilan produksi biogas, karena metanogen tidak dapat menggunakan senyawa ini secara langsung. Acetogen tumbuh lambat dan tergantung pada tekanan parsial hidrogen yang rendah untuk degradasi acetogenic untuk menghasilkan energi . Acetogen sensitif terhadap perubahan lingkungan; mereka membutuhkan waktu yang lama untuk menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan baru.

- Metanogenesis

Dalam tahap metanogenesis , pembentukan metana dapat terjadi melalui dua cara. Cara pertama melalui fermentasi asam asetat, produk utama dari fase

pembentukan asam menghasilkan metana dan karbon dioksida. Bakteri acetoclastic (atau acetophilic) menggunakan asam asetat. Reaksi keseluruhan adalah :

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$$

Cara kedua menggunakan hidrogen untuk mengurangi CO2 ke CH4 oleh metanogen hydrogenophilic :

$$4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$$

Hanya sejumlah senyawa yang dapat bertindak sebagai substrat pada tahap methanogenesis . Asetat, H2, CO2, metanol, dan format sebagai substrat kunci. Berdasarkan hubungan stoikiometri, para ahli memperkirakan bahwa sekitar 70% dari metana dihasilkan dari asetat, sedangkan 30% sisanya dihasilkan dari H_2 dan CO_2. Untuk meningkatkan efektifas konversi bahan organik menjadi biogas, mikroorganisme aktif membutuhkan nutrisi dan kondisi lingkungan yang spesifik. Nutrisi dan kimia sintesis yang diperlukan untuk pencernaan anaerobik meliputi:

- Macronutrients seperti C , H , O , N , S , P , K , Ca , Mg untuk menyediakan makanan bagi bakteri.
- Mikronutrien seperti Fe , Ni , Zn , Mn , Mo , dan Co untuk menjaga kesehatan bakteri
- Kadang kala vitamin dalam jumlah kecil diperlukan untuk memenuhi kebutuhan katalitik tertentu dalam biosintesis.
- Enzym (katalis protein yang dihasilkan oleh sel-sel hidup) untuk mempercepat reaksi seluler mikroorganisme
- Suhu sekitar 35 ° C untuk mesofilik dan 55 ° C untuk termofilik
- pH sekitar 7 .

Operators harus memantau dan menjaga kondisi lingkungan dalam digester untuk mendukung kesehatan koloni mikro organisme dan mengoptimalkan produksi biogas.

2.6. Proses Mekanis

Biomasa banyak digunakan sebagai bahan baku energi, baik untuk bahan bakar padat, cair maupun gas. Bentuk produk bahan bakar tersebut disesuaikan dengan kegunaan, kendala teknis dan ekonomis dalam penyediaanya. Proses mekanis bertujuan untuk memperbaiki karakteristik dari biomasa tersebut agar kandungan energinya (*energy density*) meningkat. Perbaikan karakteristik meliputi penurunan kadar air dan peningkatan kepadatan agar mudah dibakar dan bernilai kalori tinggi.

Salah satu proses perbaikan karakteristik biomasa menjadi bahan bakar padat secara mekanis adalah dengan membentuknya menjadi pelet. Biomasa diperkecil ukurannya dalam bentuk serpihan (*chip*), kemudian dikeringkan hingga kandungan airnya mencapai antara 7 – 12%. Selanjutnya bahan biomasa diperkecil ukurannya bebentuk serbuk (digiling), kemudian dicetak dengan tekanan tinggi pada temperatur hingga 150°C. Setelah dicetak dalam bentuk pelet berukuran diameter 6 – 10 mm dan diameter 10 – 20 mm, kemudian didingikan. Produk pelet biomasa memiliki kandungan kalori antara 16 – 18 MJ/kg, hal ini sangat berbeda dengan karakteristik bahan baku sebelum diolah dengan berat jenis dan kandungan kalori yang rendah. Peletisasi dapat menjadi solusi dari permasalahan biaya transportasi bahan baku biomasa, terutama untuk jarak yang jauh.

3. Potensi Energi dari Limbah Industri Kelapa Sawit di Kalimantan Barat

Hingga akhir tahun 2015 realisasi budidaya perkebunan kelapa sawit di wilayah Kalimantan barat telah mencapai lebih dari 1,4 juta hektar [9]. Dari perkebunan kelapa sawit tersebut dihasilkan limbah padat biomasa berupa pelepah dan batang sawit. Pelepah sawit dihasilkan dari proses perawatan tanaman (pemangkasan) yang dilakukan pada saat panen atau kegiatan penanaman kembali (*replanting*) bersama

dengan batang sawit yang sudah tidak produktif. Pelepah dan batang kelapa sawit yang masih basah banyak mengandung selulose dan hemi-selulose, hal ini merupakan potensi bahan baku untuk pembuatan bio-etanol. Besarnya volume pelepah dari kegiatan perawatan tanaman dan kegiatan penanaman kembali (per hektar per tahun) ditunjukkan dalam tabel 1. Batang kelapa sawit yang sudah tua dengan diameter 38 cm dan tinggi 10 meter akan berpotensi menghasilkan bio-etanol sebesar 111,2 liter [10]. Satu hektar kebun kelapa sawit terdiri dari 130 hingga 140 batang, sehingga berpotensi menghasilkan bio-etanol sebesar 14.456 liter/ha. Berdasarkan data dalam tabel 2.4 tandan kosong juga merupakan bahan baku untuk memproduksi bio ethanol. Selain sebagai bahan baku bio-ethanol limbah padat dari tankos dan pengolahan batang kelapa sawit masih bisa digunakan sebagai bahan bakar setelah melalui proses pengeringan.

Tabel 1 Volume limbah kebun kelapa sawit [11]

No.	Jenis limbah / masa pengambilan	Moisture Content (%)	Volume
1	Batang / replanting	70	62,8 (t / ha)
2	Pelepah / replanting	63,5	14,9 (t / ha)
3	Pelepah / tunasan	63,5	9,8 (t / ha / th)

Proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi CPO dan inti sawit akan menghasilkan limbah padat berupa tandan kosong (*empty fruit bunch*), serat (*fiber*), cangkang (*shell*) dan limbah cair POME (*palm oil mill effluent*). Limbah padat dan cair yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan minyak sawit bisa memberikan nilai tambah jika diolah dengan sentuhan teknologi yang tepat. Seiring dengan isu pemanasan global dan meningkatnya kebutuhan energi, pemanfaatan limbah padat dan limbah cair hasil pengolahan minyak sawit sebagai sumber energi akan memberikan nilai tambah yang lebih menguntungkan dibandingkan dengan pemanfaatan untuk produk lainnya. Volume dan nilai kalori limbah pabrik pengolahan kelapa sawit ditunjukkan dalam tabel 2.

Tabel 2. Volume dan nilai kalori dari limbah pengolahan 1 ton TBS [12]

No.	Jenis limbah	Volume limbah (%)	Volume limbah (kg)	Nilai kalori (kJ/kg)	Jumlah kalori (kJ)
1	Serat	13	130	11.300	1.469.000
2	Cangkang	7	70	18.800	1.316.000
3	Tankos (MC 10%)	10	100	15.000	1.500.000
4	Gas Methana	-	6,20	54.000	334.800

Melalui proses termo-kimia biomasa dapat di konversi menjadi panas untuk memproduksi uap, gas bahan bakar, gas sintetis, hidrokarbon dan lain-lainnya. Pada kondisi basah tandan kosong merupakan limbah yang paling besar, agar dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler atau reaktor gasifikasi, kandungan airnya harus diturunkan hingga di bawah 30%. Nilai kalori tandan kosong sangat dipengaruhi oleh kandungan air dan jumlah usur karbon tetap (*fix carbon*).

Selain menghasilkan limbah padat pabrik pengolahan minyak sawit juga menghasilkan limbah cair (POME), yaitu sisa kondensat dari proses sterilisasi, klarifikasi, pembersihan pabrik dan kegiatan lainnya. Produk sampingan, *Palm Oil Mill Efluent* (POME) tersebut mengandung minyak (lemak), protein, dan karbohidrat, pada kondisi segar POME berwarna coklat terang dan tidak beracun. POME merupakan larutan koloid yang mengandung 94% - 96% cairan, 0,6 – 0,7% minyak dan 4 - 5,5% material padat. Dari setiap satu ton pengolahan tandan buah segar menjadi CPO dihasilkan limbah cair sekitar 0,6 – 0,65 m^3. Volume biogas yang dihasilkan dari proses penguraian POME oleh bakteri di dalam *anaerobic digester* ditunjukkan dalam tabel 3.

Tabel 3. Volume dan karakteristik gas methana dari proses penguraian POME [13]

Parameter	Volume	Satuan
Produksi POME dari hasil pengolahan TBS	0,65	m^3-POME/ton TBS
Biogas yang dihasilkan dari POME	24	m^3Biogas/m^3-POME
Konsentrasi CH_4 dalam biogas	0,56	m^3-CH_4/m^3-Biogas
Berat jenis CH_4	0,00071	ton/m^3

Berdasarkan produksi tandan buah segar pada tahun 2016 sebesar 10,7 juta ton, dari pabrik pengolahan kelapa sawit akan dihasilkan limbah serat (*fiber*) sebesar 1,4 jutan ton, cangkang 754 ribu ton dan tankos sebesar 1,1 juta ton pada MC 10%. Selain limbah padat juga dihasilkan limbah cair sebesar 7 juta ton yang berpotensi menghasil kan gas methana sebesar 67 ribu ton. Setelah dikurangi untuk keperluan operasional pabrik, dari sisa limbah padat dan cair diperkirakan akan menghasilkan energi listrik sebesar 1.466.159 MWh/th. Sedangkan dari pengolahan limbah perkebunan kelapa sawit dan kegiatan replanting, akan berpotensi menhasilkan bio etanol sebesar 826.000 kL/th.

4. Kesimpulan

Tanaman perkebunan kelapa sawit di wilayah Kalimantan Barat secara keseluruhan hingga akhir tahun 2015 telah mencapai lebih dari 1,4 juta hektar. Dari pabrik pengolahan kelapa sawit dihasilkan limbah padat berupa serat, cangkang, tandan kosong dan limbah cair (POME). Sedangkan dari aktivitas pengelolaan kebun dihasilkan limbah berupa batang (dari tanaman yang sudah tua dan tidak produktif), dan pelepah. Kedua jenis limbah tersebut dapat digunakan sebagai bahan baku energi melalui proses thermokimia atau biokimia. Proses thermokimia akan menghasilkan energi panas sedangkan proses biokimia akan menghasilkan bahan bakar cair atau gas. Limbah padat dari pabrik pengolahan minyak sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler penggerak turbin uap untuk menghasilkan energi listrik.

Dari analisa terhadap potensi limbah industri perkebunan kelapa sawit di seluruh wilayah provinsi

Kalimantan Barat sebagai sumber energi alternatif terbarukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Potensi kelebihan limbah padat dari pengolahan minyak sawit di seluruh wilayah Kalimantan Barat setelah digunakan untuk kebutuhan lokal dihasilkan sisa cangkang yang tidak digunakan (40% dari total produksi) sebesar 301.584 ton/th dan tankos pada MC 10% sebanyak 1.077.087 ton/th. Dari kedua
2. limbah padat tersebut berpotensi untuk menghasilkan energi sebesar 21.826 TJ/th.
3. Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan kelapa sawit berpotensi menghasilkan gas metana sebesar 66.779 ton/th dengan nilai energi 3.606 TJ/th.
4. Total energi yang dihasilkan oleh limbah padat dan cair sebesar 25.432 TJ/th. Jika digunakan sebagai bahan bakar boiler akan dihasilkan energi listrik kurang lebih sebesar 1,466,159 MWh/th atau setara dengan pembangkit tenaga listrik berkapasitas lebih dari 167 MW yang beroperasi sepanjang tahun (8.760 jam).
5. Dari kegiatan peremajaan tanaman kelapa sawit jika pada setiap tahun dilakukan penanaman kembali seluas (57.140 ha) atau 4% dari luas areal tanaman, dengan potensi bioethanol dari batang kelapa sawit sebesar 14.456 liter/ha, diseluruh wilayah Kalimantan Barat akan dihasilkan bioethanol sebesar 826.014 kL/th.

Referensi

[1] *Statistik Ketenagalistrikan Th. 2017*, Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, th 2017

[2] *Statistik Perkebunan Indonesia Kelapa Sawit*, Direktorat Jenderal Perkebunan 2017.

[3] Abu Bakar Nasrin, *Country Presentation on Status of Bioenergy Development in Malaysia*, IRENA, 2014.

[4] Chavananand Krisada, *How the Thai Palm Oil Industry gained technology leadership in waste to energy*, Jakarta 2011.

[5] McKendry Peter, *Energy production from biomass (part 1): overview of biomass*, Bioresource Technology 83 (2002) 37–46

[6] Austermann S, Withing K. J, *Commercial Assessment Advanced Convertion Technology (Gasification) for Biomass Project*, Bioregen 2007.

[7] Sadaka Samy P.E. P.Eng, *Gasification*, Iowa State university

[8] Yokoyama, Syinya, *The Asian Biomass Handbook*, The Japan Institute of Energy, Tokyo, 2008.

[9] *Kalimantan Barat Dalam Angka 2016*, Badan Pusat statistik Kalimantan Barat

[10] Mori Yutaka. *Old Oil Palm Trunk as Promising Feedstock for Biofuel and Bioplastic*, JIRCAS, 2008

[11] Rajab Aljuboori Ahmad H., *Oil Palm Biomass Residue in Malaysia: Availability and Sustainability*, International Journal of Biomass and Renewables, 2012

[12] KEIRIN, *Preliminary Feasibility Study on The Palm Oil Mill Wastes-fired Power Generation Systems and CDM Project for Rural Electrification in Sumatra, Indonesia*, Engineering and Consulting Firms Association, Japan NTT GP-ECO communication, Inc., 2009.

[13] PREGA, *Utilization of Biogas Generated from the Anaerobic Treatment of Palm Oil Mills Effluent (POME) as Indigenous Energy Source for Rural Energy Supply and Elect rification*, P.T. Chazaro Gerbang Internasional, 2004.

Biografi

Fauzi, lahir di Sambas tanggal 15 Januari 1963, lulus Diploma Teknik Elektro (D3) Politeknik Institut Teknologi Bandung pada tahun 1990, lulus Diploma (D4) Teknik Elektro Institut Teknologi Bandung tahun 2000 dan lulus S2 Teknik Elektro Universitas Tanjungpura pada tahun 2018. Dari tahun 1991 hingga saat ini bekerja sebagai tenaga pengajar di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak.

Alamat Redaksi:
Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang KM 14,5 Yogyakarta
Telp. 0274 895287 ext. 4148 Faks: +62 274 895007
Email: jattec.editor@uii.ac.id
JaTTec
Journal of AppropriateTechnology for Community Services

POTENSI PEMANFAATAN ATAP GEDUNG UNTUK PLTS DI KANTOR DINAS PEKERJAAN UMUM, PERUMAHAN DAN ENERGI SUMBER DAYA MINERAL (PUP-ESDM) PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Defi Rizkasari[1)], Wahyu Wilopo[2)], Mohammad Kholid Ridwan [3)]

[1,2,3]Magister Teknik Sistem UGM,
JL. Teknika Utara, No.3, Barek, Kocoran, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman,
Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

Email : defi.rizkasari@mail.ugm.ac.id[1)], wilopo_w@ugm.ac.id[2)], kholid@ugm.ac.id[3)]

ABSTRAK

Konsumsi energi listrik di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Penjualan energi listrik PLN tahun 2018 sebesar 234.617,88 GWh meliputi sektor industri, sektor rumah tangga, sektor komersial, dan sektor publik. Sedangkan konsumsi energi listrik di D. I. Yogyakarta tahun 2018 sebesar 2.857,06 GWh meliputi sektor rumah tangga, sektor industri, sektor bisnis, sektor sosial, sektor gedung kantor pemerintahan dan penerangan jalan umum. Dalam memenuhi permintaan energi listrik, pembangkit listrik yang terpasang di Yogyakarta terdiri dari PLTMH, PLTBm, PLTS dan PLTHybrid dengan kapasitas terpasang sebesar 4,84 MW sehingga kelistrikan di Yogyakarta dipasok dari jaringan interkoneksi Jawa-Madura-Bali. Sumber daya energi yang digunakan oleh jaringan interkoneksi umumnya menggunakan energi fosil (batubara). Oleh karena itu kita memerlukan pengganti bahan bakar fosil di masa depan. Pemanfaatan energi terbarukan salah satunya pengoptimalan energi surya yang dapat diterapkan pada daerah perkotaan. Sektor bangunan mengkonsumsi hingga 40% dari total energi tahunan. Salah satu gedung yang dapat menerapkan pemanfaatan energi terbarukan yaitu gedung kantor Dinas PUP-ESDM D. I. Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi daya yang dihasilkan dari PLTS atap jika dibangun pada gedung Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral (PUP-ESDM) D. I. Yogyakarta. Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi energi menggunakan software HelioScope. Hasil simulasi menunjukkan sisi timur gedung 1, sisi timur gedung 2, sisi timur gedung 3, sisi barat gedung 2 dan sisi utara gedung 2 merupakan lokasi optimal fotovoltaik. Total potensi energi yang dihasilkan dari kelima atap tersebut sebesar 73.484,5 kWh/tahun dan mampu menyuplai kebutuhan energi Dinas PUP-ESDM sebesar 74,42 %.

Kata Kunci : Energi Terbarukan, Fotovoltaik, HelioScope, Produksi Energi.

ABSTRACT

Electricity consumption in Indonesia from year to year has increased. The sales of PLN 2018 electricity in 234,617.88 GWh covering industrial sector, household sector, commercial sector, and public sector. While electrical energy consumption in D. I. Yogyakarta in 2018 of 2,857.06 GWh covering household sector, industrial sector, business sector, social sector, government office building sector and public street lighting. In fulfilling the demand of electrical energy, Yogyakarta installed power plant consists of PLTMH, PLTBm, PLTS and PLTHybrid with an installed capacity of 4.84 MW so that electricity in Yogyakarta is supplied from the interconnection network of Java-Madura-Bali. Energy resources used by interconnection networks generally use fossil energy (coal). Therefore we need a substitute for future fossil fuels. Utilization of renewable energy is one of the solar energy optimizations that can be applied to urban areas. The building sector consumes up to 40% of total annual energy. One of the buildings that can apply the utilization of renewable energy is the office building PUP-ESDM D. I. Yogyakarta. This research aims to know the potential power generated from the PLTS roofing if it is built on the office building Public Works, housing and Energy Mineral resources (PUP-ESDM) D. I. Yogyakarta. Research is conducted by conducting energy simulations using the HelioScope software. Simulated results show the east side of Building 1, the east side of Building 2, the east side of Building 3, the west side of Building 2 and the north side of Building 2 is the optimal location of photovoltaics. The Total energy potential generated from these five roofs is 73,484.5 kWh/year and is able to supply the energy needs of the PUP-ESDM office by 74.42%.

Keywords: renewable energy, photovoltaic, HelioScope, energy production.

1. Pendahuluan

Konsumsi energi listrik dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Penjualan tenaga listrik PLN tahun 2018 sebesar 234.617,88 GWh meliputi sektor industri, sektor rumah tangga, sektor komersial, dan sektor publik (Statistik Ketenagalistrikan, 2019). Sedangkan konsumsi energi listrik di D. I. Yogyakarta tahun 2018 sebesar 2.857,06 GWh meliputi sektor rumah tangga, sektor industri, sektor bisnis, sektor sosial, sektor gedung kantor pemerintahan dan penerangan jalan umum (Statistik PLN, 2019). Dalam memenuhi permintaan energi listrik, pembangkit listrik yang terpasang di D. I. Yogyakarta terdiri dari PLTMH dengan kapasitas 1 MW, PLTBm 3,80 MW, PLTS 0,02 MW dan PLTHybrid 0,02 MW sehingga untuk memenuhi permintaan energi listrik masyarakat belum tercukupi (Statistik Ketenagalistrikan, 2018). Hal ini dikarenakan daerah D. I. Yogyakarta tidak memiliki potensi energi primer sehingga permintaan energi primer seperti batubara, minyak bumi dan gas dipasok dari daerah lain.

Energi listrik di D. I. Yogyakarta dipasok melalui jaringan interkoneksi Jawa-Madura-Bali karena belum adanya pembangkit listrik yang dapat memenuhi permintaan listrik masyarakat D. I. Yogyakarta. Sumber daya energi yang digunakan oleh jaringan interkoneksi umumnya menggunakan sumber daya batubara (Badruzzaman, 2013). Oleh karena itu manusia memerlukan suatu energi pengganti bahan bakar fosil dimasa depan. Penggunaan energi terbarukan di Indonesia meliputi PLTMH 0,41%, PLTBM 2,71%, PLTS 0,09% dan PLTHybrid 0,01% (Statistik Ketenagalistrikan, 2018). Pemanfaatan energi terbarukan salah satunya pengoptimalan energi surya yang dapat diterapkan pada daerah perkotaan. Sektor bangunan mengkonsumsi hingga 40% dari total energi tahunan (UNEP, 2009). Energi surya merupakan energi yang potensial dikembangkan di Indonesia mengingat Indonesia terletak di daerah khatulistiwa. Energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas 2 juta km^2 adalah 4,8 kWh/m^2/hari atau setara dengan 112.000 GWp yang didistribusikan (Hasan, 2012).

D. I. Yogyakarta merupakan salah satu daerah perkotaan yang padat penduduk dan memiliki bangunan yang padat sehingga pemanfaatan atap bangunan dapat digunakan sebagai PLTS untuk sumber daya energi. Salah satu gedung yang dapat menerapkan pemanfaatan energi terbarukan yaitu gedung kantor Dinas PUP-ESDM D. I. Yogyakarta. Pada gedung tersebut telah dibangun fotovoltaik, namun pemasangan fotovoltaik belum optimal dikarenakan luasan pemasangan fotovoltaik kecil sementara potensi lokasi yang akan dipasang sangat luas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi daya optimal yang dihasilkan dari PLTS atap jika dibangun pada gedung Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral (PUP-ESDM) D. I. Yogyakarta.

Penelitian terdahulu membahas tentang analisis potensi atap bangunan kampus sebagai lokasi penempatan panel surya sebagai sumber listrik (Tarigan dan Kartikasari, 2017). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi pemanfaatan area atap bangunan kampus Universitas Surabaya untuk pemasangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penelitian ini menggunakan perangkat lunak SolarGIS–PVplanner untuk melakukan simulasi. Simulasi sistem PLTS ini *grid-connected* dengan menggunakan jenis panel surya *monocrystalline* produksi Sunpower Model SPR-320NE-WHT-D dengan kapasitas 320 Wp per panel. Pada penelitian ini didapatkan hasil yaitu area atap bangunan seluas 10.353 m^2 dan kapasitas energi listrik yang dapat dibangkitkan sebesar 2.030 kWp.

2. Tinjauan Pustaka

2.1.Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

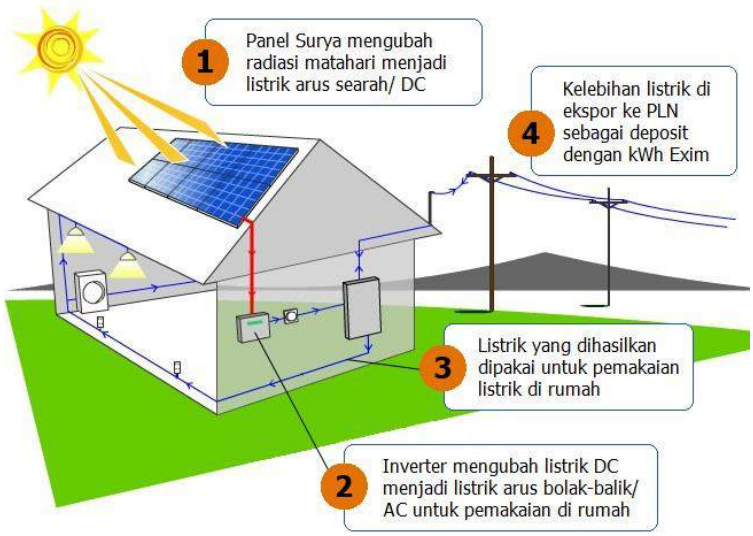
Sebuah teknologi pembangkit listrik yang mengkonversi energi foton dari surya menjadi energi listrik disebut Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Sel – sel fotovoltaik pada panel surya melakukan konversi dari energi foton menjadi energi listrik. Sel fotovoltaik merupakan lapisan tipis dari silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor, sehingga apabila bahan tersebut mendapat energi

foton akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas, dan pada akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah (Buresh,1983).

Prinsip sel surya (fotovoltaik) yaitu apabila dioda semikonduktor bekerja dalam proses tak seimbang dan berdasarkan efek fotovoltaik. Pada saat itu sel surya menghasilkan tegangan 0,5 – 1 Volt tergantung dari intensitas cahaya matahari dan jenis zat semikonduktor yang dipakai. Untuk intensitas energi yang ada dalam sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi besarnya sekitar 1000 Watt. Tapi karena daya guna konversi energi radiasi menjadi energi listrik berdasarkan efek fotovoltaik baru mencapai 25%, sehingga produksi listrik maksimal yang dihasilkan sel surya baru mencapai 250 watt per m^2 (Salman, 2013).

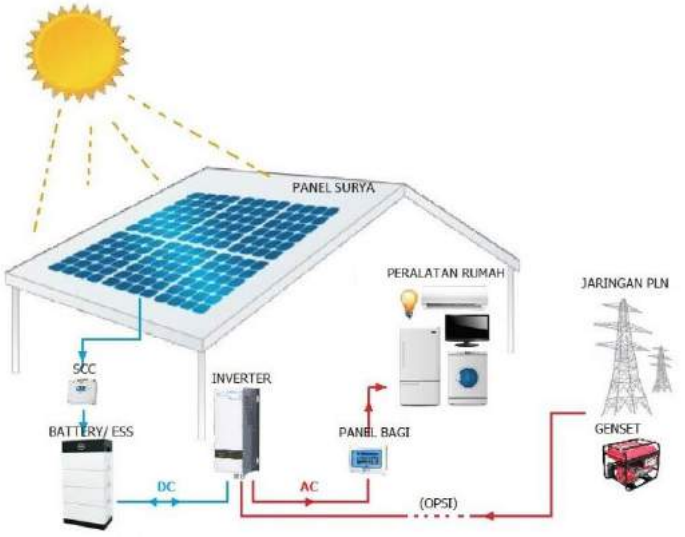
2.2. Sistem PLTS

Berdasarkan teknologi yang digunakan PLTS dibagi menjadi dua sistem yaitu sistem PLTS *grid-connected* dan PLTS *Off – Grid* (*Stand Alone*). PLTS *grid-connected* atau PLTS terinterkoneksi adalah sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan PLN. Manfaat dari PLTS *grid-connected* dapat menghasilkan listrik yang bebas emisi dan ramah lingkungan. Sistem ini memberikan nilai tambah pada konsumen karena dapat mengurangi tagihan listrik rumah tangga atau perkantoran (Putra, 2015).



Gambar 1. Sistem PLTS *Grid Connected* (www.kewsolar.co.uk/techinfo/panels.aspx, 2020).

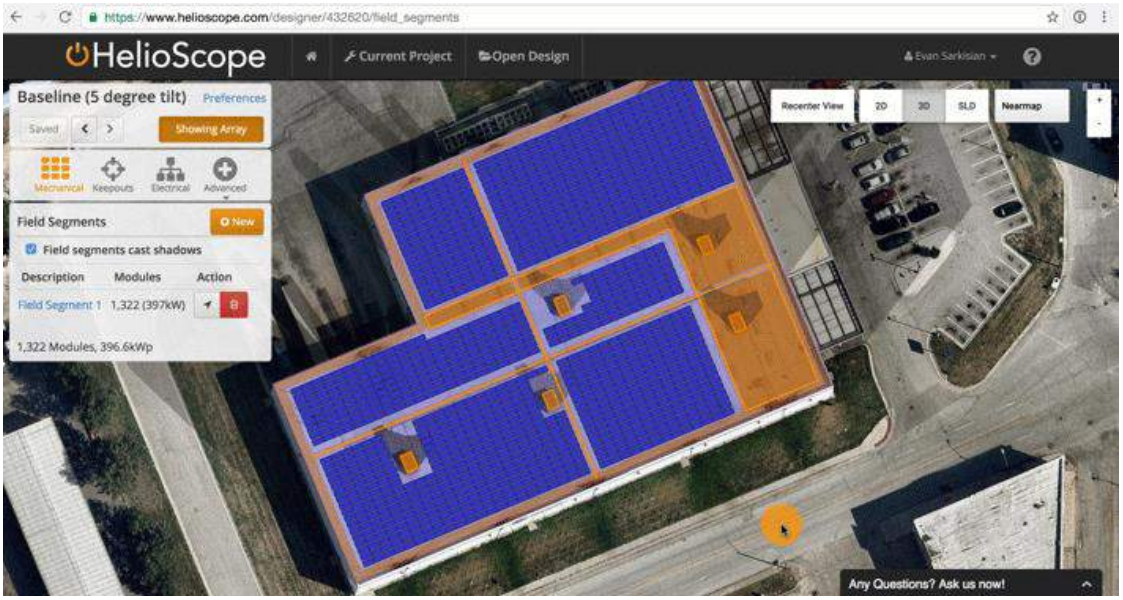
PLTS *Off – Grid* (*Stand Alone*) adalah jenis sistem PLTS yang dirancang untuk menghasilkan energi listrik secara mandiri dalam memenuhi kebutuhan beban listrik. PLTS *Off – Grid* biasanya terdapat pada daerah pedalaman atau pulau-pulau besar yang tidak mendapatkan pasokan listrik.



Gambar 2. Sistem PLTS *Off-Grid* (www.sunergi.co.id/id/sistem-off-grid, 2020).

2.3. HelioScope

HelioScope adalah sebuah program baru yang bersifat *open software* berbasis website. HelioScope diperkenalkan oleh Folsom Lab USA yang digunakan untuk merancang sistem fotovoltaik seperti beberapa fitur PVSyst dan menambahkan fungsionalitas desain AutoCAD, yang memungkinkan perancang untuk melakukan desain lengkap dalam satu paket. Alamat lokasi, konfigurasi array, modul PV dan spesifikasi inverter adalah syarat input utama yang diperlukan HelioScope. Perangkat lunak ini memungkinkan pengguna untuk memperkirakan produksi energi yang menghitung atas kerugian akibat cuaca dan iklim. *Shading*, pengkabelan, efisiensi komponen, ketidakcocokan panel, dan penggunaan lama (penuaan) bisa juga dianalisis untuk memberikan rekomendasi untuk peralatan dan tata letak susunan. Alat ini menampilkan produksi tahunan, kumpulan data cuaca, rasio kinerja, dan parameter sistem lainnya untuk hasil simulasi (Umar et al, 2018).



Gambar 3. Tampilan HelioScope (www.helioscope.com, 2020).

Pada penelitian ini menggunakan HelioScope dimana perancang dapat memasukkan lokasi gedung yang akan diteliti dan langsung terkoneksi dengan Google Earth sehingga dapat mempermudah perancang dalam merancang sistem PLTS pada gedung yang akan diterapkan. Pada

HelioScope juga telah disediakan database panel surya dan inverter sehingga perancang dapat memilih komponen PLTS. Selain HelioScope ada beberapa aplikasi untuk merancang PLTS seperti PVSyst, System Advisor Model (SAM), dan Homer.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan di Dinas PUP-ESDM D. I. Yogyakarta. Tahapan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Melakukan observasi pada gedung Dinas PUP-ESDM D. I. Yogyakarta untuk mengetahui kondisi gedung, letak secara geografis serta mengumpulkan data-data yang menunjang penelitian.
2. Menghitung luasan atap untuk penempatan fotovoltaik menggunakan HelioScope, dimana pada HelioScope telah terhubung langsung dengan Google Earth.
3. Menentukan banyaknya modul surya yang dapat dipasang pada atap gedung dan daya yang diperoleh.
4. Melakukan simulasi dengan menggunakan HelioScope untuk menentukan produksi energi dari PLTS.
5. Mengetahui hasil produksi energi yang diperoleh.

4. Hasil dan Pembahasan

Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral (PUP-ESDM) Yogyakarta merupakan gedung instansi pemerintah. Kantor Dinas PUP-ESDM Yogyakarta terletak di Jalan Bumijo No. 5 Bumijo, Kecamatan Jetis, Kota Yogyakarta. Kantor ini terletak pada *latitude* 7°47'11.64"S dan *longitude* 110°21'44.89"T. Kantor Dinas PUP-ESDM DIY memiliki tiga gedung utama. Gedung Kantor Dinas PUP-ESDM DIY memiliki 2 lantai dengan luas area sebesar 3.703,72 m^2. Kapasitas jaringan (PLN) yang terpasang pada tahun 2018 sebesar 71.500 Va atau setara dengan 57.200 W. Konsumsi energi listrik pada tahun 2018 sebesar 98.773 kWh. Gedung kantor Dinas PUP-ESDM DIY ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Lokasi gedung kantor Dinas PUP-ESDM D. I. Y (Google Earth, 2020).

Untuk mengetahui potensi daya listrik optimal yang mampu dihasilkan dari atap gedung Dinas PUP-ESDM DIY maka yang perlu dilakukan yaitu mengetahui luas atap masing-masing gedung dari

sisi atap gedung yaitu sisi utara, sisi timur, sisi selatan dan sisi barat. Namun yang akan dihitung hanya dari sisi utara, sisi timur dan sisi barat yang menerima pancaran sinar matahari dari terbit sampai terbenam karena posisi gedung berada pada bagian selatan garis khatulistiwa. Luasan atap dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas atap gedung Dinas PUP-ESDM DIY sisi utara, timur, dan barat

Gedung	Luasan Atap tiap sisi (m^2)		
	Utara	Timur	Barat
Gedung 1	30	42	42
Gedung 2	30	33	81
Gedung 3	30	42	42

Pada tabel 1, dapat dilihat bahwa sisi terluas adalah sisi bagian timur dan barat dari masing-masing gedung sedangkan sisi terkecil adalah sisi bagian utara.

Setelah mengetahui luasan atap gedung, maka simulasi produksi energi listrik dengan menggunakan HelioScope dapat dilakukan. Pada simulasi ini, diperlukan input dari dua komponen fotovoltaik, yaitu modul surya dan inverter. Hal yang diperlukan dalam pemilihan modul surya yaitu ketersediaan modul surya pada database HelioScope. Modul surya yang dipilih dalam simulasi ini yaitu Jinko Solar, JKM 300P-72 (300W) yang diproduksi oleh Jinko Solar. Pemilihan modul surya Jinko Solar karena memiliki kualitas yang mumpuni dan menggunakan teknologi terbaik di kelasnya. Spesifikasi modul surya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi panel surya Jinko Solar, JKM 300P-72 (300W).

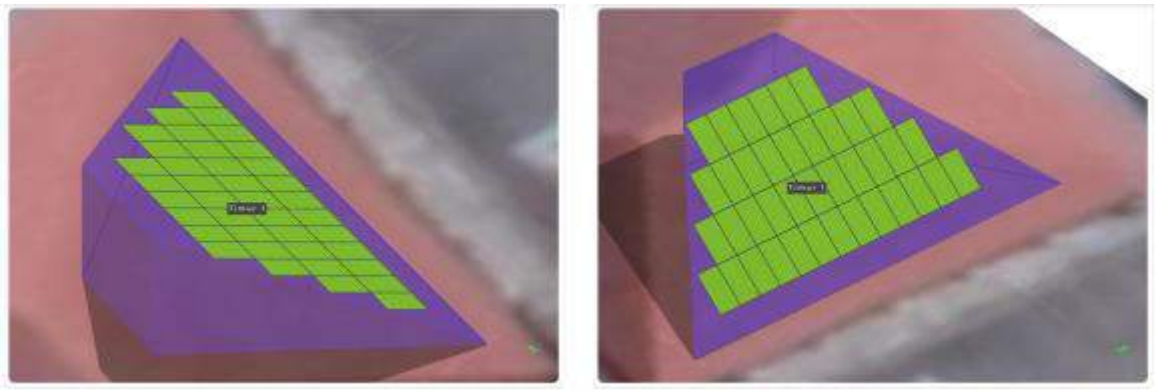
Modul Type	JKM 300P	
	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	300 Wp	221 Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	36.6 V	33.7 V
Maximum Power Current (Imp)	8.20 A	6.56 A
Open-circuit Voltage (Voc)	45.3	42.3 V
Short-circuit Current (Isc)	8.84 V	7.16 A
Module Efficiency STC	15.46 %	
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45 ± 2^0C	
Irradiance	1000 W/m2	800 W/m2

Pemilihan inverter disesuaikan dengan kapasitas kerja inverter yang mendekati kapasitas terpasang PLTS (Tabel 4). Inverter yang digunakan yaitu inverter Sunny Tripower, dimana inverter ini memiliki produksi energi yang efisiensinya tinggi, fleksibilitas desain yang baik, dan kompatibilitas dengan banyak modul surya. Inverter Sunny Tripower yang digunakan pada simulasi ini adalah Sunny Tripower 6000TL, Sunny Tripower 7000TL, Sunny Tripower 8000TL, Sunny Tripower 10000TL, dan Sunny Tripower 12000TL dengan spesifikasi masing-masing inverter dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Inverter Sunny Tripower 6000TL, 7000TL, 8000TL, 10000TL dan 12000TL

Karakteristik	Spesifikasi				
	Sunny Tripower 6000TL	Sunny Tripower 7000TL	Sunny Tripower 8000TL	Sunny Tripower 10000TL	Sunny Tripower 12000TL
Max. DC power	9000 Wp	13500 Wp	13500 Wp	13500 Wp	18000 Wp
Max. input voltage	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	295 V – 800 V/580 V	290 V – 800 V / 580 V	330 V – 800 V / 580 V	370 V – 800 V / 580 V	440 V – 800 V / 580 V
Min. input voltage / initial input voltage	150 V / 188 V	150 V/ 188 V	150 V/ 188 V	150 V/ 188 V	150 V/ 188 V
Max. input current per string input A / input B	11 A / 10 A	15 A / 10 A	15 A / 10 A	18 A / 10 A	18 A / 10 A
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	6000 W	7000 W	8000 W	10000 W	12000 W
Max. apparent AC power	6000 Va	7000 Va	8000 Va	10000 Va	12000 Va
Max. efficiency	98 %	98 %	98 %	98 %	98 %

Jumlah modul fotovoltaik dapat diketahui setelah mengetahui luasan atap serta menentukan kapasitas modul surya (berdasarkan data dimensi modul surya). Penentuan jumlah modul yang dapat dipasang dilakukan dengan HelioScope, dimana pada HelioScope penentuan jumlah modul menyesuaikan dengan luasan dan bentuk atap atau kemiringan atap gedung seperti pada Gambar 5 dengan kemiringan atap 30^0.



Gambar 5. Model 3D penempatan PLTS atap sisi Timur.

Setelah menentukan jumlah modul dengan menyesuaikan bentuk atap, maka dapat diketahui jumlah modul surya yang dapat dipasang pada atap gedung Dinas PUP-ESDM DIY dan jumlah inverter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah modul surya yang dapat dipasang pada atap gedung Dinas PUP-ESDM DIY dan penggunaan inverter.

Lokasi PLTS	Jumlah Inverter (Unit)	Kapasitas Inverter (W)	Jumlah Modul (Unit)	Kapasitas Modul (Wp)	Kapasitas Terpasang (Wp)
Gedung 1 bag. Utara	1	8000	25	300	7500
Gedung 2 bag. Utara	1	8000	26	300	7800
Gedung 3 bag. Utara	1	7000	23	300	6900
Sub Total Bag. Utara	3		74		22200
Gedung 1 bag. Timur	1	12000	40	300	12000
Gedung 2 bag. Timur	1	10000	32	300	9600
Gedung 3 bag. Timur	1	12000	39	300	11700
Sub Total Bag. Timur	3		111		33300
Gedung 1 bag. Barat	1	6000	20	300	6000
Gedung 2 bag. Barat	2	8000	53	300	15900
Gedung 3 bag. Barat	1	6000	20	300	5600
Sub Total Bag. Barat	4		93		27500

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa sisi timur dan sisi barat gedung dapat dipasangi modul surya paling banyak dengan jumlah modul pada sisi timur sebanyak 111 modul dan sisi barat sebanyak 93 modul. Kapasitas terpasang sisi timur sebesar 33.300 Wp dan sisi barat sebesar 27.500 Wp. Sisi utara gedung merupakan jumlah paling sedikit untuk dipasangi modul yaitu 74 modul dengan kapasitas terpasang sebesar 22.200 Wp. Setelah mengetahui jumlah modul, inverter dan potensi daya terpasang, maka selanjutnya dapat mengetahui produksi energi yang dapat dihasilkan dari atap gedung dengan melakukan simulasi dengan menggunakan HelioScope. Potensi energi yang dihasilkan dari fotovoltaik yang dipasang pada gedung Dinas PUP-ESDM DIY dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil simulasi produksi energi fotovoltaik Dinas PUP-ESDM DIY.

Gedung	Produksi Energi Fotovoltaik (kWh/tahun)			Total (kWh/Tahun)
	Utara	Timur	Barat	
Gedung 1	9.937,3	15.427,6	7.736,5	33.101,4
Gedung 2	10.320,0	12.246,6	20.460,5	43.027,1
Gedung 3	9.156,8	15.029,8	7.256,6	31.443,2
Total	**29.414,1**	**42.704,0**	**35.453,6**	**107.571,7**

Berdasarkan tabel 4 dan tabel 5, lokasi penempatan fotovoltaik yang optimal yaitu pada atap sisi timur gedung 1, sisi timur gedung 2, sisi timur gedung 3, sisi barat gedung 2 dan sisi utara gedung 2 dengan total kapasitas terpasang sebesar 57.000 Wp dimana daya ini tidak melebihi kapasitas jaringan (PLN). Total potensi energi yang dihasilkan dari masing-masing atap yaitu sisi timur gedung 1 sebesar 15.427,6 kWh/tahun, sisi timur gedung 2 sebesar 12.246,6 kWh/tahun, sisi timur gedung 3 sebesar 15.029,8 kWh/tahun, sisi barat gedung 2 sebesar 20.460,5 kWh/tahun dan sisi utara gedung 2 sebesar 10.320,0 kWh/tahun. Total potensi energi yang dihasilkan dari kelima atap tersebut sebesar 73.484,5 kWh/tahun dan mampu menyuplai kebutuhan energi Dinas PUP-ESDM sebesar 74,42 %.

6. Kesimpulan

Lokasi penempatan fotovoltaik yang optimal pada gedung Dinas PUP-ESDM yaitu pada atap sisi timur gedung 1, sisi timur gedung 2, sisi timur gedung 3, sisi barat gedung 2 dan sisi utara gedung 2 dengan total potensi daya sebesar 57.000 Wp. Total produksi energi yang dihasilkan dari masing-masing atap yaitu sisi timur gedung 1 sebesar 15.427,6 kWh/tahun, sisi timur 2 sebesar 12.246,6

kWh/tahun, sisi timur 3 sebesar 15.029,8 kWh/tahun, sisi barat gedung 2 sebesar 20.460,5 kWh/tahun dan sisi utara gedung 2 sebesar 10.320,0 kWh/tahun. Total produksi energi yang dihasilkan dari kelima atap tersebut sebesar 73.484,5 kWh/tahun dan mampu menyuplai kebutuhan energi Dinas PUP-ESDM sebesar 74,42 %.

7. Saran

Dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi peneliti yang lain mengenai PLTS. Saran dari penelitian ini adalah penelitian ini dapat ditambahkan dengan skema kebijakan energi yang berlaku di Indonesia sehingga dapat menarik minat masyarakat untuk penggunaan energi terbarukan khususnya energi surya.

Daftar Pustaka

Badruzzaman, Y. (2013). Roadmap Energy di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Teknik Elektro Terapan*, *2*(1), 18 – 30.

Buresh, M. (1983). *Photovoltaic Energy System Design and Installation*, McGraw Hill Book Company, United States of America.

Hasan, H. (2012). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pulau Saugi. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan*, *10*(2). 169-180.

Putra, T. G. (2015). Analisa Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 15 Kw Di Dusun Asah Teben Desa Datah Karangasem. Skripsi, Universitas Udayana.

Salman, R. (2013). Analisis Perencanaan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Perumahan (*Solar Home System*). *Majalah Ilmiah Bina Teknik*, *1*(1), 46-51.

Statistik Ketenagalistrikan 2018. (2019). Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.

Statistik PLN 2018. (2019). Perusahaan Listrik Negara (PLN). Jakarta.

Tarigan, E., Kartikasari, F. D. (2017). Analisis Potensi Atap Bangunan Kampus sebagai Lokasi Penempatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Listrik. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, *1*(1), 101-110.

Umar, N., Bora, B., Banerjee, C., Panwar, B. S. (2018). Comparison of Different PV Power Simulation Softwares: Case Study on Performance Analysis of 1 MW Grid-Connected PV Solar Power Plant. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, *7*(7), 11-24.

UNEP. (2009). *Buildings And Climate Change: Summary For Decision-Makers*. United Nations Environment Program.

www.earth.google.com/web/ Akses tanggal 10 Januari 2020.

www.helioscope.com/designer/ Akses tanggal 11 Juni 2020.

www.kewsolar.co.uk/techinfo/panels.aspx Akses tanggal 11 Juni 2020.

www.sunergi.co.id/id/sistem-off-grid Akses tanggal 11 Juni 2020.

PRODUKSI GAS METANA DARI LIMBAH JERAMI PADI DENGAN INOKULASI MIKROORGANISME RUMEN SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN

Noviyanto, Farah Amirotus S, Veny Uli A, Hazrul Anwar, Setiyo Gunawan, Tri Widjaja,

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi IndustriInstitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Surabaya 60111
E-mail : *yayansumenep@gmail.com*

Abstrak

Sumber daya minyak dan gas alam dunia yang berasal dari energi fosil semakin berkurang. Sehingga pengembangan penelitian sumber energi alternatif semakin sering dilakukan, salah satunya adalah produksi gas metana secara anaerobik. Gas metana menghasilkan rasio energi output/input yang cukup besar yaitu 28 Mj/Mj. Sumber gas metana yang dipakai dalam penelitian ini adalah biomassa berlignoselulosa berupa limbah jerami padi, karena jumlahnya mencapai 180 juta ton tiap tahunnya dan sebanyak 36-62% dibuang dan dibakar oleh masyarakat. Selama ini fermentasi anaerobik biomassa berlignoselulosa banyak mengalami kendala, karena sulitnya tiga polymer selulosa, lignoselulosa dan hemiselulosa dipecah oleh bakteri penghasil metana.Tujuan penelitian ini adalah meneliti pengaruh mikroorganisme rumen dalam produksi biogas dari limbah jerami padi. Diharapkan dengan inokulasi mikroorganisme rumen, yield metana yang dihasilkan lebih baik dan prosesnya bisa lebih cepat sehingga limbah jerami padi bisa dimanfaatkan menjadi sumber energy terbarukan.Metodologi penelitian yang dilakukan pertama-tama adalah mem-pretreatment jerami padi dengan thermal dan mekanis untuk memudahkan degradasi terhadap lignin yang mengganggu fermentasi anaerobik jerami padi, kemudian menginokulasikan mikroorganisme rumen dengan variabel volume 5%, 10% dan 15%. Kondisi operasi penelitian dengan sistem batch selama 21 hari, pH 6-7, suhu 30–40°C, dan tekanan 1 atm. Hasil penelitian terbaik sementara adalah konsentrasi CH_4 pada variabel 15% pada hari ke – 21 sebesar 56.484 ppm.

***Kata Kunci**: Biogas, Fermentasi anaerobik, Limbah jerami padi, Mikroorganisme Rumen*

Abstract

Oil and natural gas resources that comes from fossil energy keeps diminishing. So research developments of alternative energy sources are increasingly being carried out, one of which is anaerobic production of methane gas. Methane gas produces a large enough ratio of energy output/input of 28 Mj/Mj. The source of methane gas used in this study was berlignoselulosa biomass in the form of rice straw waste, because its number reaches 180 million tons per year and as much as 36-62% of it is discharged and burned by the public. Currently, anaerobic fermentation of biomass berlignoselulosa experiences many obstacles, because of the difficulty of three polymers which are cellulose, lignocellulose and hemicellulose to be broken down by methane-producing bacteria. The purpose of this study was to investigate the effect of rumen microorganisms in the production of biogas from rice straw waste. It was expected that by rumen microorganisms inoculation, the resulting methane yield would be better and faster so that rice straw waste could be utilized as a source of renewable energy. The research methodology was first to pretreatment rice straw backs with thermal and mechanical degradation of the lignin to facilitate disruptive anaerobic fermentation of rice straw, then to inoculate the rumen microorganisms with volume variable of 5%, 10% and 15%. Operating conditions of the study with a batch system for 21 days, pH 6-7, a temperature of 30 - 40 ° C, and a pressure of 1 atm. The best research result so far was the concentration of CH4 in the variable 15% at 21st day with the amount of 56484 ppm.

***Keywords**: biogas, anaerobic fermentation, waste rice straw, Rumen Microorganisms*

PENDAHULUAN

Produksi hidrogen, gas alam, bio-oil, biogas, alcohol, biodiesel dari sumber biomassa terbarukan menjadi topik utama diseluruh dunia dengan prospeknya sebagai pengganti fossil fuel dan kemampuanya untuk mengurangi polusi udara (Corro dkk., 2007). Gas metana adalah bahan bakar yang bisa dihasilkan dari proses anaerobik.

Biomass dari limbah pertanian bisa digunakan dalam memproduksi metana. Limbah biomass dari bahan pangan bisa digunakan dalam proses anaerobik, menggunakan mikroorganisme khusus sebagai pre-treatment awal dari limbah untuk menaikkan yield metana dan stabilitas produk akhir. Penggunaan sisa industri pangan dalam bioprosess, bisa mengurangi pencemaran lingkungan (Brand dkk., 2000; Pandey dkk., 2000). Energi yang dihasilkan dari biomass adalah teknologi yang penting untuk keberlajutan produksi energi terbarukan (Baba dkk., 2013).

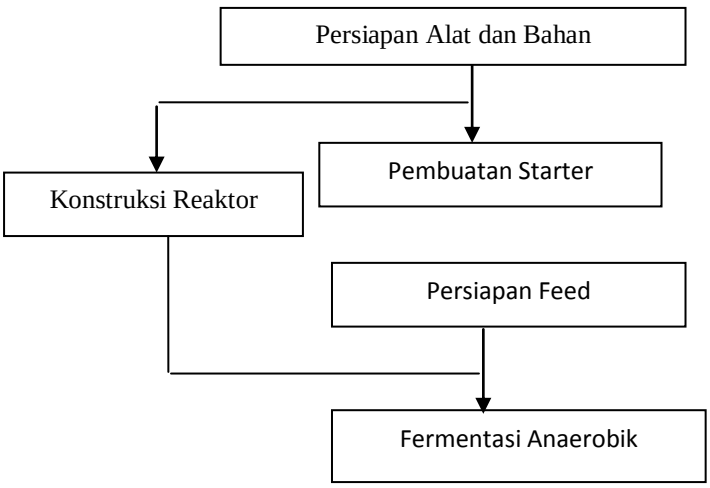
Produksi metana menggunakan biomassa memiliki beberapa kendala yang bisa menghambat proses methanogenesis. Hambatan terjadi karena biomassa selulosa terdiri dari tiga buah polymer yang berdekatan: selulosa, hemiselulosa dan lignin (Hendriks dan Zeman, 2009). Pada penelitian ini, model sebagai biomassa selulosa yang digunakan adalah jerami padi. Jerami padi mengandung 37.71% selulosa; 21,99% hemiselulosa; 16.62% lignin (dewi, 2002). Pada tahun 2010, Departemen Pertanian memperkirakan jumlah jerami yang dihasilkan lahan sawah se Indonesia adalah 84 juta ton jerami. Pemanfaatan jerami ini selain sebagai pakan ternak dan pupuk organik masih bisa diambil gas metana nya untuk sumber energi terbarukan (Trubus, 2010). Namun kenyataannya jerami padi masih sering dibakar oleh para petani karena belum bisa memanfaatkanya sebagai sumber energi terbarukan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meneliti pengaruh inokulasi mikroorganisme rumen pada produksi metana dari jerami padi.

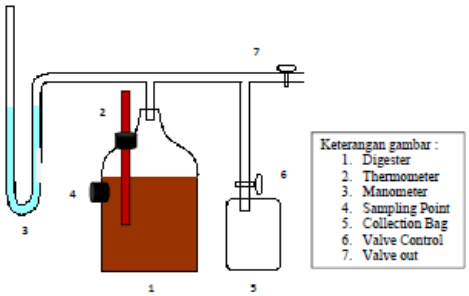
METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah jerami padi dari daerah Sumenep-Madura, cairan rumen dari RPH Pegirian Surabaya, sebagai nutrisi bakteri adalah 2 g/l CH_3COONa, 4 g/l NH_4Cl, 0.06 g/l KH_2PO_4, 0.025 g/l $CaCl_2.2H_2O$, 0.025 g/l $MgCl_2.6H_2O$, 0.005 g/l $CoCl_2.6H_2O$, 0.005 g/l $NiCl_2.6H_2O$, 0.1g yeast extract, dan peralatan tambahan seperti kertas saring Whattman, kasa steril, kertas tisu, glukosa, $K_2Cr_2O_7$, $NaOH$, H_2SO_4, kertas pH.

Tahapan dan alat penelitian yang digunakan ditujukkan oleh Gambar 1 dan Gambar 2. Jumlah substrat jerami yang dipakai dalam penelitian ini adalah 443,765 g, yang dicampur dengan air dengan perbandingan volume 1: 2.



Gambar 1. Skematik Penelitian



Gambar 2. Peralatan Anaerobik

Proses anaerobik jerami padi menggunakan peralatan seperti pada Gambar 2. dengan volume reaktor 6 liter, volume kerja 3.7 liter, suhu operasi 30-40 ^{o}C, pH 6-7, tekanan 1 atm, substrat adalah bubuk / powder jerami padi, dengan lama fermentasi 21 hari dan system batch dengan variabel mikroorganisme rumen adalah 5%, 10%, 15% dengan menganalisa hasil gas fermentasi (CH_4) dengan gas chromatografi, analisa COD dan analisa kurva pertumbuhan bakteri.

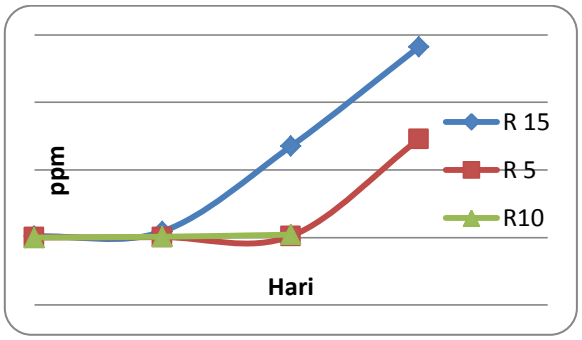
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa chesson terhadap jerami padi yang dianalisa dalam penelitian ini menunjukkan kandungan selulosa sebesar 14,98%, hemiselulosa 28.66% dan lignoselulosa sebesar 11.23%. Terdapat perbedaan hasil analisa jerami padi yang diambil di Sumenep, Madura dibandingkan dengan komposisi menurut Dewi (2002), selilsih kadar selulosa kemungkinan disebabkan adanya selulosa yang hilang pada waktu analisa, seharusnya kadar selulosa lebih tinggi dari kadar hemiselulosa, karena jerami padi mengandung kadar gula total 53,39% dimana glucan (sellulosa) sebesar 63% dan pentosa (hemiselulosa) sebanyak 37% (F. Gu dkk ((2013).

Setelah dilakukan fermentasi jerami padi dengan inokulasi mikroorganisme rumen maka didapatkan konsetrasi gas metana seperti pada Tabel 1 dan perubahan volume gas metana terhadap waktu sebagai berikut :

Tabel 1. Konsetrasi gas Metana terhadap waktu (ppm)

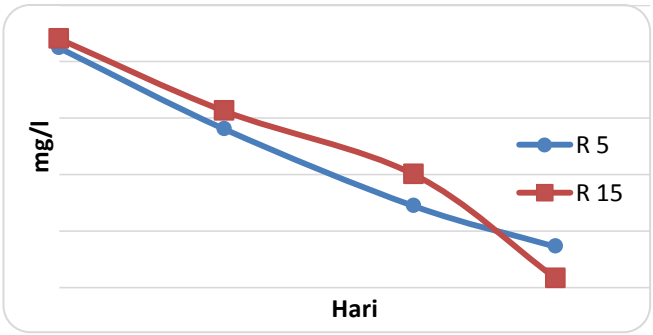
Hari	R-5	R-10	R-15
0	0	0	0
5	49.069	246.332	372.419
10	120.385	869.367	1837.862
15	460.033	Running	27023.8
21	29,215	Running	56,484



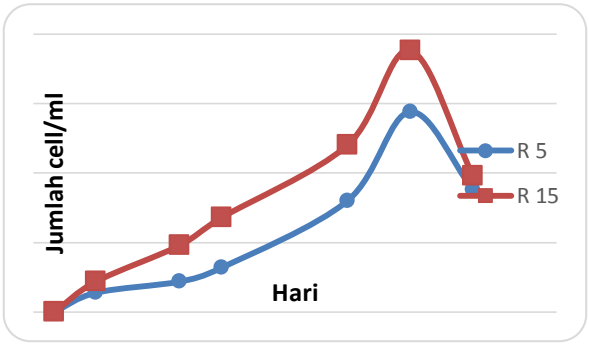
Gambar 3. Konsetrasi Gas Metana Tiap satuan waktu

Dari Tabel 1 dan Gambar 3 bisa dilihat bahwa variabel rumen 15% memiliki nilai konsentrasi paling besar yaitu sebesar 56.484 ppm pada hari ke 21, diikuti olehvariabel 5% sebesar 29.215 ppm pada hari ke 21 dan bisa dilihat terjadi kenaikan yang signifikan pada konsetrasi gas metana antara hari ke 5 sampai hari ke 21, sedangkan pada variabel 5% rumen baru pada hari ke 10 terjadi kenaikan yang signifikan pada konsentrasi gas metana.

Hal ini dikarenakan pada hari ke 0 sampai hari ke 5 dan ke 10 masih terjadi proses hidrolisis material organik kompleks menjadi $C_6H_{12}O_6$ dan proses asidifikasi (Yadvika, 2004), namun setelah hari ke 10 produksi gas metana cenderung meningkat dengan cepat karena sudah terjadi proses acetogenesis dan metanogenesis. Sedangkan pada variabel rumen 10% gas yang terbentuk masih sedikit sama dengan variabel rumen 5% ketika pada hari ke 10 konsentrasi metana tidak begitu besar. Hal ini disebabkan karena volume mikroorganisme yang digunakan masih kurang begitu banyak untuk menghidrolisis lignoselulosa, hemiselulosa dan selulosa pada jerami padi, sehingga membutuhkan waktu lebih lama dari variabel mikroorganisme 15%. Semakin besar volume mikrooganisme rumen maka konsentrasi metana yang dihasilkan akan semakin cepat dan semakin tinggi. Proses anaerobik bahan berlignoselulosa membutuhkan konsentrasi mikrooganisme yang cukup tinggi untuk membantu menghancurkan lignin, hemiselulosa, dan selulosa (Baba, 2013).



Gambar 4. Perubahan COD



Gambar 5. Data Counting Chamber

Dari data Gambar 4 dan Gambar 5 bisa dilihat bahwa nilai COD turun seiring dengan bertambahnya waktu, hal ini menunjukkan bahwa Perubahan nilai COD ini sebagai indikator terbentuknya gas metana, karena nilai COD berhubungan dengan jumlah total bahan organik yang ada. Dengan berkurangnya COD maka bahan organic juga berkurang atau terurai atau terfermentasi menjadi gas metana. Begitu juga dengan kurva pertumbuhan bakteri pada Gambar 5 yang menunjukkan fase log terjadi pada hari ke 5 sampai hari ke 17, setelah hari ke 17 jumlah bakteri mulai menurun. Hal ini sangat berhubungan erat dengan konsentrasi metana yang dihasilkan yang semakin tinggi.

KESIMPULAN

Konsentrasi metana tertinggi dihasilkan oleh variabel rumen 15% sebesar 56,484 ppm sehingga semakin tinggi volume mikroganisme maka semakin tinggi pula konsentrasi metana yang dihasilkan. Proses anaerobik bahan berlignoselulosa membutuhkan konsentrasi mikrooganisme yang cukup tinggi untuk membantu menghancurkan lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Hasil sementara penelitian yang sudah didapatkan adalah konsentrasi CH_4 pada variabel 5% pada hari ke -8 sebesar 49,06 ppm dan naik menjadi 120.5832 ppm pada hari ke -13, untuk variabel volume 15% dari konsentrasi CH_4 372,41 ppm pada hari ke 9. Dan naik menjadi 1837.86211 ppm pada hari ke 15 (Penelitian masih dilanjutkan di laboratoriumTeknologi Biokimia Teknik Kimia ITS).

DAFTAR PUSTAKA

Baba, Y., Tada, C., Fukuda, Y., Nakai, Y., 2013. *"Improvement of Methane Production from Waste Paper by Pretreatment of Rumen Fluid", Bioresource Technology* , Vol. 128, Hal. 94-99

Brand, D., Pandey, A., Roussos, S., Soccol CR., 2000. *"Biological Detoxification of Coffe Husk by Filamentous Fungi Using A Solid State Fermentation Systems", Enzyme Microbiology Technology*, Vol. 26, Hal. 127-130.

Corro, G., Panigua, L., Pal, U., Banuelos, F., Rosas, M., 2013. *"Generation of Biogas from Coffe Pulp and Cow-Dung Co-Digestion: Infrared studies of postcombustio emission",* Energy Conversion and Management, Vol. 74, hal. 471-481.

Dewi, K.H., 2002. "Hidrolisis Limbah Hasil Pertanian Secara Enzimatik", Akta Agrosia, Vol. 5 Hal. 67-71.

Gu, F., Yang, L.F., Jin, Y.C., Han, Q., Chang, H.M., Jameel, H., Phillips, R., 2012. "*Green liquor pretreatment for improving enzymatic hydrolysis of corn stover"*. Bioresour. Technol. 124, 299–305.

Hendriks, A.T.W.M., Zeman, G., 2009. *"Pretreatments to Enhance The Digestibility of Lignoselulosic Biomass",* Bioresource Technology, Vol. 100, Hal. 10-28.

Trubus, 2010. "Gas Jerami Nyalakan Kompor", Trubus Online, http://www.trubus-online.co.id/

Yadvika, Santosh, Sreekishnan T.R., Kohli, S., Rana, V., 2004. *"Enhancment of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Technique-A Review",* Bioresource Technology, Vol 95, Hal 1-10.

PROSPEK KEBERLANJUTAN WISATA ENERGI TERBARUKAN DI PANTAI BARU, KABUPATEN BANTUL

Dian Dwi Puspita Sari[1] Dan Bakti Setiawan[2]
[1, 2] UGM Yogyakarta

diandwi.puspita14@gmail.com

ABSTRACT

Tourism conditions for renewable energy in the new coastal tourism area so far have not maximally attracted tourists and the region has not supported tourism activities. This can be seen from the imbalance in the increase of coastal tourists with renewable energy, which should get attention because it is a benchmark of the mismatch between demand and the availability or availability of existing fields. This study aims to determine the handling of tourism areas for renewable energy that are in accordance with the wishes of tourists, with the aim of tourism studies, supply-demand, and drawing conclusions and recommendations for handling tourism. The approach uses the Quantitative - Two Steps Questionnare method, with the research instrument in the form of a questionnaire through two stages. The result is a discrepancy between supply and demand for infrastructure. Then it needs to be improved so that the tourist area continues.There is a demand for 6 amenities (gates, parking lots, toilets, lodgings, restaurants, souvenir shops) and the development of promotional information by managers within the coastal area through social media. Assessment of supply-demand, namely medium-importance (attractions, accessibility, promotional information), medium-is very important for amentias. The average value is the condition of moderate supply, meaning that it needs improvement because demand says the availability of the field is important to continue the potential of renewable energy as a tourist attraction. Environmental aspects that are very influential in sustainability, if the environment is good then the socio-culture improves and the economy increases.

Keywords: *supply-demand, sustainability*

PENDAHULUAN

Berkembangnya wisata Pantai Baru menjadi salah satu daya tarik baru di Kabupaten Bantul merupakan salah satu contoh keberhasilan dari program pengembangan pariwisata. Pantai yang sebelumnya bergabung dengan pantai pandansimo ini kini telah menarik lebih banyak wisatawan daripada pandansimo. Kawasan wisata pantai yang memiliki keunggulan potensi yaitu energi terbarukan yang telah menjadi tempat kunjungan baru atau daya tarik wisata.

Jumlah kunjungan wisatawan pantai baru meningkat, tercatat pada 2016 sebanyak 157.992 wisatawan dan 2017 sebanyak 661.730 wisatawan, kenaikan 80% dari tahun sebelumnya. Sedangkan pengunjung energi terbarukan tercatat pada 2016 sebanyak 4.363 pengunjung dan 2017 sebanyak 4.925 pengunjung, kenaikan 11% tahun sebelumnya. Maka dapat dilihat nilai prosentase yang masih tergolong rendah yaitu 8% dari 661.730 wisatawan pantai baru masuk ke energi terbarukan.

Dugaan masalah yang terjadi dalam kawasan wisata edukasi tersebut yaitu dugaan *Supply-side* (penawaran wisata atau ketersediaan di lapangan) lebih rendah daripada *Demand-side* (permintaan pasar), hingga dugaan menurunnya partisipasi masyarakat lokal dalam mengembangkan potensi yang ada. Dalam Gunn (2002) juga menyatakan bahwa kesesuaian antara sisi ketersediaan (*supply*) dan sisi permintaan (*demand*) adalah kunci keberhasilan dalam pengembangan kepariwisataan yang benar.

Dugaan minimnya *supply* atau yang dimaksud ketersediaan di lapangan lebih kecil yaitu Ketersediaan sarana/prasarana di lapangan lebih kecil , dilihat dari kawasan berkembang menjadi wisata edukasi atau wisata minat khusus tetapi sarana/prasarana belum berkembang maksimal untuk memfasilitasi kegiatan wisata di energi terbarukan. Yoeti (1997 : 165) berpendapat bahwa berhasilnya suatu tempat wisata hingga tercapainya industri wisata sangat tergantung pada tiga A (3A), yaitu atraksi (*attraction*), mudah dicapai (*accessibility*), dan fasilitas (*amenities*).

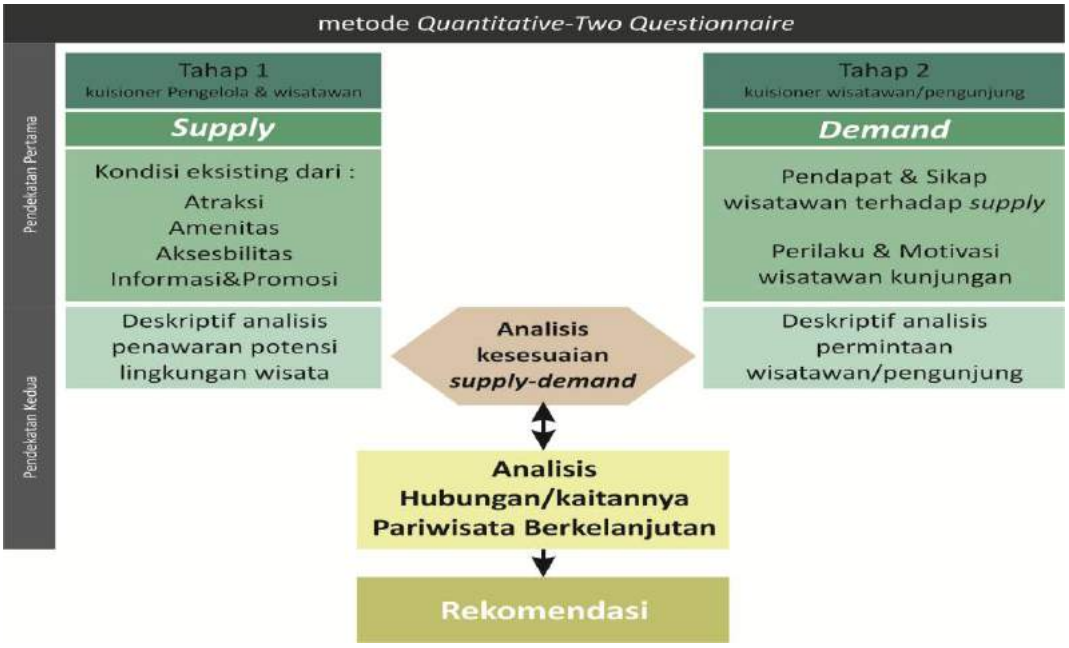
Dugaan penurunan partisipasi Sumber Daya Masyarakat (SDM) atau masyarakat lokal dalam mengembangkan wisata edukasi tersebut sangat berdampak pada keberlanjutan energi terbarukan tersebut beserta wisatanya. Pembangunan energi terbarukan di kawasan wisata pantai baru tersebut ditujukan untuk masyarakat, yang diharapkan untuk peningkatan ekonomi, inovasi teknologi, serta efektif mengelola potensi yang ada sehingga dapat berdampak positif pada beberapa sektor salah satunya yaitu sektor pariwisata. Berdasarkan nilai penting tersebut maka perlunya evaluasi dan arahan untuk keberlanjutan kawasan. Sehingga daya tarik wisata minat khusus tersebut tidak terancam hilang dan berdampak positif pada peningkatan mutu Sumber Daya Manusia (SDM) serta masyarakat lokal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Quantitative - Two Steps Questionnaire, dengan tujuan untuk mencari dan membandingkan kesesuaian antara 5 faktor (atraksi wisata, amenitas/fasilitas sarana prasarana, aksesibilitas, informasi&promosi) sebagai supply side dengan kebutuhan wisatawan (pendapat dan sikap, serta perilaku dan motivasi berwisata) sebagai demand side. Pendekatan studi ini dapat juga dikatakan deskriptif analitis. Deskriptif, karena sangat diharapkan untuk memperoleh gambaran secara menyeluruh dan sistematis mengenai kajian-kajian fenomena yang didapat. Analitis, karena

dari fenomena yang didapat kemudian akan dilakukan analisis keterhubungan antara supply-demand dengan pariwisata berkelanjutan.

Menentukan parameter dan indikator yang akan digunakan dalam penelitian ini, maka perlu ditetapkan definisi konsep dan desain studi dari kajian pustaka yang digunakan dalam pengkajian ini.



Gambar 1. Metode Quantitative-Two Questionnaire

Pendekatan pertama adalah pendekatan deskriptif, yang digunakan untuk mengkaji kondisi eksisting supply-demand energi terbarukan, baik melalui data sekunder seperti dokumen maupun literatur maupun data primer seperti survey dan penyebaran kuesioner. Lalu pendekatan kedua, yaitu analisis hasil supply-demand yang digunakan untuk analisis keberlanjutan pariwisata energi terba- rukan di pantai baru.

Analisis hubungan dengan pariwisata berkelanjutan yaitu jika permintaan wisatawan / pengunjung terpenuhi pada penawaran potensi wisata atau seimbang dan kepuasan wisatawan meningkat, maka akan berdampak bagi keberlanjutan sosial-budaya di lingkungan masyarakat lokal, ekonomi meningkat akan membuka usaha baru, dan lingkungan terawat terjaga untuk daya tarik wisata itu sendiri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi atraksi wisata, amenitas dan sarana/prasarana pendukung eksisting di wisata energi terbarukan pantai baru ini dilakukan dengan menggunakan data eksisting yang ada di wisata energi terbarukan pantai baru yang didapat dari hasil observasi lapangan dan dari hasil metode Quantitative - Two Steps Questionnaire putaran I Data kondisinya selain diperoleh dari hasil observasi lapangan juga dari nilai rata-rata jawaban responden atas kondisi pada putaran II.

Penawaran (*Supply-side*)

Atraksi wisata

Potensi energi terbarukan di kawasan wisata pantai baru tersebut yang menjadi atraksi utama yaitu Kincir angin dan Panel surya untuk energy hybrid serta kawasan kandang sapi untuk energi

biogas. Melihat, mengamati, dan mempelajari tentang potensi tersebut menjadi kegiatan wisata edukasi yang dirangkai menggunakan suatu perjalanan internal di kawasan.

Tabel 1 Atraksi dan Kegiatan Wisata Eksisting di Energi Terbarukan

ATRAKSI WISATA		*MEAN*	KONDISI
1	Kincir Angin (*Energy Hybrid*)	3.00	Sedang
2	Panel Surya (*Energy Hybrid*)	3.07	Sedang
3	Kawasan Kandang sapi (Energi Biogas)	3.00	Sedang
KEGIATAN WISATA		***MEAN***	**KONDISI**
1	Melihat/ Mengamati	3.07	Sedang
2	Mempelajari	3.07	Sedang
3	Mempraktekkan/ Mengaplikasikan	4.00	Baik

(Sumber: Data Primer yang diolah, 2018)

Amenitas

Amenitas atau fasilitas/ sarana prasarana yang baik ialah mampu memfasilitasi satau mendukung kegiatan wisata dengan baik.

Tabel 2 Amenitas Eksisting di Energi Terbarukan

AMENITAS		*MEAN*	KONDISI
1	Pintu Gerbang Utama	3.20	Sedang
2	Kantor Energi Terbarukan	3.20	Sedang
3	Ruang Pertemuan untuk *energy hybrid*	3.93	Baik
4	Ruang Pertemuan untuk energi biogas	3.00	Sedang
5	Ruang Pembelajaran untuk *energy hybrid*	3.67	Baik
6	Ruang Pembelajaran untuk energi biogas	3.00	Sedang
7	Parkiran di *energy hybrid*	4.00	Baik
8	Parkiran di energi biogas	2.00	Buruk
9	Kamar mandi/Toilet di *energy hybrid*	2.80	Sedang
10	Kamar mandi/Toilet di energi biogas	2.00	Buruk

(Sumber: Data Primer yang diolah, 2018)

Aksesibilitas

Akses menuju energi terbarukan yang ada di kawasan wisata pantai baru ini memiliki kualitas kondisi jalan yang baik.

Tabel 3 Aksesbilitas Eksisting di Energi Terbarukan

AKSESBILITAS		*MEAN*	KONDISI
1	Kondisi Jalan masuk kawasan pantai baru	4.40	Sangat Baik
2	Papan petunjuk jalan dari arah kota Yogyakarta ataupun Bantul menuju potensi Energi Terbarukan di Pantai Baru	3.33	Sedang
3	Papan petunjuk jalan dari pintu masuk pantai baru menuju wisata Energi Terbarukan	2.33	Buruk

(Sumber: Data Primer yang diolah, 2018)

Informasi dan promosi

Informasi dan promosi mengenai wisata energi terbarukan sangatlah penting untuk mendatangkan wisatawan umum selain wisatawan pengunjung yang memang datang untuk *study tour*.

Tabel 4 Informasi dan Promosi Eksisting di Energi Terbarukan

INFORMASI dan PROMOSI		*MEAN*	KONDISI
1	Tugu Sistem Inovasi Daerah (SIDA)	3.00	Sedang
2	Online/sosialmedia (Web, Instragram, dsb)	3.00	Sedang
3	Informasi dari petugas Pantai Baru mengenai wisata Energi Terbarukan	2.93	Sedang

4	Promosi dari petugas Pantai Baru mengenai wisata Energi Terbarukan	3.13	Sedang
5	Informasi dari petugas saat mengarahkan/menjelaskan atraksi Energi Terbarukan	4.00	Baik

(Sumber: Data Primer yang diolah, 2018)

Kesimpulan Penawaran (*Supply-side*)

1. Atraksi wisata : Nilai rata-rata sebesar 3.02 (termasuk kriteria sedang) menunjukkan bahwa atraksi wisata pada saat ini adalah sedang. Kondisi obyek dan kawasan tersebut sebagian rusak dan tidak berfungsi.
2. Amenitas wisata : Nilai rata-rata sebesar 3.08 (termasuk kriteria sedang) menunjukkan bahwa amenitas wisata pada saat ini adalah sedang. Kondisi fasilitas-fasilitas tersebut tidak memfasilitasi kegiatan wisata.
3. Aksesbilitas : Nilai rata-rata sebesar 3.40 (termasuk kriteria sedang) menunjukkan bahwa aksesbilitas pada saat ini adalah sedang. Kondisi papan petunjuk arah belum tepat.
4. Informasi dan Promosi : Nilai rata-rata sebesar 3.21 (termasuk kriteria sedang) menunjukkan bahwa informasi dan promosi pada saat ini adalah sedang. Informasi dan promosi belum maksimal oleh petugas atau pengelola energi terbarukan, dan pengelola wisata pantai belum maksimal mempromosikannya.

Permintaan (*Demand-side*)

Analisis permintaan atau demand-side dapat di identifikasi dari pendapat & sikap, perilaku & motivasi, serta tingkat kepentingan supply-side. Berdasarkan uraian dan hasil observasi lapangan pada penawaran, terdapat ketidaksesuaian antara Supply-side dan Demand-side di energi terbarukan Pantai Baru secara ringkas ditampilkan pada tabel 5.8 berikut ini :

Tabel 5 Ketidak sesuaian antara *Supply-side* dengan *Demand-side*

No	Item	Ketidak-sesuaian	
		Supply-side	***Demand-side***
A. ATRAKSI WISATA			
1	Kincir Angin (*Energy Hybrid*)	Sedang	Penting
2	Panel Surya (*Energy Hybrid*)	Sedang	Penting
3	Kawasan Kandang sapi (Energi Biogas)	Sedang	Penting
B. AMENITAS WISATA			
1	Pintu Gerbang Utama	Sedang	Penting
2	Kantor Energi Terbarukan	Sedang	Penting
3	Ruang Pertemuan untuk *energy hybrid*	Baik	Sangat Penting
4	Ruang Pertemuan untuk energi biogas	Sedang	Sangat Penting
5	Ruang Pembelajaran untuk *energy hybrid*	Baik	Sangat Penting
6	Ruang Pembelajaran untuk energi biogas	Sedang	Sedang
7	Parkiran di *energy hybrid*	Baik	Penting
8	Parkiran di energi biogas	Buruk	Penting
9	Kamar mandi/Toilet di *energy hybrid*	Sedang	Penting
10	Kamar mandi/Toilet di energi biogas	Buruk	Penting
C. AKSESBILITAS			
1	Kondisi Jalan masuk kawasan pantai baru	Sangat Baik	Penting
2	Papan petunjuk jalan dari arah kota	Sedang	Sangat Penting

	Yogyakarta/Bantul menuju potensi Energi Terbarukan di Pantai Baru		
3	Papan petunjuk jalan dari pintu masuk pantai baru menuju wisata Energi Terbarukan	Buruk	Penting
D. INFORMASI DAN PROMOSI			
1	Tugu Sistem Inovasi Daerah (SIDA)	Sedang	Penting
2	Online/sosialmedia (Web, Instragram, dsb)	Sedang	Penting
3	Informasi dari petugas Pantai Baru mengenai wisata Energi Terbarukan	Sedang	Penting
4	Promosi dari petugas Pantai Baru mengenai wisata Energi Terbarukan	Sedang	Penting
5	Informasi dari petugas saat mengarahkan /menjelaskan atraksi Energi Terbarukan	Baik	Penting

(Sumber: Data Primer yang diolah, 2018)

Ekuivalensi respon baik dan penting yakni pada respon antara *supply* dengan *demand*, jika *Supply* sudah baik setara dengan *demand* yang mengatakan itu penting maka kesesuaian *supply-demand* sudah ada. Sebaliknya, jika *supply* sedang menuju buruk dan *demand* mengatakan penting maka terjadi ketidaksesuaian *supply-demand.*

Demikian ketidak-sesuaian antara supply-side dengan demand-side yang kondisi saat ini sedang menuju buruk, disini maksudnya adalah secara kuantitas sangat minim juga secara kualitas jauh dari haparan pengunjung/wisatawan sehingga perlu di perbaiki. Sedangkan untuk sarana prasarana yang belum tersedia namun keberadaanya dikehendaki oleh wisatawan ada baiknya ditambahkan untuk memenuhi. Secara ringkas permintaan atau saran dari wisatawan yang harus diadakan yaitu:

Tabel 6 Kondisi *Supply-side* dengan Saran *Demand-side*

NO	ITEM	KONDISI	SARAN
1	Pintu Gerbang Utama *energy hybrid*	Ada	Perlu dikembangkan
2	Pintu Gerbang Utama energi biogas	Tidak ada	Perlu diadakan
3	Kantor Energi Terbarukan	Ada	Perlu dikembangkan
4	Ruang Pertemuan untuk *energy hybrid*	Ada	Perlu dikembangkan
5	Ruang Pertemuan untuk energi biogas	Ada	Perlu dikembangkan
6	Ruang Pembelajaran untuk *energy hybrid*	Ada	Perlu dikembangkan
7	Ruang Pembelajaran untuk energi biogas	Ada	Perlu dikembangkan
8	Parkiran di *energy hybrid*	Ada	Perlu dikembangkan
9	Parkiran di energi biogas	Tidak ada	Perlu diadakan
10	Kamar mandi/Toilet di *energy hybrid*	Ada	Perlu dikembangkan
11	Kamar mandi/Toilet di energi biogas	Tidak ada	Perlu diadakan
12	Penginapan	Tidak ada	Perlu diadakan
13	Rumah Makan/Kuliner	Tidak ada	Perlu diadakan
14	Toko Souvenir	Tidak ada	Perlu diadakan
15	Informasi & promosi pada	Tidak ada	Perlu diadakan

	Sosial Media		
16	Informasi & promosi dari petugas pantai	Tidak ada	Perlu diadakan

(Sumber: Data Primer yang diolah, 2018)

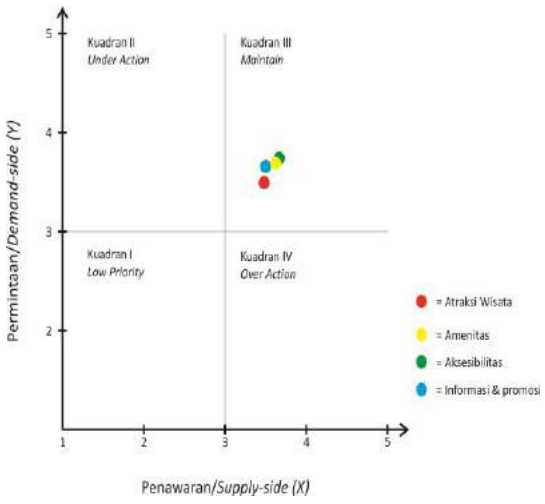
Keberkelanjutan Wisata Energi Terbarukan di Pantai Baru

Melihat dari hasil temuan penawaran dan permintaan melalui metode kuisioner diatas, dapat dianalisis mengenai keberlanjutan kawasan energi terbarukan sebagai tempat wisata. Kesimpulan dari ketidaksesuaian supply dan demand yaitu :

Tabel 7 Kesimpulan ketidak sesuaian *supply* dan *demand*

	Supply-side	***Demand-side***	***Mean***
Atraksi wisata	Sedang (3.02)	Penting (4,09)	3.55
Amenitas	Sedang (3.08)	Sangat Penting (4.40)	3.74
Aksesibilitas	Sedang (3,40)	Penting (4.15)	3.77
Informasi & promosi	Sedang (3,21)	Penting (4.00)	3.60

Berdasarkan tabel kesimpulan tersebut, maka dapat dilihat pada kuadran prospek keberlanjutan sebagai berikut :



Gambar 2. prospek keberlanjutan wisata energi terbarukan
(Sumber : Analisis Peneliti)

Keterangan Kuadran :

Kuadran I (*Low Priority*) : Prospek rendah, *supply* rendah dan *demand* rendah.

Kuadran II (*Under Action*) : Prospek tinggi, *supply* rendah dan *demand* tinggi.

Kuadran III (*Maintain*) : Prospek tinggi, *supply* tinggi dan *demand* tinggi.

Kuadran IV (*Over Action*) : Prospek rendah, *supply* tinggi dan *demand* rendah.

Analisis prospek keberlanjutan wisata energi terbarukan yaitu berprospek tinggi, karena nilai rata-rata antara penawaran dan permintaan dilapangan tinggi, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa saat kondisi eksisting dilapangan diperbaiki memenuhi permintaan terlebih dalam hal informasi dan promosi sehingga dapat dipastikan wisata energi terbarukan berlanjut dan wisatawan makin bertambah dari hanya pengunjung study tour bertambah dengan adanya wisatawan umum.

Dalam penelitian ini, keberlanjutan pariwisata yang dimaksud adalah keberlanjutan dalam aspek lingkungan. Keberlanjutan fisik dari obyek wisata atau benda yang menjadi daya tarik itu sendiri, serta fasilitas atau sarana prasarana yang menjadi pendukung kegiatan wisata.

Secara ringkas hasil kuisioner mengenai penilaian masyarakat terhadap keberlanjutan pariwisata kawasan energi terbarukan di Pantai Baru, yaitu sebagai berikut:

Tabel 8 Penilaian terhadap keberlanjutan energi terbarukan di Pantai Baru

	Mean	**Keterangan**
Pengelola	*Mean* = 3.43 (termasuk kriteria baik)	Keberlanjutan lingkungan yang terdiri dari obyek wisata energi terbarukan dalam kondisi baik dan tetap menjadi daya tarik wisata.
Pelaku Usaha	*Mean* = 4.00 (termasuk kriteria baik)	Keberlanjutan lingkungan yang terdiri dari obyek wisata energi terbarukan dalam kondisi baik dan akan ada peluang usaha saat wisata ini lebih berkembang dan dikembangkan.
Wisatawan	*Mean* = 3.00 (termasuk kriteria sedang)	Keberlanjutan lingkungan yang terdiri dari obyek wisata energi terbarukan dalam kondisi sedang, yang dimaksud ialah lingkungan dari kawasan energi terbarukan dalam keadaan rawan dan perlu perhatian agar diperbaiki.

(Sumber: Data Primer yang diolah, 2018)

Berdasarkan penilaian melalui kuisioner tersebut nilai rata-rata peniliain terhadap keberlanjutan energi terbarukan sebagai obyek wisata yaitu 3.48 termasuk kriteria baik. Yang dimaksudkan dalam hasil tersebut yaitu keberlanjutan pariwisata yang berfokus pada aspek lingkungan dalam keadaan baik, ini dikarenakan sosial budaya masyarakat setempat yang mengelola energi terbarukan yang menghasilkan energi listrik dan biogas untuk digunakan masyarakat serta kawasan wisata pantai tersebut masih berjalan, tetapi lingkungan energi terbarukan tidak berkembang saat energi terbarukan berkembang menjadi tempat wisata, tidak hanya penghasil energi terbarukan untuk kawasan wisata pantai. Berkembangnya fungsi kawasan tersebut mempengaruhi pada aspek lingkungan fisiknya sebagai penawaran wisata atau supply-side serta aspek ekonomi masyarakat lokal yang berkecimpung di energi terbarukan dan wisata pantai karena lokasinya terletak didalam kawasan wisata pantai baru.

Presepsi masyarakat sekitar yang bertugas di energi terbarukan, bertugas di pantai, serta para pelaku usaha dan pengunjung energi terbarukan maupun wisatawan pantai, meyakini bahwa mengembangkan pariwisata mampu memberikan efek positif bagi sosial budaya, ekonomi, dan lingkungan.

KESIMPULAN

1. Pada dasarnya supply-side atau penawaran/ketersediaan di energi terbarukan pantai baru dapat dikatakan cukup memenuhi kegiatan wisata melihat mengamati saja, tetapi kurang menarik dan kurang mendukung. Dimana terdapat ketidaksesuaian terhadap ketersediaan dilapangan dengan presepsi pengunjung maupun pengelola. Namun bila ditelaah lebih dalam, banyak terdapat dinamika yang mendukung perkembangan pariwisata di energi terbarukan pantai baru, seperti pendapat dan motivasi saran terhadap perbaikan kualitas kawasan.
   Dalam penawaran atau supply-side tersebut nilai rata-rata presepsi masyarakat (pengunjung serta pengelola) yaitu sedang, yang artinya ketersedian atraksi, amenitas, aksesbilitas, informasi dan promosi tersebut dalam kondisi kurang baik dan perlu perhatian untuk diperbaiki dan diadakan.
   Beberapa supply-side yang perlu diperbaiki dan dikembangkan yaitu

pada amenitas atau fasilitas pendukung kegiatan wisata (pembelajaran energi terbarukan) seperti ruang pertemuan dan ruang pembelajaran, serta fasilitas lainnya seperti kantor, parkiran, toilet. Sedangkan supply-side yang perlu diadakan sesuai demand-side yaitu pada sarana/prasarana untuk memenuhi tujuan wisata yang baik (something to buy. Yoeti, 1985) yaitu rumah makan/wisata kuliner, penginapan, toko souvenir. Setelah itu, hal yang sangat penting ialah menggencarkan informasi dan promosi dengan media sosial (seperti aktif instagram, aktif web, aktif follow up pengunjung energi terbarukan), serta membangun kesadaran pengelola atau masyarakat sekitar yang berkaitan dengan kawasan energi terbarukan tersebut untuk menyebar luaskan infromasi mengenai potensi obyek wisata yang hanya ada di Pantai Baru Kabupaten Bantul.

2. Prospek keberlanjutan wisata energi terbarukan yaitu berprospek tinggi. Keberlanjutan menjadi tahapan selanjutnya, setelah kegiatan pariwisata ada. supply-demand dengan menyertakan keberlanjutan harus mampu mengembangkan dan membangun pariwisata, dengan kata lain bahwa ketersediaan supply-side (atraksi, amenitas, aksesbilitas, informasi dan promosi) yang merupakan obyek dari permintaan atau demand-side (pendapat & sikap; perilaku & motivasi; serta tingkat kepentingan/manfaat) harus sesuai karena akan berdampak pada kepuasan wisatawan yang pada akhirnya mampu menciptakan nilai jual dan meningkatkan daya saing obyek wisata untuk keberlanjutan lingkungan. Keyakinan masyarakat (pengunjung serta pengelola) terhadap keberlanjutan wisata energi terbarukan, dipahami mampu memberikan efek positif bagi sosial budaya, ekonomi, dan lingkungan. Memandang secara utuh keberlanjutan supply-side di energi terbarukan memberikan gambaran bahwa kesatuan lingkungan dan pariwisata telah menjadi pola kehidupan masyarakat berkembang pada jalur yang tepat.

Rekomendasi

Merujuk pada hasil kuisioner serta analisis peneliti, solusi yang ditawarkan untuk memperbaiki dan memastikan keberlanjutan wisata energi terbarukan kedepannya yaitu sebagai berikut :

1. **Rekomendasi Supply-side atau aspek lingkungan**
   Pengembangan kawasan yang terdiri dari fasilitas atau sarana/prasarana untuk mendukung kegiatan wisata. Rekomendasi untuk mengembangkan pariwisata yang terintegrasi yaitu membangun research center.

2. **Rekomendasi aspek Sosial Budaya**
   Reorganisasi dan Regenerasi pengelola energi terbarukan (energy hybrid dan biogas), atau pembentukan kembali serta pembaruan pengelola agar pengembangan kawasan wisata lebih luas.

3. **Rekomendasi aspek Ekonomi**
   Pengembangan produk wisata edukasi dan terintegeritas sebagai upaya peningkatan ekonomi dan pemerataan distribusi manfaat. Salah satu opsi yang dapat dilakukan adalah menghasilkan souvenir hasil energi terbarukan untuk di beli wisatawan dan bermanfaat bagi wisatawan hingga dapat menarik wisatawan datang kembali. Produk yang dijual seperti pupuk organik hasil biogas dan ilmu atau modeling dari energi terbarukan yang dapat diaplikasikan di rumah.

DAFTAR PUSTAKA

Dinas Pariwisata, Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). 2017. Statistik kepariwisataan 2017. Yogyakarta.

Gunn, Clare A with Turgut Var. 2002. Tourism Planning Basic, Concepts, Cases. New York: Routledge.

Kurniawati, Rina. 2013. Modul Pariwisata Berkelanjutan. Diunduh dari https://rinakurniawati.files.wordpress.com/2013/01/modulpariwisataberkelanjutan.pdf (diakses 6 Desember 2017, 16:24)

Nugraha, Wasistha. Analisis supply-Demand Atraksi Wisata Pantai Alam Indah (PAI) Tegal. Universitas Diponegoro. 2008.

Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Bantul tahun 2010 – 2030

Wahab, Salah.1992. Pemasaran Pariwisata (alih bahasa: Frans Gromang), Jakarta; Pradnya Paramita.

Yoeti Oka, 1997. Perencanaan dan Pengembangan Pariwisata. Jakarta : Pradnya Paramita.

PROTOTYPE SUMBER ENERGI SOLAR CELL SEBAGAI PENERANGAN UNTUK HAMA LADANG BAWANG DAERAH PANCALANG KUNINGAN

Yogi Permana [1)], Mohamad Soleh [2)], Agus Siswanto[3)]

Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945, Cirebon
Email : pyogi.untag@gmail.com
Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945, Cirebon
Email : m.soleh77@yahoo.co.id
Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945, Cirebon
Email : asiswanto.untagcrb@gmail.com

Abstrak

Prototype Sumber Energi *Solar Cell* Sebagai Penerangan Untuk Hama Ladang Bawang Daerah Pancalang Kuningan" adalah sebagai bentuk penghematan penerangan energi listrik untuk hama ladang bawang, penghematan penerangan untuk hama dilakukan dengan cara memanfaatkan *solar cell* dan lapu LED. Metode yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini adalah metode rancang bangun. Langkah – langkah metode rancang bangun adalah analisis, perancangan, pembuatan dan pengujian. Perancangan perangkat keras terdiri dari modul *solar cell* 50 Watt Peak, battery *charge regulator* 20 Ampere, Battery 32 Ampere Hours, lampu LED DC 3 Watt. LDR sebagai sensor cahaya dan inverter 1200 watt. Dari hasil pengujian dan perhitngan didapat bahwa sumber energi *solar cell* sangat tergantung pada alam, yaitu tergantung pada terik matahari, hasil perhitungan menujukan bahwa penggunaan sumber *solar cell* dengan sumber energi PLN jauh lebih irit dengan menggunakan beban DC. hasil perhitungan perbandingan cukup signipikan dari perhitungan selama 10 tahun kedepan, adapun data hasil yang di dapat yaitu Rp. 5.831.000 menggunakan *soalr cell*, Rp. 41.499.000 biaya pengunaan listrik PLN.

Kata kunci : *Solar Cell,* Hama, Penghematan Energi. sumber energi bartu terbarukan, *prototype*

Abstract

Prototype of Solar Cell Energy Sources as Lighting for Pests in the Field of Onion Regional Pancalang Kuningan "is as a form of electricity energy savings for onion pests, lighting savings for pests are carried out by utilizing solar cells and LED lighting. The method used in making this final project is the design method. The steps of the design method are analysis, design, manufacture and testing. The hardware design consists of solar cell module 50 Watt Peak, battery charge regulator 20 Ampere, Battery 32 Ampere Hours, 3 Watt DC LED lights. LDR as a light sensor and 1200 watt inverter. From the results of testing and attention, it was found that solar cell energy sources are very dependent on nature, which is dependent on the sun, the results of the calculation show that the use of solar cell sources with PLN energy sources is much more efficient by using DC loads. the results of the calculation of the comparison are quite significant from the calculation for the next 10 years,

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

while the result data is Rp. 5,831,000 using the cell problem, Rp. 41,499,000 costs for the use of PLN electricity.

***Keywords** : Solar Cell, Pest, Energy Saving. renewable energy source, prototype*

PENDAHULUAN

Perkembangan era globalisasi saat ini berdampak pada kebutuhan konsumsi energy listrik yang semakin meningkat. Sangat diperlukan sumber energi alternative terbarukan untuk memenuhi kebutuhan listrik saat ini salah satunya menggunakan energi matahari *(solar energy)*. *Solar cell* yang berfungsi untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Teknologi *solar cell* merupakan sebuah hamparan semikonduktor yang dapat menyerap *photon* dari sinar matahari dan mengkonversi menjadi listrik. *Solar cell* banyak digunakan untuk berbagai aplikasi salah satunya pada lampu penerangan.

Lampu penerangan di sebagian tempat digunakan bukan hanya sekedar penerangan jalan, rumah, dan lain – lain. Di sebagian tempat lampu penerangan juga di manfaatkan sebagai penangulangan hama khususnya di daerah Pancalang Kuningan, lampu penerangan di gunakan untuk meminimalisir hama untuk pertanian bawang, hama pada tanaman bawang sendiri berbagai macam salah satu hama sering ada yaitu hama ulat, hama ulat aktif pada malam hari, Gejala serangan ditandai dengan timbulnya bercak-bercak putih transparan pada daun, hama tersebut bukan hanya menyerang tanaman bawang saja melainkan tanaman jenis lain seperti cabai, jagung, tomat dan yang lainnya, stelah di lakukan observasi langsung kepada petani bawang di dapat informasi bahwa penangulangan hama tersebut yang di lakukan selama ini yaitu menggunakan sistem menerangi lahan bawang menggunakan lampu, sistem penerangan tersebut menggunakn sumber energy konvensional dari PLN dirasa cukup mahal oleh para petani.

Dengan semakin pesat kemajuan teknologi penulis mencoba membuat sumber energi baru terbarukan yaitu membuat sumber energi yang berasal dari alam cahaya matahari dengan menggunakan *solar cell, solar*

cell tersebut di rasa cukup efektif dikarenakan lampu penerangan tidak mengunakan sumber energi konvensional lagi, semula konsusmsi daya yang digunakan cukup besar dan para petani memerlukan biaya cukup mahal untuk membayar daya listrik tersebut, maka dengan adanya sumber energi baru tersebut dirasa cukup efektif untuk menangulangi hal tersebut.

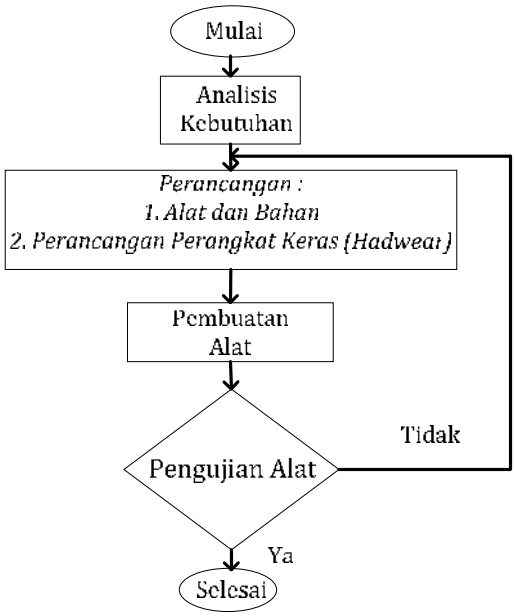
METODE PENELITIAN

A. Lokasi Pemasangan Alat

Aplikasi alat ini mengambil loaksi di ladang bawang yang berada di desa Sarewu Kecamatan Pancalang Kabupaten Kuningan Jawa barat. Ladang bawang di desa ini belum menggunakan penerangan untuk hama sehingga perlu adanya penerangan supya hama bawang bisa ditanggulangi, dengan menggunakan sumber energi *solar cell*, energi baru terbarukan.

B. Konsep Perancangan Alat

Proyek akhir ini dalam pengerjaannya menggunakan metode rancang bangun, langkah-langkah dari metode rancang bangun antara lain: analisis, perancangan, pembuatan dan pengujian. Data hasil pengukuran diperoleh dengan cara observasi menyangkut rancang bangun dan unjuk kerja alat.

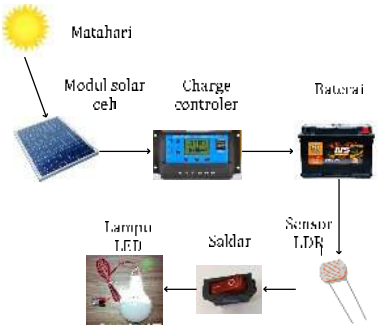


Gambar 1. Konsep perencanaan alat

C. Arsitektur Alat

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

pada alat penerangan untuk hama menggunakan sumber energi *solar cell* dapat digambarkan berupa arsitektur dari alat tersebut sebagai berikut



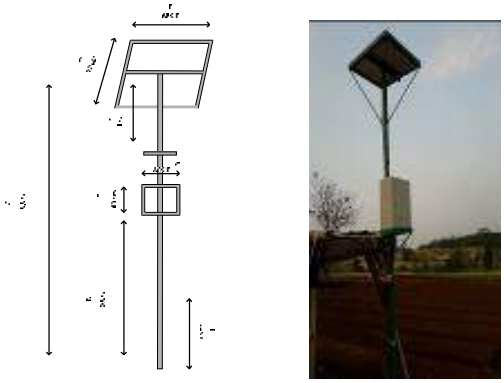
Gambar 2. Arsitektur alat

D. Arsitektur Tiang

Perancangan alat penerangan untuk hama ladang bawang di Desa Sarewu Kecamatn Pancalng Kabupaten Kuningan, dapat digambarkan dengan desain sebagai berikut :

1. Tiang *Solar Cell*

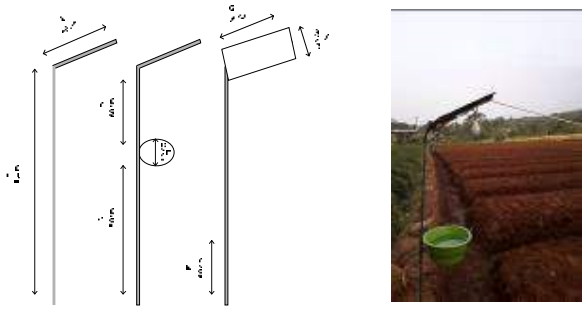
Tiang *solar cell* ini menggunakan jenis tiang terpusat dimana tempat menyimpan *solar cell* dan box panel di tempatkan menyatau pada satu tiang tersebut, dengan keiringan tiang penyangga modul *solar cell* 25^0 tiang ini dapat di gambarkan sebagi berikut :



Gambar 3 desain tiang *solar cell*

2. Tiang Lampu Dan Tempat Hama

Desain tiang ini juga sama seperti tiang *solar cell* yaitu jenis tiang terpusat, adapun desain gabarnya yaitu sebagai berikut :



Gambar 4 tiang lampu dan tempat hama

DATA HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Survey Lapangan

Ladang bawang di desa Sarewu kecmatan Pancalang kabupaten Kuningan didapat data hasil wawancara langsung dengan petani bawang mempunyai ladang sebesar 100 bata atau 1400 m^2 dengan rincian sebagai berikut : panjang 85 m, lebar 16,4 m. sedangkan hasil insolasi matahari daerah Kuningan satu tahun ini di dapat menggunakan aplikasi Homer, adapun data yang di dapat adalah sebagai berikut :

Table 1 data insolasi matahari sumber aplikasi homer

Bulan	**Insolasi Matahari**
Januari	4.390
Febuari	4.000
Maret	5.090
April	5.080
Mei	4.920
Juni	4.700
Juli	5.030
Agustus	5.580
September	5.950
Oktober	5.650
November	5.060
Desember	4.850
Jumlah Rata – rata	**5.025**

B. Perhitungan Lampu Penerangan Ladang Bawang

Perhitungan lampu penerangan ladang bawang daerah Pancalang, Kuningan menggunakan *solar cell* yaitu :

Table 2 Perhitungan Pembuatan Alat

Jenis Perhitungan	**Rumus**	**Hasil Perhitungan**
Menghitung jumlah titik lampu	$T - \frac{L}{S} + 1$	$- \frac{85}{10} + 1$ = 9.5 dibulatkan jadi 10 titik lampu

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

Menghitung total beban pemakaian perhari	P = daya lampu x jumlah lampu E_A= Daya (P) x Lama Pemakaian E_T = EA + (Rugi x Rugi Sistem)	P = 3 watt x 10 Titik Lampu = 30 Watt E_A = 30 Watt x 13 jam = 390 Wh E_T = 390 + (390 x 15%) = 448.5 Wh
Menghitung arus nominal dan arus reting	$In = \frac{P}{Vs}$ Ir = K x In	$= \frac{30\ watt}{12\ volt}$ = 2.5 A = 125 % x 2.5 A = 3.125 A
Menentukan Kapasitaas Daya Modul *Solar Cell*	$Kapasitas\ Modul\ Solar\ Cell = \frac{E_T}{Insolasi\ Matahari} \times Faktor\ Kompensasi$	$= \frac{448.5}{4000} \times 1.1$ = 123.33 WP
Menentukan Kapasitas Baterai	$Ah = \frac{E_T}{Vs}$	$= \frac{448.5}{12}$ = 37.37 Ah
Menentukan Kapasitas Solar Charge Controller	$I_{maks} = \frac{P_{maks}}{Vs}$	$= \frac{30\ Watt}{12\ Volt}$ = 2.5 A
Menentukan Jenis Penghantar dan Panjang Saluran	$A = \frac{L \times Irating \times \rho}{V}$	$= \frac{113 \times 3.1 \times 0.0175}{12\ volt}$ $= 0.51\ mm^2$

C. Rincian biaya

rincian biaya dalam pembuatan alat penulis mencantumkan biaya yang disajikan dalam table berikut ini.

Table 3. Rincian Biaya Pembuatan Alat

Alat yang digunakan	Modal awal	Biaya pemeliharaan selama 10 tahun	Biaya jasa pembayaran listrik PLN selama 10 tahun	jumlah
Alat yang dibuat	2.851.000	2.980.000	-	**5.831.000**
Alat yang sudah ada	4.032.000	1.467.000	36.000.000	**41.499.000**

Dari hasil rincian biaya tersebut didapat hasil perbedaan yang cukup signifikan antara penggunaan sumber energi baru terbarukan yaitu menggunakan *soalr cell* dan sumber energi konvensional (PLN), hal itu dapat

dilihat pada kolom jumlah antara pengunaan sumber energi *solar cell* dengan jumlah Rp. 5.831.000 dan sumber energi PLN dengan jumlah Rp. 41.499.000.

D. Data Pembacaan Tegangan Output Solar Cell

Setelah melalukan penelitian dan pengukuran selama 5 hari berturut – turut dari pukul 08.00 sampai dengan 17.00 maka diperoleh hasil pengukuran tegangan *output* dari *solar cell* sebagai berikut :

Tabel 4 Data Pembacaan Tegangan output Sollar Cell

No	Hari/tanggal	Waktu (Jam)				
		08 : 00	10 : 00	12 : 00	14 : 00	17 : 00
1	Minggu / 01-07-2018	12.09 V	12.80 V	13.07 V	13.20 V	13.10 V
2	Senin / 02-07-2018	12.17 V	12.76 V	13.49 V	13.88 V	13.27 V
3	Selasa / 03-07-2018	12.19 V	12.82 V	13.35 V	13.96 V	13.35 V
4	Rabu / 04-07-2018	12.35 V	12.87 V	13.37 V	13.96 V	13.52 V
5	Kamis / 05-07-2018	12.39 V	12.97 V	13.37 V	14.10 V	13.50 V

Dari data hasil yang diperoleh hasil terendah didapat pada hari perta hari minggu tanggal 01/07/2018 dan hasil tertinggi pada hari senin tanggal 05/07/2018, jadi alat ini sangat berpengaruh pada cuaca semakin terik cuaca matahari semakin besar *output* yang dihasilkan modul dan begitupun sebaliknya semakin mendung cuaca semakin sedikit pula *output* yang dihasilkan modul *solar cell*.

E. Data Hasil Pengujian Beban

Setelah melakukan pengujian terhadap alat yang di buat maka didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Beban

Jenis beban	Tegangan awal	Jumlah lampu	beban	Tegagan akhir	Lama pemakaian	Keteranagn
Lampu LED 3 watt	12,9 volt	10 lampu	30 watt	11.1 volt	13 jam	Lampu menyala selama 13 jam
Lampu LED 3 watt dan 15 watt	13,1 volt	10 lampu 3 watt,5 lampu 15 watt	105 watt	10,0 volt	13 jam	Dengan beban 105 watt lampu masih menyala selama 13 jam

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

Dari data hasil pengujian didapat data pengujian dengan menggunakan jumlah beban 30 watt dan tegangan 12,9 Volt, dipakai selama 13 jam, didapat hasil lampu menyala selama watu yang ditentukan bahkan pengujian kedua dengan menggunakan baterai dan modul *solar cell* yang sama dengan beban yang berbeda yaitu 105 watt baterai mampu menyalakan lampu selama 13 jam dengan beban 105 watt.

KESIMPULAN

Prototype sumber energi *solar cell* sebagai penerangan untuk hama ladang bawang daerah Pancalang Kuningan membuktikan bahwa dengan menggunakan sumber energi baru terbarukan yaitu pemanfaatan *solar cell* sebagai alat conversi energi, dengan hasil yang didapat dari table 3. Bahwa biaya yang dikeluarkan selam 10 tahun dari penggunaan konvensional dan energi terbarukan memiliki selisih Rp. 36.668.00. sehingga penggunaan sumber energi baru terbarukan sangat berpengaruh terhadap petani dikarena sumber energi terbarukan lebih irin di banding sumber energi konvensional yang ada.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya haturkan karna banyak mendapatkan bantuan, dorongan baik moril maupun materil dari Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Cirebon.

REFERENSI

Bagus K, dkk (2005)Panduan Teknis, Pengenalan Hama dan Penyakit pada Tanaman Bawang Merah dan Pengendaliannya, Balai Penelitian Tanaman Sayuran, Jl. Tangkuban Perahu No. 517, Lembang Bandung 40391.

Hasmiansyah P, dkk Rancang Bangun Tenaga Listrik Hybrid Untuk Suplay Beban Penerangan Umum Type LED, Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111

Eddi Kurniawan, dkk (2013) Jurnal Coding Sistem Komputer Universitas Tanjungpura, Sistem Penerangan Rumah Otomatis Dengan Sensor Cahaya Berbasis Mikrokontroler, Jl. Ahmad Yani, Pontianak

Diding Suhardi, (2014) Prototipe Controller Lampu Penerangan LED (Light Emitting Diode) Independent Bertenaga Surya, Jl. Raya Telogomas No 246 Malang. Jurnal Gamma, ISSN 2086-3071

Heru Nugraha (2011) Pengisi Baterai Otomatis Dengan Menggunakan Solar Cell, Jurnal Tugas Akhir, Universitas Gunadarma, Margonda Raya 100 Depok 16424

Adi Rijal Aziz (2016) pemanfaatan Thyristor Sebagai bterai Charge Regulator (BCR) Untuk Solar Cell, Jurnal Tugas Akhir, Sekolah Tinggi Teknologi (STT) Yuppentek Tanggerang.

Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra. Vol. 2, No. 2, Februari 2016: Hal 20 – 25

RANCANG BANGUN DAN IMPLEMENTASI KINCIR ANGIN DI PANTAI SELATAN JAMPANG KULON

[1]Iyus Maulana, [2]Agung Nurdiansyah, [3]Ujang Asep Rustandi, [4]Ujang Sanwasi, [5]Yudi nata
[1,2,3,4,5]Program Studi Teknik Mesin
,[1,2,3,4,5]Sekolah Tinggi Teknologi Nusa Putra
[1,2,3,45,]Jl.Raya Cibolang Kaler No.21 Kab.Sukabumi
e-mail:, [1]iyus.maulana@nusaputra.ac.id, [2]agung.nurdiansyah@nusaputra.ac.id,
[3]ujang.asep.rustandi@nusaputra.ac.id, [4]ujang.sanwasi@nusaputra.ac.id, [5]yudinata@nusaputra.ac.id

Korespondensi:[1]iyus.maulana@nusaputra.ac.id

ABSTRAK

Angin merupakan sumber energi alternatif yang bersih dan ramah lingkungan. Konversi energi angin menjadi energi listrik melalui dua tahap yaitu Kincir Angin mengubah energi angin menjadi energi kinetik (rotasi), putaran yang dihasilkan digunakan untuk menjalankan generator listrik untuk mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Ada dua jenis kincir angin yang dikenal yaitu Kincir Angin Sumbu Horizontal (sebelumnya HAWT) dan Kincir Angin Sumbu Vertikal (VAWT). Kincir angin yang dirancang memiliki 8 baling-baling bersirip, baling-baling turbin bila berlawanan dengan arah angin dan memutar rotor maka sirip – sirip akan berputar sehingga akan mencari energi angin yang berlawanan ketika arah angin dengan posisi dan putaran putaran. rotor dan sirip – sirip akan tetap diam terhadap dorongan angin itu sendiri sehingga meningkatkan daya dorong. Model matematis dengan metode kelompok bilangan tak berdimensi diperoleh kecepatan putaran rotor, dan energi putaran rotor. Konstanta dalam persamaan akan diperoleh dengan membandingkan data hitung dan tara percobaan. Desain baru ini dapat meningkatkan efisiensi konversi energi dan menurunkan kecepatan angin minimum untuk roda yang berputar, kincir angin dapat diterapkan di semua lokasi yang kecepatan dan arah anginnya berubah.

Kata kunci : HAWT, Kincir Angin, energi terbarukan, turbin angina

ABSTRAK

Wind is a clean and environmentally friendly alternative energy source. The conversion of wind energy into electrical energy through two stages: The Windmill converts wind energy into kinetic energy (rotation), the resulting spin is used to run an electrical generator to convert kinetic energy into electrical energy. There are two known types of windmills: Horizontal Axis Windmill (formerly HAWT) and Vertical Axis Windmill (VAWT). The designed windmill has 8 finned propellers, turbine propellers when opposite to the wind direction and rotating rotors then the fins will rotate so that they will look for the opposite wind energy when the wind direction with the position and rotation rotation. rotor and fins – the fins will remain stationary against the wind push itself thereby increasing thrust. Mathematical models with the dimensionless number group method obtained the rotation speed of the rotor, and the rotation energy of the rotor. Constants in the equation will be obtained by comparing the calculation data and the trial rate. The new design can improve energy conversion efficiency and lower minimum wind speed for spinning wheels, windmills can be applied in all locations where wind speed and direction are changing.

Keyword : HAWT, Windmill, renewable energy, wind turbine

I. PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini, energi adalah masalah topikal di dunia. Peningkatan permintaan energi yang disebabkan oleh pertumbuhan populasi dan penipisan sumber daya cadangan minyak dunia serta masalah energi bahan bakar fosil memberikan tekanan pada banyak negara untuk segera menghasilkan dan menggunakan energi terbarukan Seiring berjalannya waktu kemajuan ilmu teknologi berkembang sangat pesat. Banyak sekali energi alternatif dari alam terutama di Indonesia yang dapat di manfaatkan untuk menghasilkan listrik. Salah satu contoh energy alternative yang sudah mulai dikembangkan adalah alternatif energi yang dapat dipilih adalah angin, karena angin terdapat dimana – mana sehingga mudah didapat serta tidak membutuhkan biaya besar [1]. Karena energi listrik tidak dihasilkan langsung oleh alam maka untuk memanfaatkan angin ini diperlukan sebuah alat yang bekerja dan menghasilkan energi listrik. Alat yang dapat digunakan adalah kincir angin. Kincir angina ini akan menangkap energi angin dan menggerakan generator yang nantinya akan menghasilkan energi listrik.Kincir angin yang penulis gunakan adalah kincir angin bersudu banyak dengan poros horisontal. Kincir ini dapat dinaikan efisiensinya untuk menghasilkan koefisien daya yang maksimal. Salah satunya dengan menggunakan sudu berjumlah banyak. Sudu yang digunakan delapan sudut.

Koefisien daya yang maksimal ini akan menaikan jumlah watt (daya) yang diperoleh sehingga untuk mencapai jumlah watt tertentu cukup dengan menggunakan jumlah kincir angin yang lebih sedikit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi – Energi Yang Terdapat dalam Angin

Secara sederhana, energi potensial yang terdapat pada angin dapat menggerakan sudu – sudu yang terdapat pada kincir, dimana sudu – sudu ini terhubung dengan poros dan memutarkan poros yang telah terhubung dengan generator dan menimbulkan arus listrik [2].

Kincir dengan ukuran besar dapat digabungkan bersama – sama sebagai pembangkit energi tenaga angin, dimana akan memberikan daya ke dalam system transmisi kelistrikan

2.1 Hubungan Daya *(Power)* Dan Energi *(Energy)*

Energi adalah ukuran kesanggupan suatu benda untuk melakukan usaha.

Force = masa x percepatan

F = m x a , (Pounds,Newtons)

Energi = Kerja (W) = gaya (F) x jarak (d), (Kilowatt hours, joules)

Daya adalah usaha yang dilakukan per satuan waktu.

Power = P = W / time (t), (Kilowatts, Watts, Horsepower) Power = Torque (Q) x Rotational Speed (Ω).

2.2 Energi Kinetic Angin

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki suatu benda akibat gerakannya. Alat ukur massa telah banyak dikembangkan dengan berbagai metode [3].

Energi Kinetik = kerja (W) = $^1/_2$ m V^2

Dimana : m = masa dari benda yang bergerak

v = Kecepatan dari benda yang bergerak

Angin yang menggerakan sudu udara yang bergerak dan mempunyai massa, sehingga dapat di tuliskan sebagai berikut :

= Berat jenis (ρ) x volume (Arae x Distance)

= ρ x A x d

= (Kg/m^3) (m^2) (m) = kg

2.3 Daya Angin (Power)

Daya angin adalah daya (watt) yang dibangkitkan oleh angin tiap luasan, sehingga daya angin dapat digolongkan sebagai energi potensial [4]. Pada dasarnya daya angin merupakan angin yang bergerak per satuan waktu sehingga dapat di rumuskan sebagai berikut :

Daya = kerja / waktu

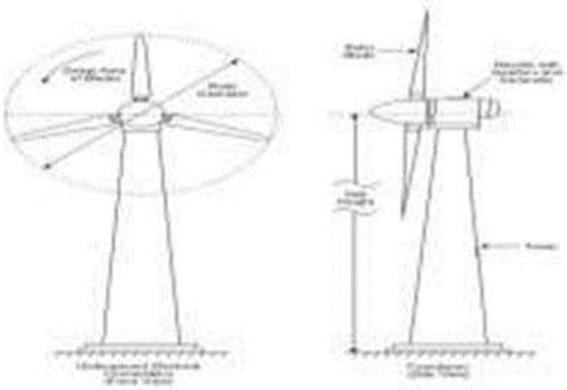
= energi kinetik / waktu

= $^1/_2$ m . v^2 / t

= $^1/_2$($\rho . A . d$). v^2/ t

= $^1/_2 . \rho . A . v^2$(d/t) d/t = V

$^1/_2 . \rho . A . v^3$



Gambar 1. Kerapatan sudu

Beberapa hal yang harus diingat :
Daerah sapuan (A) = $\pi . R^2 . (m^2$) daerah dari sapuan berbentuk lingkaran oleh rotor.
$\rho =$ kerapatan udara = 1,2 kg/m^3

Contoh perhitungan daya yang terdapat di angin :
Daya angin = $^1/_2 . \rho . A . v^3$
Kecepatan angin = V = 5 meters (m) per second (s), m/s
Kerapatan udara = $\rho = 1{,}0$ kg/m3
Jari – jari sudu = R = 0,2 m = daerah sapuan = A= 0,125 m^2
Daya angin = $^1/_2 . \rho . A . v^3$
(0,5) . (1,0) . (0,125) . $(5)^3$ = 7,85 watt

III. METODOLOGI PENELITIAN

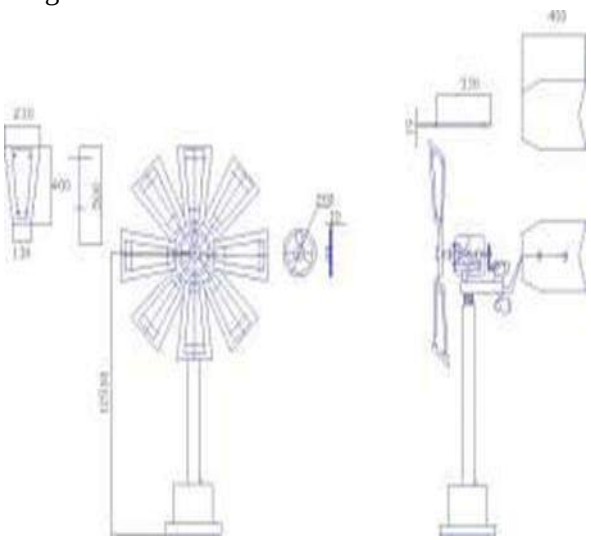
3.1 Rancang Bangun Alat



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3.2. Data-Data Dari Pembangkit Listrik Dengan Kincir Sudu Datar

Efisiensi angin dipengaruhi oleh kecepatan angin dan jenis angin tersebut, serta titik rancangan dan jenis kincir yang digunakan [5]. Pengambilan data yang diperlukan untuk pengamatan dilakukan dengan menggunakan kincir angin dengan dimensi sebagai berikut:



Gambar 3. Skema penampang sudu

3.3 Perancangan Sudut

Bahan sudu = Almunium
Diameter sudu = 1 m
Lebar tiap sudu = 0,23 m (atas), 0,13 m (bawah) Panjang tiap sudu = 0,4 m

Luas tiap sudu = $\frac{sisi\ atas + sisi\ bawah}{2}\ x\ tinggi$

$= \frac{0{,}23+0{,}13}{2}\ x\ 0{,}4$

$= 0{,}072\ m^2$

1. Perhitungan pada Poros
   Menurut pembebanannya, maka poros diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis sebagai berikut [6] :

Tabel 1. Baja karbon untuk konstruksi mesin

andar dan macam	Lambang	erlakuan Panas	Kekuatan tarik (kg/mm)	Keterangan
Baja karbon kontruksi mesin (JIS G 4501	S30C	Penormalan	48	
	S35C	Penormalan	52	
	S40C	Penormalan	55	
	S45C	Penormalan	58	
	S50C	Penormalan	62	
	S55C	Penormalan	66	
Batang baja yang difinis dingin	S35C-D	-	53	Ditarik dingin, digerinda, dibubut, atau gabungan antara hal-hal tersebut
	S45C-D	-	60	
	S55C-D	-	72	

2. Distribusi Rayleigh

Seperti dibahas sebelumnya, bahwa daya angin P adalah proporsional dengan densitas angin ρ, area dan pangkat tiga dari kecepatan. Untuk menghitung energi yang terkandung dalam angin, maka perlu mengintegralkan nilai daya sepanjang sumbu waktu. Sehingga dibutuhkan perekaman kurva kecepatan angin untuk sepanjang hari, minggu atau bulan. Kurva tersebut dapat dikonversikan dalam bentuk histogram dari frekuensi relatif.

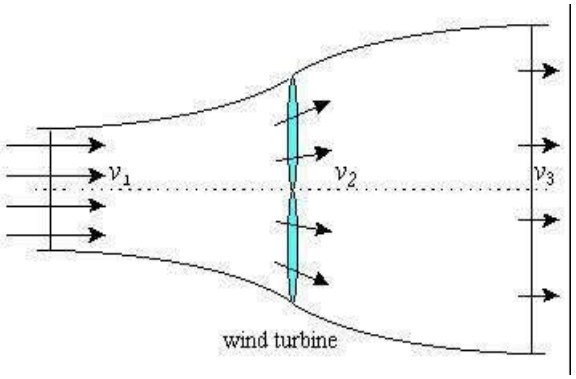
Nilai h_i adalah frekuensi relatif untuk kelas kecepatan v_i. Jumlah energi sepanjang periode waktu T adalah jumlah dari keseluruhan kelas kecepatan.

$$E_{ges} = \sum (h_i \cdot P_i \cdot T)$$

Dari persamaan daya P_i di atas dapat dituliskan:

$$P_i = ½ \cdot \rho \cdot A \cdot v_i^3$$

Jika tidak tersedia histogram untuk sutatu lokasi dan tidak dimungkinkan untuk membuat, maka histogram dapat diturunkan dari distribusi Rayleigh dari kecepatan angin rerata, dimana akan merupakan pendekatan bagus untuk lokasi bebas hambatan. Histogram berikut dikembangkan dengan fungsi Rayleigh dari kecepatan angina rerata 6 m/s

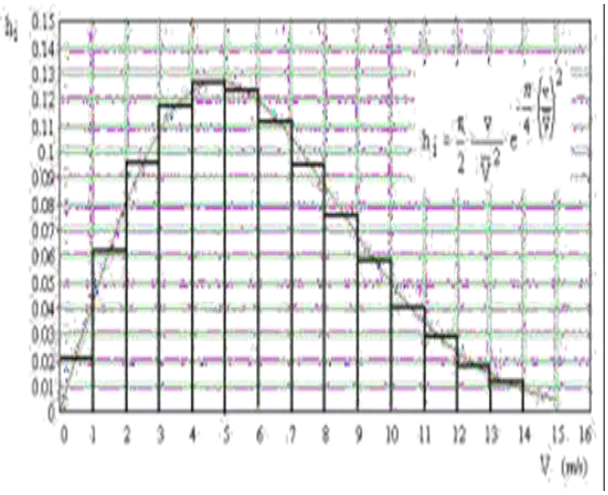


Gambar 4. Distribusi Rayleigh

Pendekatan perhitungan pola kecepatan angin sering digunakan atas dasar distribusi angin Rayleigh.

3. Metode Eksploitasi Energi Angin

Transformasi energi kinetik angin ke rotor kincir diperoleh dari pelambatan sejumlah massa udara. Kecepatan angin di depan rotor v_1 akan mengalami reduksi menjadi v_3 di belakang rotor.



Gambar 5. Kecepatan angina pada suatu rotor

Energi yang dihasilkan merupakan nilai perbedaan energi angin di depan dan belakang rotor.

$E_{yield} = ½ \cdot m \cdot (v_1^2 - v_3^2)$

Sehingga daya yang dibangkitkan oleh angin adalah: $P_{yield} = ½ \cdot \rho \cdot A \cdot v_2 \cdot (v_1^2 - v_3^2)$

Jika kita hubungkan antara daya dengan daya yang terkandung dalam angin, maka didapatkan koefisien daya (power coefficient) c_P, yang dinamakan juga sebagai efisiensi aerodinamik ('aerodynamic efficiency').

$^{c}P = {}^{P}cont / {}^{P}wind$

dengan

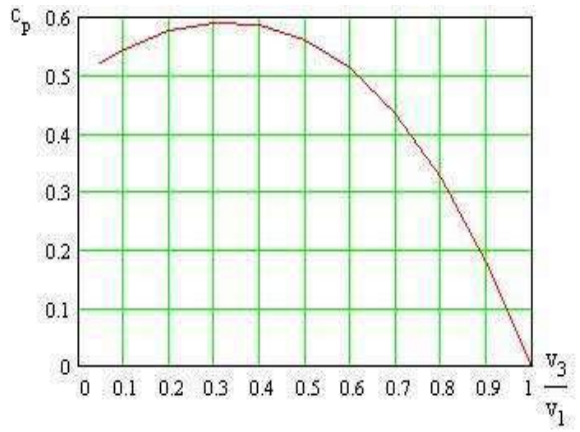
$P_{wind} = ½ \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3$

Dengan asumsi bahawa kecepatan angin pada bidang rotor: $v_2 = (v_1 + v_3)/2$

maka diperoleh:

$$c_P = ½ \cdot (1+v_3/v_1) \cdot (1-(v_3/v_1)^2)$$

Diagram berikut menunjukkan koefisien daya c_P sebagai fungsi dari rasio kecepatan v_3 dengan v_1.



Gambar 6. Koefisien daya menurut Betz

Untuk mencapai nilai optimum penggunaan energi angin, maka kecepatan dibalik rotor v_3 harus 1/3 dari kecepatan di depan rotor v_1. Sehingga koefisien daya $c_{P,Betz} = 0,59$.

Ada dua kemungkinan untuk trnasformasi daya angin menjadi daya kinetik, yaitu dengan pemanfaatan gaya hambatan "drag force" dan dengan daya angkat "lift force".

Drag force rotors memanfaatkan gaya FW yang dihasilkan oleh angin pada suatu area A pada sudut tertentu: that

$$F_W = cw \cdot ½ \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

Nilai koefisien hambatan "drag coefficient" cw merupakan indikasi dari kualitas aerodinamik suatu benda

3.4 Daya Kincir Angin

Atas dasar persamaan kontinuitas untuk laju aliran massa udara yang diasumsikan imkompresibel (ρa = konstan), maka

$= \rho_a A_2 w_{a,2}$

Dimana $m = \rho a A w_{a,1}$ [kg/s]

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian kincir angin tersebut didapatkan beberapa data yang diperlukan untuk membandingkan pada sudu yang akan memberikan hasil yang paling maksimal pada beberapa posisi kincir ditandai dengan semakin cepatnya putaran poros dan lampu menyala terang hingga maksimal.

4.1 Pengujian pada kincir angin dengan sudu 8

Adapun hal ini diperlihatkan dengan persamaan:

n1 = putaran roda penggerak (rpm)

n2 = putaran kepala dinamo (rpm) v = tegangan (volt) I = arus (ampere)

Tabel 2. Hasil rata – rata pengujian dengan variasi sudut

sudut sudu 8 (derajat)	n1 (rpm)	n2 (rpm)	v (volt)	I (ampere)	P (watt)
15	76	274,77	1,29	1,538	1,999708
30	135,97	557,43	2,464	0,837	2,062368
45	214,68	857,11	3,609	0,673	2,428588
60	275,27	1146,92	5,093	0,512	2,607616
75	233,42	1016	4,473	0,555	2,482515
85	85,43	320,34	1,398	1,433	2,003621

4.2 Menghitung daya angin

Dari tabel 2 sebelumnya dapat dilihat besarnya daya yang dihasilkan dari angin tergantung dari berbagai variasi kecepatan angin dan sudut sudu. Bila kecepatan angin yang digunakan dalam perhitungan adalah v = 7 m/s, maka didapatkan daya angin :

Daya angin (power) daya = ½ x ρ x A x V3

½ x1.2 kg/mm3 x (3,14 x 0,25 m2) x (7 m/s)3

161,553 watt

= 0,161553 kW

Hasil perhitungan daya angin pada kecepatan angin 7 m/s adalah daya pada angin yang tersedia dan merupakan daya potensial. Daya pada angin ini bukanlah daya yang dibangkitkan oleh kincir angin horizontal bersudu banyak. Untuk mendapatkan daya pada kincir angin yang sesungguhnya maka harus dikalikan terlebih

dahulu dengan efesiensi daya (coefficient of power) atau dengan bilangan betz limits.

1. Daya Kincir
   Daya kincir adalah daya yang dapat dibangkitkan oleh kincir, ditandai dengan menyalanya lampu pengujian dan terukur multimeter akibat adanya daya listrik untuk mendapatkan harga tegangan dan arus listrik.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapat bahwa daya yang dihasilkan sebesar 2,67 watt dengan kemiringan sudu 60^0 dengan spesifikasi sumber energi adalah angin dengan kecepatan 7 m/s dengan ukuran kincir = 1 m, sudu= 8, bahan sudu = almunium, lebar tiap sudu bawah = 0,13 meter, atas =0,23meter, tinggi tiap sudu =0,4 meter, diameter keseluruha = 1 meter, diameter rangka sudu = 0,08 meter, poros = bahan poros baja karbon s 35 c, panjang poros = 0,33 m, =diameter poros = 0,19 m, diameter puli = 0,2 m, kerangka, tinggi kerangka = 1,5 meter, ekor = 0,4 x 0.3 meter, bahan pelumas = gemuk.

5.2 Saran

Sebaikya kedepan digunakan data yang lebih banyak dan komplek, hal ini agar lebih optimal dalam proses akurasi metode yang dipilih

DAFTAR PUSTAKA

[1] Joselin Herbert, G.M., Iniyan, S., Sreevalsan E., Rajapandian, S., "A review of wind energy technologies, Renewable and *Sustainable Energy Reviews"*,11: 1117–1145, 2007.

[2] I. Al-Bahadly. "Building a wind turbine for rural home, Energy for Sustainable Development", 13: 159–165, 2009.

[3] A.R. Suharso, Y. Nata, A Suryana "Strain Gage Pada Batang Kantilever Sebagai Sensor Massa", Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra. Vol. 1, No. 2, Februari 2015: Hal 16 – 20.

[4] Islam, M., Ting, D. S. K. & Fartaj, A. "Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews"*, 12: 1087-1109, 2008.

[5] Sularso, "Dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin". Jakarta: Pradnya Paramita, 1980.

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI DAN MONITORING BATERAI DENGAN ALGORITMA NUMERIK UNTUK SUMBER ENERGI LISTRIK TERBARUKAN

Oleh:
Didik Sukoco[1], Susetiyadi Purwonugroho[2]
[1,2] Dosen Jurusan Teknik Elektro Kapal, PPNS - ITS
E-mail: didikco@yahoo.com

Abstract. Renewable energy sources are highly promising solar cell and wind turbine due to its portability, high flexibility and relatively low value of the investment. So far solar cell technology has the advantage because it requires minimal maintenance and has a lifespan of about 20 years. Efficiency realized by the ability of a solar cell converts solar energy into electrical energy. At this time the solar cell is easy to come by with a price range U.S. $ 3/Watt per unit area. At the windmill mechanical energy of rotation of the blade will be converted into electrical energy source. Although simple in concept, but the design of the turbine blade is very complex calculations to produce optimal energy. But the weakness of both the renewable energy sources is uncertain availability, while consumers need stable supply of energy with 100 % sustainability. For that to renewable energy systems more usable, the system must be equipped with a control and management of electrical energy that will stabilize the output of electrical energy produced. Required a battery bank in the continuity of energy supply sustainable electricity generated. In this research, has been designing up an energy control system to integrate mathematical modeling of the battery. Control system is powered by a battery bank, microcontroller and electronic circuits. Further system performance can be improved by performing the characteristic energy stored in the battery, so the battery energy can always be monitored. This allows the system to control the electrical energy is always available in the system.

Keywords: model batteray, lagrange interpolation, renewable energy

Abstrak. Sumber energy terbarukan yang sangat menjanjikan adalah *solar cell* dan kincir angin karena *portabilitas*, *fleksibilitas* yang tinggi dan nilai investasi relative rendah. Sejauh ini teknologi *solar cell* memiliki keunggulan karena membutuhkan perawatan sangat minim dan memiliki umur sekitar 20 tahun. Effisiensi diwujudkan dengan kemampuan *solar cell* mengubah energy matahari menjadi energy listrik. Pada saat ini *solar cell* mudah didapat dengan kisaran harga US $3/Watt per satuan luas. Pada kincir angin sumber energy mekanik dari putaran *blade* akan di konversi ke sumber energy listrik. Meskipun sederhana dalam konsep, tetapi desain turbin dalam perhitungan *blade* sangat komplek untuk menghasilkan energi yang optimal. Namun kelemahan dari kedua sumber energy terbarukan tersebut adalah tidak menentu ketersediaannya, sedangkan konsumen membutuhkan penyediaan energi yang stabil dengan *sustainability* 100%. Untuk itu agar system energy terbarukan lebih bermanfaat, system harus dilengkapi dengan kendali dan *management* energy listrik yang akan menstabilkan output energy listrik yang dihasilkan. Diperlukan suatu bank baterai dalam kelangsungan *sustainable* suplai energi listrik yang dihasilkan. Dalam riset ini, telah merancang bangun suatu kendali energi dengan mengintegrasikan pemodelan matematik sistem baterai. Sistem kendali didukung oleh *bank* baterai, mikrokontroller dan rangkaian elektronik. Selanjutnya unjuk kerja sistem dapat ditingkatkan dengan melakukan karakteristik energi yang tersimpan dalam baterai, sehingga energi baterai selalu dapat di monitor. Hal ini memungkinkan sistem selalu dapat mengendalikan energi listrik yang tersedia dalam sistem tersebut.

Kata Kunci : model batteray, interpolasi lagrange, energi terbarukan

Beberapa energy listrik terbarukan seperti enegi angin atau energi surya ketersediaannya tidak kontinu dan sering berubah-ubah karena kondisi alam. Diperlukan baterai sebagai media penyimpan energi agar kontinuitas energy listrik yang dihasilkan bisa kontinu. Sistem harus mempunyai *sustainability* maximal, sehingga pengendalian system charge dan discharge baterai harus termanagerial dan terkarakteristik agar bisa terpantau secara real time.

Baterai merupakan sebuah tangki penyimpanan untuk energy listrik. Ketika baterai diisi (*charge*), energy listrik tersimpan secara kimiawi dalam sel, dan saat baterai digunakan (*discharge*), energy kimia yang tersimpan diambil dan dirubah menjadi energy listrik.

Baterai dapat dibagi dalam 2 jenis, yakni (1) Baterai primer, dan (2) baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang hanya dapat digunakan sekali, tanpa dapat diisi kembali, hal ini disebabkan reaksi kimianya hanya berjalan satu arah. Baterai primer mempergunakan satu kali penghancuran bahan melalui proses kimia untuk menciptakan energi listrik. Sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat dipakai dan diisi berulangkali, hal ini disebabkan proses kimianya dapat berlangsung bolak-balik. Jenis baterai sekunder yang banyak digunakan adalah timah hitam (*lead-acid*) dan Nikel Cadmium. Nikel Cadmium dan Timah hitam mengandung bahan elektroda maupun elektrolit yang berbeda.

Persamaan Reaksi kimia pembentukan listrik adalah sebagai berikut.

Positive plates	: $PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2e \underset{Charge}{\overset{Discharge}{\rightleftharpoons}} PbSO_4 + 2H_2O$
Negative plates	: $Pb + SO_4^{2-} \underset{Charge}{\overset{Discharge}{\rightleftharpoons}} PbSO_4 + 2e^-$
Over all reaction	: $PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \underset{Charge}{\overset{Discharge}{\rightleftharpoons}} 2PbSO_4 + 2H_2O$

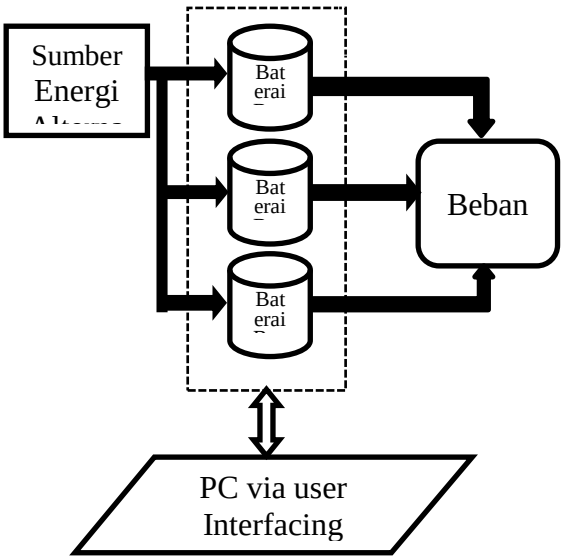
Pada saat baterai dipakai, maka pada permukaan plat timbul PbSO4 (Timah Sulfat) dan plat akan berkarang, disebut sebagai terjadinya Sulfonasi pada pori-pori baterai. Pada plat akan tertutup sehingga elektrolit tidak bisa mengalir dengan lancar, dan elektrolit menjadi tidak asam, karena SO4, terikat pada timah.

Pada recharging (baterai kembali di *charge*) terjadi sebaliknya, PbSO4 akan terurai menjadi Pb dan SO4 dan SO4 akan terikat kembali dengan H+ sehingga terjadi lagi H2SO4, larutan elektrolit akan kembali menjadi asam.

PbSO4 yang larut kembali kedalam elektrolit menjadi Pb dan H2SO4 tidak terjadi seluruhnya, masih ada tersisa kristal PbSO4 yang melekat pada plat elemen, dan semakin lama akan semakin menebal, hal inilah yang menyebabkan baterai lemah atau malah mati sama sekali. Kadar asam pada kondisi *full charge* menjadi tidak bisa kembali, karena tidak semua PbSO4 larut.

METODE PENGEMBANGAN

Rancangan sistem

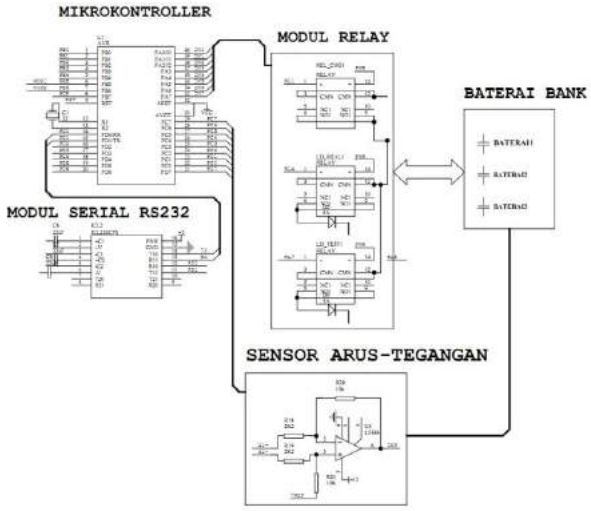


Gambar 1 Diagram Blok dari Sistem

Diagram block sistem dapat dilihat pada gambar 1. Blok sistem terbagi menjadi 2 bagian, yaitu (1) sistem *hardaware*, dan (2) Sistem *Software*

Sistem *Hardware*

Blok rangkaian hardware dari sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Rangkaian Global Sistem

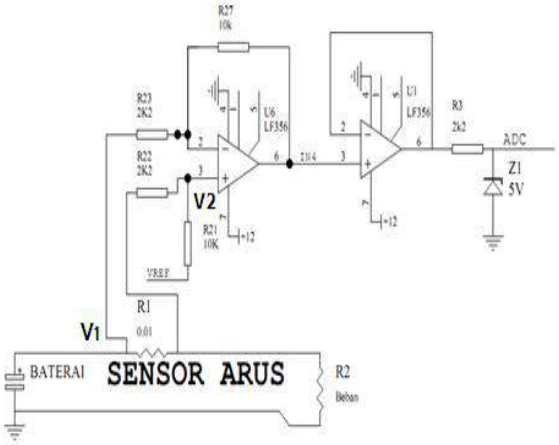
Secara blok rangkian lengkap dari sistem terdiri dari:

1. Modul mikrokontroler
2. Modul *serial*
3. Modul relay untuk sumber tegangan dan *bank* baterai
4. Modul sensor arus ,tegangan dan suhu
5. Modul I/O meliputi *keypad* 4x4 dan *LCD* 4x16

Sensor Arus dan Tegangan

Komponen utama dalam pengen-dalian sistem ini adalah adanya sensor arus dan sensor tegangan. Selanjutnya nilai arus dan tegangan akan terkirim ke komputer untuk dilakukan pengolahan data sesuai kebutuhan.

Untuk mendeteksi arus yang bekerja pada sistem digunakan tahanan 0.01Ω 10Watt, arus yang lewat akan dikonversi ke tegangan yang selanjutnya akan di baca pada ADC mikrokontroller. Gambar 3. adalah Rangkaian *instrumentasi* untuk sensor arus

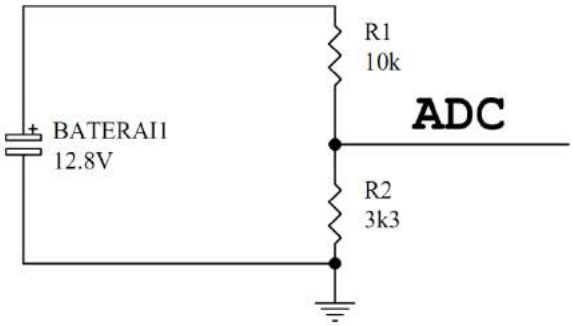


Gambar 3 Rangkaian *Instrumentasi* Sensor Arus

Jika $R_{27} = R_f$ dan $R_{22} = R_i$ maka arus yang lewat pada $R_1(0.01\Omega)$ akan di konversi dalam bentuk Tegangan yang mempunyai persamaan:

$$V_{out} = \left(-\frac{R_f}{R_i}\right) V_1 + \left(\frac{R_f}{R_i} + 1\right) V_2 \qquad \text{.... (1)}$$

Untuk Sensor Tegangan di rancang dengan menggunakan dua buah tahanan sebagai pembagi tegangan, dimana rangkaiannya tampak pada Gambar 4.



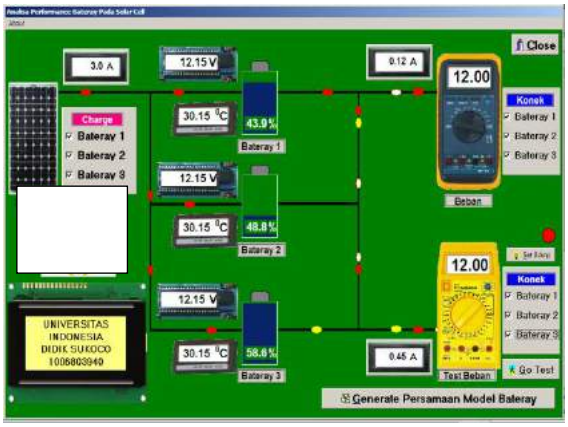
Gambar 4 Rangkaian Sensor Tegangan

Besar tegangan ADC yang masuk ke mikrokontroller adalah:

$$V_{ADC} = \frac{R_1}{(R_1+R_2)} V_{baterai} \qquad \text{... (2)}$$

Sistem *Software*

Software terdiri dari 2 jenis, yakni program yang di tanam pada IC mikrokontroller untuk kondisi auto sistem dan program pada komputer yang berguna sebagai user interfacing pada pengambilan dan pengujian sistem yang dirancang. Program *user interfacing* dibuat dengan tujuan agar data yang ada pada mikrokontroller dapat dioptimalkan guna kepentingan monitoring maupun pengetesan sistem. Adapun bentuk program utama terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 *Software User Interfacing Sistem*

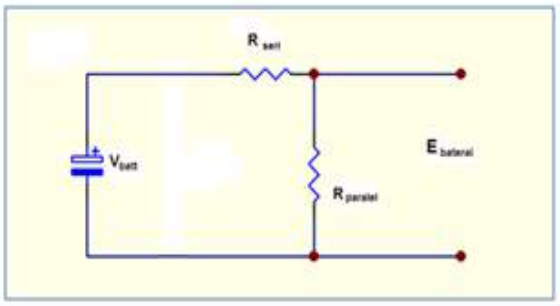
Fitur dari *software user Interfacing* ini meliputi:

1. Proses monitoring dan pemilihan bank baterai Charge yang dapat memantau tegangan dan arus yang masuk pada bank baterai.
2. Proses monitoring dan pemilihan bank baterai Discharge yang dapat memantau tegangan dan arus yang masuk pada beban normal maupun beban Test.
3. Pengujian Tahanan dalam pada bank baterai melalui beban Test.

Model baterai

Cara paling sederhana untuk mengetahui kapasitas dari suatu baterai adalah dengan memodelkan baterai sehingga penurunan matematikanya akan di dapat dengan mudah. Ada beberapa jenis pemodelan, yakni baterai bersifat sebagai penyimpan muatan listrik yang akan habis muatannya sebanding dengan pemakaian beban dan baterai sebagai sumber tegangan konstan yang dipengaruhi oleh tahanan dalam yang nilainya akan berubah sesuai konsumsi beban terpakai.

Pada sistem ini baterai Model matematika baterai adalah sebagai Sumber Tegangan Konstan dengan rangkaian Gambar 6.



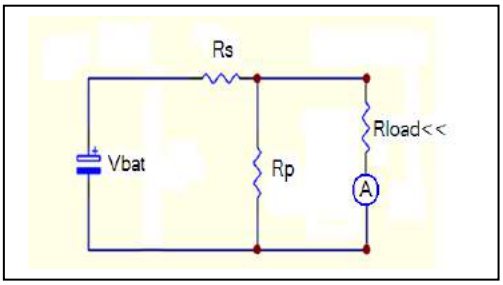
Gambar 6 Rangkaian Model Baterai

Dengan asumsi bahwa $V_{batt} = konstan$ maka nilai dari $E_{baterai}$ hanya akan dipengaruhi oleh besarnya perubahan dari E_{seri} dan $E_{paralel}$.

Pada proses pembebanan maka persamaan Rdalam pada baterai model adalah

$$R_{dalam} = \frac{V_{batt}}{I_{load}} - R_{load} \qquad \ldots(3)$$

Untuk mengukur R_s diperlukan R_{load} mendekati 0 ohm atau $R_{load} \approx 0$.

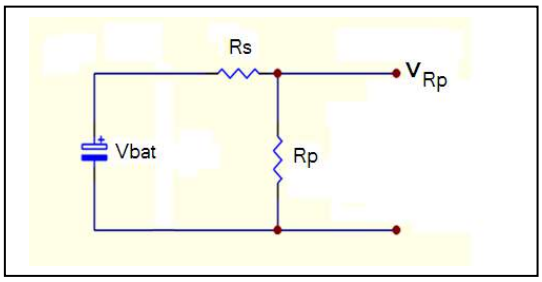


Gambar 7 Skema Beban *Short Circuit*

Dengan asumsi awal $R_P \gg$ maka, akan di dapat arus yang mengalir I_{short}, sehingga besarnya R_s bias dihitung.

$$R_s = \frac{V_{bat}}{I_{short}} \qquad \ldots(4)$$

Kemudian beban dilepas dan dilakukan pengukuranV_{R_p} sesuai Gambar 8.



Gambar 8. Pengukuran V_{R_p}

Maka

$$V_{R_p} = \frac{R_p}{R_p + R_s}.V_{bat}$$

$$R_p.V_{bat} - R_p.V_{R_p} = R_s.V_{bat}$$

$$R_p = \frac{R_s.V_{R_p}}{V_{bat} - V_{R_p}} \qquad \ldots(5)$$

Metode Interpolasi Lagrange

Untuk menganalisa data hasil pengukuran digunakan metode interpolasi *lagrange*, rumus interpolasi lagrange dapat digunakan untuk penambahan variable bebasnya sama atau tidak sama.

Pada tabel dari nilai x dan y berikut, dimana $y = U_x$ untuk (n+1) pada nilai-nilai x yang diberikan dan $U_{x_i} = U_i$, maka U_x adalah fungsi *interpolasi* untuk $y = f(x)$.

Tabel 1. Interpolasi Lagrange

x	x_0	x_1	x_2	x_3	….	x_{n-1}	x_n
y=x_x	U_0	U_1	U_2	U_3	….	U_{n-1}	U_n

Misalkan:

$$U_x = A_0(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)(x-x_4)\ldots\ldots(x-x_n) +$$
$$A_1(x-x_0)(x-x_2)(x-x_3)(x-x_4)\ldots\ldots(x-x_n) +$$
$$A_2(x-x_0)(x-x_1)(x-x_3)(x-x_4)\ldots\ldots(x-x_n) +$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$A_n(x-x_0)(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)\ldots\ldots(x-x_{n-1}) \quad \ldots..(6)$$

Untuk (x_0, U_0) yang memenuhi persamaan (6), maka:

$$U_0 = A_0\,(x_0-x_1)(x_0-x_2)(x_0-x_3)\ldots\ldots(x_0-x_n)$$

Atau

$$A_0 = \frac{U_0}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)(x_0-x_3)\ldots\ldots(x_0-x_n)}$$

Dengan mengambil $(x_1 - U_1)$, $(x_2 - U_2)$, $\ldots.(x_n - U_n)$ yang masing–masing memenuhi Persamaan (2.3), maka diperoleh:

$$A_1 = \frac{U_1}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)(x_1-x_3)\ldots\ldots(x_1-x_n)}$$

$$A_2 = \frac{U_2}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)(x_2-x_3)\ldots\ldots(x_2-x_n)}$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

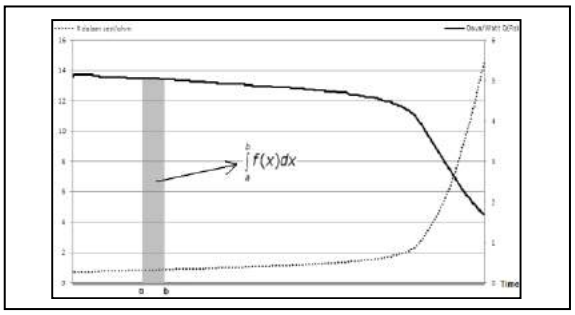
$$\boldsymbol{A_n = \frac{U_n}{(x_n-x_0)(x_n-x_2)(x_n-x_3)\ldots\ldots(x_n-x_{n-1})}}$$

Nilai-nilai A_0, A_1, A_2, …, A_n ini kemudian disubstitusikan ke Persamaan (6), maka diperoleh persamaan interpolasi lagrange sebagai berikut.

$$U_x = \frac{(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)(x-x_4)(x-x_5)\ldots\ldots(x-x_n)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)(x_0-x_3)(x_0-x_4)(x_0-x_5)\ldots(x_0-x_n)}U_0 +$$
$$\frac{(x-x_0)(x-x_2)(x-x_3)(x-x_4)(x-x_5)\ldots\ldots(x-x_n)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)(x_1-x_3)(x_1-x_4)(x_1-x_5)\ldots(x_1-x_n)}U_1 +$$
$$+\frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)(x-x_4)\ldots\ldots(x-x_{n-1})}{(x_n-x_0)(x_n-x_1)(x_n-x_2)(x_n-x_3)(x_n-x_4)\ldots(x_n-x_{n-1})}U_n \ldots(7)$$

Metode Integrasi Newton Cotes

Perhitungan integrasi numerik yang digunakan pada sistem adalah formula Newton Cotes. Strategi dari formula ini adalah mengganti yang rumit atau data yang hilang dengan beberapa fungsi aproksimasi yang mudah diintegrasikan. Illustrasi integrasi secara numeric terlihat pada Gambar 9 berikut ini.



Gambar 9 Integral Fungsi f(x)

Jika diketahui suatu f(x) pada interval [a,b] mempunyai nilai integral:

$$s = \int_a^b f(x)dx$$

Maka fungsi tersebut dapat didekati dengan *Integrasi Newton Cotes orde* n. Bentuk umum *Integrasi Newton Cotes orde* n adalah:

$$f(n) = a_0 \ldots a_1 x + a_2 x^2 + \ldots + a_{n-1} x^{n-1} + a_n x^n \quad \ldots(8)$$

Metode Trapesium

Metode ini adalah bagian dari metode integrasi Newton tertutup dengan menggunakan aproksimasi polinomial orde 1, sehingga dengan aturan trapesium.

$$I = \int_a^b f_1(x)dx \Rightarrow \text{Newton Cotes orde 1}$$

$$I = (b-a)\frac{f(a)+f(b)}{2}$$

Rumus ini sesuai dengan rumus geometri dari trapesium dengan lebar sebesar (b–a) dan tinggi rata-rata.

$$\frac{f(a)+f(b)}{2}$$

Dengan nilai batas awal dan batas akhir yang telah di ketahui, maka suatu fungsi dapat didekati secara numerik, dimana ketelitiannya ditentukan oleh pilihan orde yang di aplikasikan.

PEMBAHASAN

Baterai yang diuji terdiri dari 4 jenis, yaitu baterai *recharge* kering dengan spesifikasi berikut:

a. Baterai 12V – 1.3 AH kondisi rusak.
b. Baterai 12V – 1.3 AH kondisi bagus/ normal.
c. Bateai 6V – 1.8 AH Kondisi bagus.
d. Baterai 9V – 220 mAH Kondisi bagus

Bentuk fisik dari baterai terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Bentuk Baterai Pengujian

Sedangkan jenis beban adalah resistor jenis karbon dengan daya 20 Watt dan nilai resistornya berbeda-beda terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Bentuk Resistor Pengujian

Untuk durasi pengambilan data dipilih berdasarkan kondisi baterai, data pengambilan disimpan dalam bentuk file sebagai bahan analisa untuk menentukan persamaan model baterai. Gambar 12. menu input sebelum proses pengambilan data.



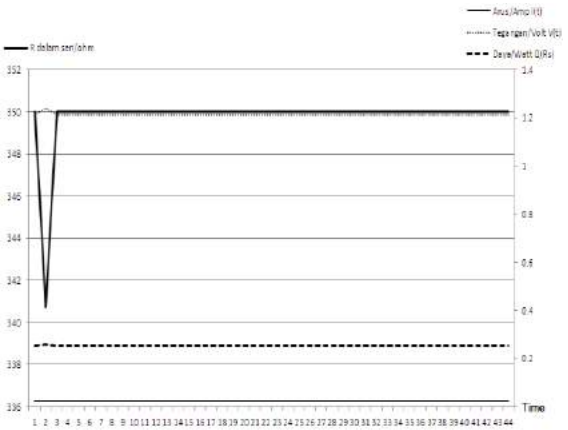
Gambar 12 Menu Pengambilan Data Tes Baterai

Baterai Spesifikasi 12V, 1.3AH kondisi Rusak

Tabel 2. Hasil Pengukuran Pada $R_{load} = 48\ \Omega$

No	Waktu	Arus/ Amp I(t)	Tegangan/ Volt V(t)	R dalam seri/ohm	Daya/Watt Q(Rs)
1	0: 0:00	0.0252	1.21	350.016	0.253
2	0: 0:10	0.0258	1.24	340.76	0.259
3	0: 0:20	0.0252	1.21	350.016	0.253
4	0: 0:30	0.0252	1.21	350.016	0.253
5	0: 0:40	0.0252	1.21	350.016	0.253
6	0: 0:50	0.0252	1.21	350.016	0.253
7	0: 1:00	0.0252	1.21	350.016	0.253
8	0: 1:10	0.0252	1.21	350.016	0.253

Gambar 13 terlihat Grafik dari Tabel 2. pada kondisi baterai yang rusak. Tahanan dalam baterai sangat besar dan daya yang dihasilkan sangat kecil.



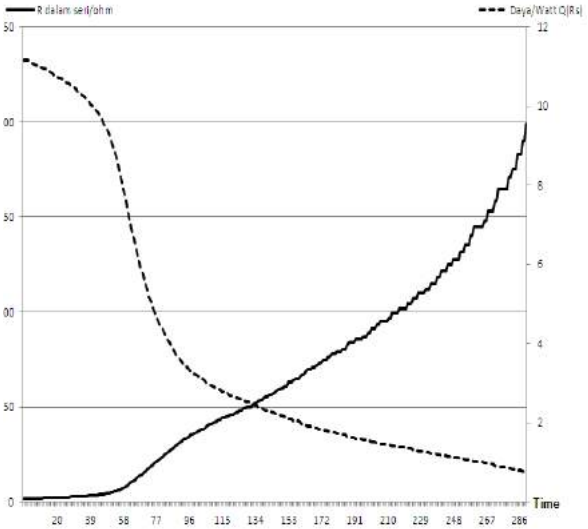
Gambar 13 Grafik Baterai pada 12V, 1.3AH Kondisi Rusak

Baterai Spesifikasi 12V, 1.3 AH Kondisi Normal (Bagus)

Tabel 3. hasil pengukuran pada $R_{load} = 12\ \Omega$

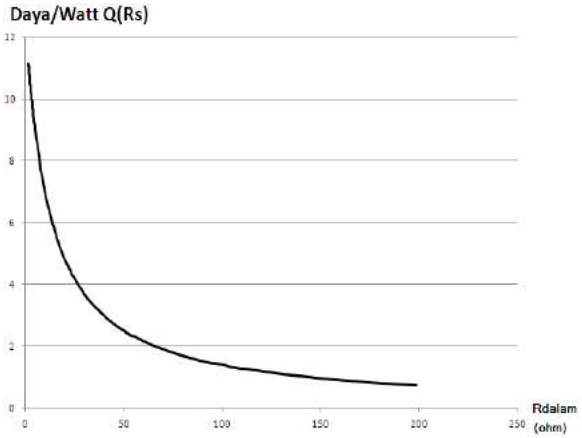
No	Waktu	Arus/ Amp I(t)	Tegangan/ Volt V(t)	R dalam seri/ohm	Daya/Watt Q(Rs)
1	0: 0:00	0.8911	10.96	1.739	11.148
2	0: 0:30	0.8911	10.96	1.739	11.148
3	0: 1:00	0.8911	10.96	1.739	11.148
4	0: 1:30	0.8911	10.96	1.739	11.148
5	0: 2:00	0.8886	10.93	1.778	11.116
6	0: 2:30	0.8862	10.9	1.816	11.086
7	0: 3:00	0.8846	10.88	1.842	11.066
8	0: 3:30	0.8821	10.85	1.882	11.035
9	0: 4:00	0.8821	10.85	1.882	11.035
10	0: 4:30	0.8772	10.79	1.961	10.974
11	0: 5:00	0.8772	10.79	1.961	10.974
12	0: 5:30	0.8748	10.76	2	10.944
13	0: 6:00	0.8748	10.76	2	10.944
14	0: 6:30	0.8732	10.74	2.027	10.924
15	0: 7:00	0.8707	10.71	2.068	10.892
16	0: 7:30	0.8683	10.68	2.107	10.862
17	0: 8:00	0.8659	10.65	2.147	10.832
18	0: 8:30	0.8634	10.62	2.189	10.801

Grafik terlihat pada gambar 14 pada 12V, 1.3Ah Kondisi Baik. Tahan dalam baterai naik secara ekponensial diikuti oleh daya baterai yang akan turun secara eksponensial pula.

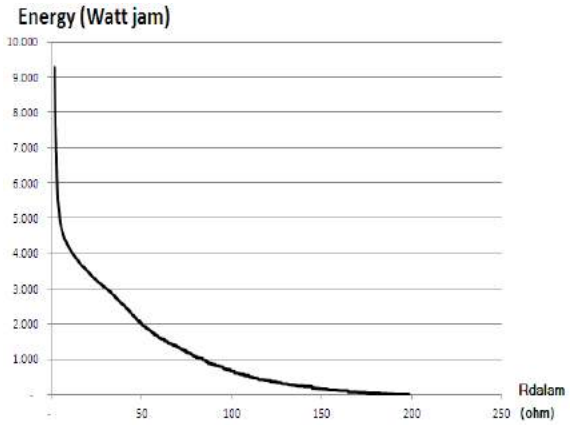


Gambar 14 Grafik Daya dan R_{dalam} terhadap waktu baterai 12V,1.3Ah

Dengan Interpolasi lagrange dan Integrasi Newton didapat grafik Daya dan Energi baterai.



Gambar 15. Fungsi Daya(R_{dalam}) Baterai 12V,1.3Ah Normal



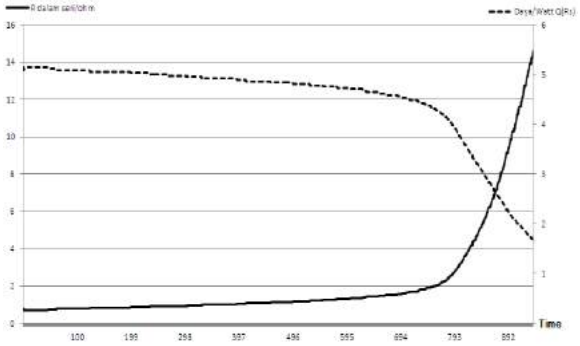
Gambar 16. GrafikE terhadap R_{dalam} Baterai 12V,1.3Ah

Baterai spesifikasi 6V, 4.5AH Kondisi Baik

Tabel 4. Hasil Pengukuran Pada $R_{load} = 6\ \Omega$

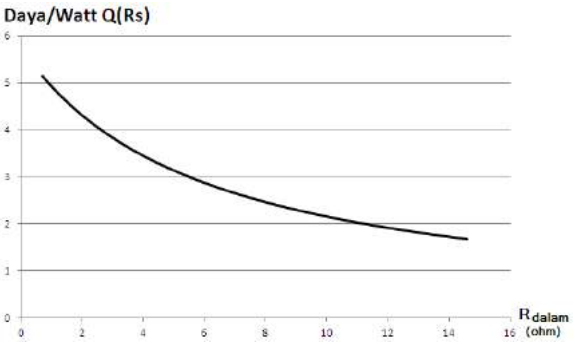
No	Waktu	Arus/ Amp I(t)	Tegangan/ Volt V(t)	R dalam seri/ohm	Daya/Watt Q(Rs)
1	0: 0:00	0.8767	5.26	0.696	5.146
2	0: 0:15	0.8667	5.2	0.773	5.088
3	0: 0:30	0.8717	5.23	0.734	5.117
4	0: 0:45	0.8767	5.26	0.696	5.146
5	0: 1:00	0.8767	5.26	0.696	5.146
6	0: 1:15	0.8767	5.26	0.696	5.146
7	0: 1:30	0.8767	5.26	0.696	5.146
8	0: 1:45	0.8767	5.26	0.696	5.146
9	0: 2:00	0.8767	5.26	0.696	5.146
10	0: 2:15	0.8767	5.26	0.696	5.146
11	0: 2:30	0.8767	5.26	0.696	5.146
12	0: 2:45	0.8767	5.26	0.696	5.146
13	0: 3:00	0.8767	5.26	0.696	5.146

Gambar 17 telihat tahan dalam baterai naik secara ekponensial diikuti oleh daya baterai yang akan turun secara eksponensial pula.

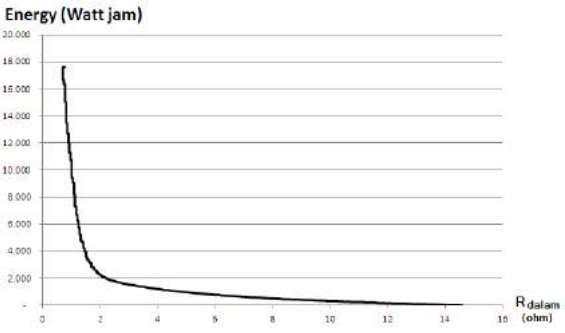


Gambar 17 Grafik Daya dan R_{dalam} terhadap waktu baterai 6V,4.5Ah

Dengan Interpolasi lagrange dan Integrasi Newton didapat grafik Daya dan Energi baterai



Gambar 18. Fungsi Daya(R_{dalam}) Baterai 6V,4.5Ah Normal



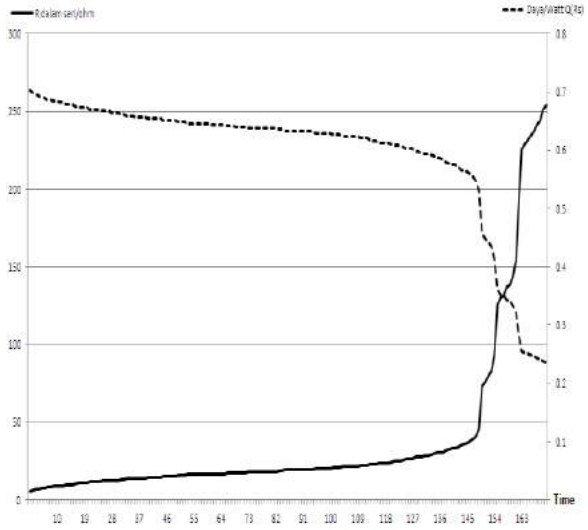
Gambar 19. Grafik Energi Terhadap Tahanan Dalam Baterai 6V,4.5Ah

Baterai dengan Spesifikasi 9V, 220mAH Kondisi Baik

Tabel 5. hasil pengukuran pada $R_{load} = 120\ \Omega$

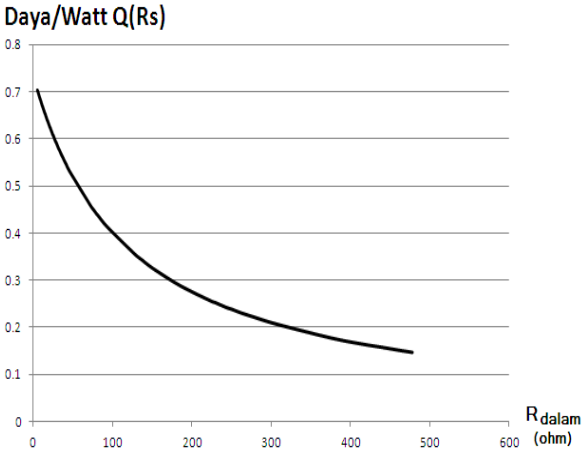
No	Waktu	Arus/ Amp I(t)	Tegangan/ Volt V(t)	R dalam seri/ohm	Daya/Watt Q(Rs)
1	0: 0:00	0.0749	8.99	5.367	0.703
2	0: 0:15	0.0745	8.94	6.04	0.7
3	0: 0:30	0.074	8.88	6.892	0.695
4	0: 0:45	0.0738	8.85	7.236	0.693
5	0: 1:00	0.0735	8.82	7.755	0.69
6	0: 1:15	0.0735	8.82	7.755	0.69
7	0: 1:30	0.0731	8.77	8.454	0.686
8	0: 1:45	0.0731	8.77	8.454	0.686
9	0: 2:00	0.0728	8.74	8.984	0.684
10	0: 2:15	0.0728	8.74	8.984	0.684
11	0: 2:30	0.0726	8.71	9.339	0.682
12	0: 2:45	0.0726	8.71	9.339	0.682
13	0: 3:00	0.0723	8.68	9.876	0.679
14	0: 3:15	0.0722	8.66	10.055	0.678
15	0: 3:30	0.0722	8.66	10.055	0.678
16	0: 3:45	0.0719	8.63	10.598	0.675

Gambar 20 telihat tahan dalam baterai naik secara ekponensial diikuti oleh daya baterai yang akan turun secara eksponensial pula.

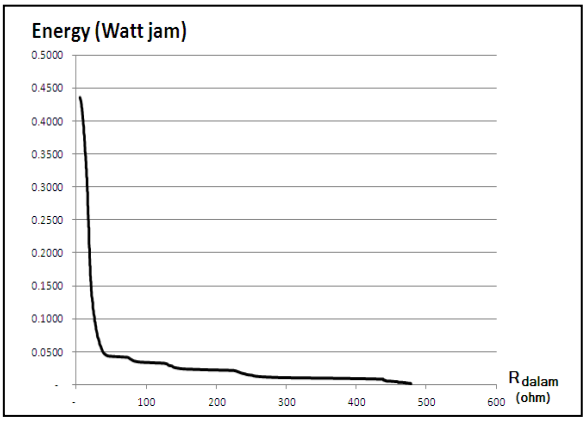


Gambar 20. Grafik Daya dan R_{dalam} terhadap Waktu Baterai 9V, 220mAh

Dengan Interpolasi lagrange dan Integrasi Newton didapat grafik Daya dan Energi baterai.



Gambar 21. Fungsi Daya(R_{dalam}) baterai 9V,220mAh Normal



Gambar 22. Grafik energi terhadap tahanan dalam baterai 9V,220mAh

PENUTUP

Kesimpulan

1. Agar effisien, sistem tersebut harus berbasis pada sistem procesor dan bank baterai yang terkarakterisasi sehingga selalu dapat dimanage dan di monitor sisa energi yang tersimpan.
2. Untuk memonitor secara *real time* sisa energi dalam baterai dapat dilakukan dengan mengukur V dan I beban, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung R_{dalam} yang merupakan fungsi energi sisa baterai.

3. Dengan aplikasi algoritma numerik menggunakan metode *interpolasi lagrange* dan *integrasi newton cotes* sistem telah berhasil mengkarakteristik energi sebagai fungsi R_{dalam} yang tersimpan pada baterai.
4. Telah terkarakteristik Energi sebagai fungsi R_{dalam} baterai sesuai Gambar 5 untuk baterai 12V, 1.3Ah, Gambar 8 untuk baterai 6V, 4.5Ah dan Gambar 11 untuk baterai 9V, 230 mAh.

Saran

Dimasa mendatang metode ini dapat digunakan sebagai alat pengukur isi baterai yang akurat dan presisi.

DAFTAR PUSTAKA

D. Casini, and G. Marola., *Solar batteray charge for NiMH batteries, International Symposium on Power Electronics*, Electrical Drives, Automation and Motion, 2008

Ta-Tau Chen, Ming-Ying Hsiao, Ming-Ying Hsiao, Ming-Ying Hsiao, *Design of Digital Battery Charger System Based on PV-Module*, 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, June 27-30, 2011, Taipei, Taiwan.

Robert F. Coughlin Frederick F. Driscoll penerjemah Ir. Herman Widodo Soemitro., *Penguat operasional dan rangkaian terpadu linear*, penerbit Erlangga

Zezhong Xia, Xiaopeng Tao, Yuanzheng Li, Youxin Yuan.,*Digital Control of Distributed Converter System for Battery Charge and Discharge*, International Conference on Electrical and Control Engineering, 2010

Heri, Andrianto. *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega 16*, penerbit informatika Bandung, Juli 2008

Carl E. Pearson., *Numerical Methods in Engeneering and Scinece*, copyright @1986 by Nostrand Reinhold Company Inc.

Chin-Sien Moo, Kong Soon Ng, and Yao-Ching Hsieh., *Parallel Operation of Battery Power Modules*, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 23, NO. 2, JUNE 2008

Ying-Chun Chuang and Yu-Lung Ke.,*A Nove l High-Efficiency Battery Charger With a Buck Zero-Voltage-Switching Resonant Converter*, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 22, NO. 4, DECEMBER 2007

Zhuoer Shi, G. W. Wei, Donald J. Kouri and Zheng Bao.,*Lagrange Wavelets for Signal Processing* , IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 10, NO. 10, OCTOBER 2001

Bogdan S. Borowy, Ziyad M. Salameh. *Methodology for Optimally Sizing the Combination of a Battery Bank and PV Array in a Wind/PV Hybrid System* , IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 2, June 1996

RANCANG BANGUN *SOLAR TRACKER* SUMBU TUNGGAL BERBASIS MOTOR *STEPPER* DAN *REAL TIME CLOCK*

[1]Septian Ari Kurniawan, [2]Mohammad Taufik
[1,2]Departemen Teknik Elektro Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang km 21, Kabupaten Sumedang, Indonesia
[1]septian15003@mail.unpad.ac.id, [2] m.taufik@unpad.ac.id

Abstrak

Energi matahari merupakan sumber energi terbarukan yang dapat dikonversi menjadi listrik. Salah satu cara yang paling umum digunakan adalah menggunakan fotovoltaik (PV). Namun, hambatan terbesar dari penggunaan PV adalah efisiensi konversi yang rendah. Salah satu solusi untuk mengatasi hambatan tersebut adalah menggunakan solar tracker. Solar tracker adalah sebuah perangkat yang dapat membantu panel surya untuk memaksimalkan penangkapan radiasi matahari dengan cara membuat panel surya selalu menghadap (tegak lurus) matahari. Penelitian ini menitikberatkan pada pembuatan purwarupa solar tracker sumbu tunggal dan membandingkan kinerjanya dengan panel surya statis. Pengujian peningkatan efisiensi diwakilkan dengan pengukuran tegangan open circuit (V_{OC}) dan arus short circuit (I_{SC}) untuk kedua panel. Purwarupa solar tracker sumbu tunggal yang dibuat menggunakan sebuah motor stepper KS42STH40-1204A yang bergerak sesuai dengan pewaktuan real time clock (RTC) DS3231. Nilai V_{OC} yang diperoleh, menunjukkan terjadi peningkatan sebesar 4,83% pada solar tracker dibandingkan dengan panel surya statis, sedangkan nilai I_{SC} pada solar tracker lebih rendah 11,11% dibandingkan dengan panel surya statis.

***Kata Kunci**: energi terbarukan, motor stepper, panel surya, solar tracker*

Abstract

Solar energy is a renewable energy source that can be converted into electricity. One of the most common ways to convert it is using photovoltaic (PV). However, the biggest obstacle to using PV is its low conversion efficiency. One solution to this obstacle is to use a solar tracker. Solar tracker is a device that can help solar panels to maximize the capture of solar radiation by making solar panels always facing (perpendicular) to the sun. This research focuses on making a prototype single axis solar tracker and comparing its performance with a static solar panel. The efficiency improvement test was represented by measuring the open circuit voltage (V_{OC}) and short circuit current (I_{SC}) for both panels. A prototype of single axis solar tracker that has been created uses a KS42STH40-1204A stepper motor which moves according to the DS3231 real time clock (RTC) timing. The V_{OC} value obtained shows an increase of 4.83% in the solar tracker compared to static solar panels. However, the I_{SC} value on the solar tracker is 11.11% lower than static solar panels.

***Keywords**: renewable energy, solar panel, solar tracker, stepper motor*

PENDAHULUAN

Energi adalah kebutuhan mendasar bagi manusia yang penggunaan dan harganya cenderung meningkat. Faktor-faktor tersebut menyebabkan perlunya untuk menggunakan sumber energi terbarukan yang dapat diperbarui dalam waktu singkat dan memiliki dampak lingkungan yang minimum [1], [2]. Salah satu sumber energi terbarukan yang berkembang pesat dan berlimpah jumlahnya adalah energi matahari. Bumi memperoleh

$16x10^{18}$ Joule dari matahari setiap tahunnya, yang setara dengan 20.000 kali dari kebutuhan seluruh umat manusia di bumi [3]. Indonesia merupakan sebuah negara yang terletak di khatulistiwa memperoleh energi matahari sebanyak 4,8-6,0 kWh/m^2 tiap tahunnya [4]. Potensi energi matahari Indonesia adalah sebesar 207.898 MW, tetapi baru 78,5 MW yang digunakan [5].

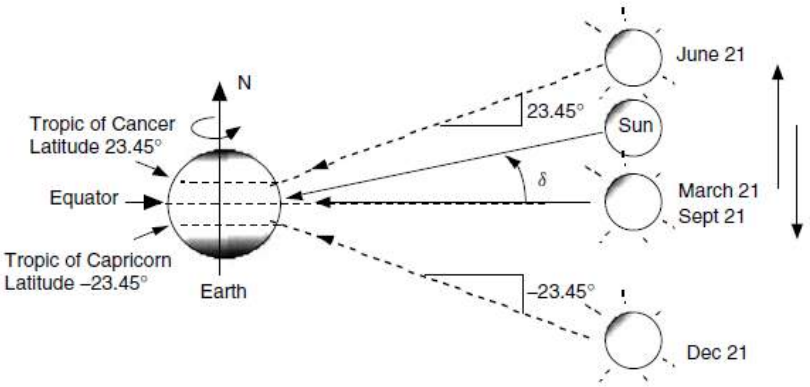
Energi yang berasal dari matahari dapat dikonversi menjadi listrik dalam beberapa cara, salah satu cara yang paling umum digunakan saat ini adalah fotovoltaik (PV). Namun, kendala utama dari PV adalah rendahnya efisiensi. Salah satu solusi untuk mengatasi kendala tersebut adalah menggunakan *solar tracker* [6]. *Solar tracker* adalah sebuah perangkat yang dapat membantu panel surya untuk memaksimalkan penangkapan radiasi matahari dengan cara membuat panel surya selalu menghadap (tegak lurus) matahari [2], [6]-[8]. Pada panel surya statis atau sumbu tetap, penangkapan radiasi matahari secara maksimum dapat dicapai dengan mengoptimalkan arah dan kemiringan dari panel itu sendiri secara manual. Arah dan kemiringan panel yang optimal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain lokasi dan musim di tempat tersebut [9]-[11]. Penelitian-penelitian terkait *solar tracker*, baik sumbu tunggal maupun ganda, menunjukkan adanya peningkatan keluaran panel surya yang nilainya bervariasi [2], [12]-[14].

Penelitian ini bertujuan untuk membuat purwarupa *solar tracker* sumbu tunggal. Penggunaan *solar tracker* sumbu tunggal dipilih dengan memperhatikan sisi keluaran yang dihasilkan oleh panel surya dan biaya yang diperlukan [1]. Selain itu, letak Indonesia yang berada di khatulistiwa menyebabkan pergerakan matahari yang tidak terlalu signifikan apabila dibandingkan dengan negara yang terletak di luar lingkar tropis. Keluaran dari solar tracker ini kemudian dibandingkan dengan sebuah panel yang diam (statis) sebagai variabel kontrol untuk melihat unjuk kerja dari *solar tracker*.

METODE PENELITIAN

Pergerakan harian maupun tahunan dari matahari disebabkan oleh sumbu rotasi bumi yang miring sejauh ±23,45^o dari bidang ekliptika. Kemiringan ini yang menyebabkan terjadinya pergantian musim dalam setahun. Pergerakan matahari dalam setahun dikenal dengan gerak semu tahunan matahari. Gambar 1 merupakan sebuah ilustrasi yang menunjuk-kan perpindahan semu matahari terhadap bumi. [15]

Terlihat pada Gambar 1, sudut yang ter-bentuk antara bidang ekuator dan sebuah garis yang ditarik dari pusat matahari ke pusat bumi disebut deklinasi bumi. Nilai sudut ini ber-variasi antara ±23,45^o, dan sebuah hubungan sinusoidal yang mengasumsikan jumlah hari dalam setahun adalah 365 dan *equinox* musim semi berada pada hari ke-81 (n=81).



Gambar 1. Perpindahan semu matahari terhadap bumi [15]

Tabel 1. Sudut deklinasi matahari pada saat pengambilan data

Tanggal	07/02/19	08/02/19	09/02/19	10/02/19	11/02/19
n	38	39	40	41	42
δ	-15,82^o	-15,52^o	-15,21^o	-14,90^o	-14,59^o

Penghitungan sudut deklinasi ini sesuai dengan persaman 1. [15]

$$\delta = 23{,}45 \sin\left(\frac{360}{365}(n-81)\right) \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan 1, diperoleh sudut deklinasi matahari selama pengambilan data yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Berdasarkan uraian di atas, proses penelitian ini dilakukan dalam tiga tahapan utama, yakni perancangan *hardware*, perancangan *software*, dan pengukuran atau pengujian.

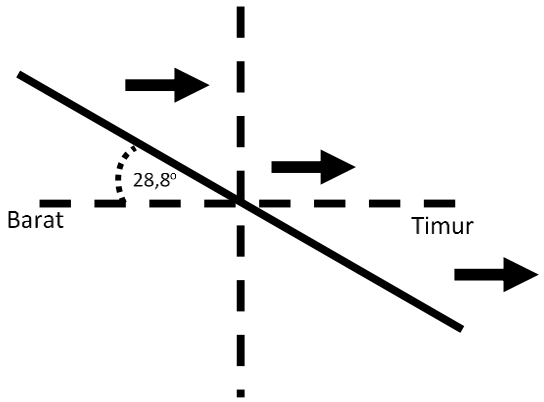
PERANCANGAN *HARDWARE*

Solar tracker yang dibuat hanya memiliki sebuah sumbu yang berfungsi untuk mengikuti ketinggian matahari yang diukur dari horizon. Sistem ini menggunakan motor *stepper* sebagai aktuator. Motor *stepper* digunakan karena biasa diaplikasikan pada sistem-sistem yang membutuhkan pergerakan dengan tingkat presisi tertentu [16]. Sistem ini tidak menggunakan sensor, melainkan menggunakan sebuah sistem pewaktuan eksternal *real time clock* (RTC). RTC adalah sebuah rangkaian terpadu yang menyediakan, dan menyimpan, sistem pewaktuan (detik, menit, jam, tanggal, bulan, dan tahun) untuk digunakan pada sistem-sistem yang berhubungan dengan waktu sebenarnya (*real time*) [17], [18]. Keseluruhan sistem akan dikendalikan oleh sebuah mikrokontroler Arduino Uno yang merupakan mikrokontroler berbasis Atmega328 yang bersifat *open source* dan mudah untuk diaplikasikan dalam sistem kontrol [1].

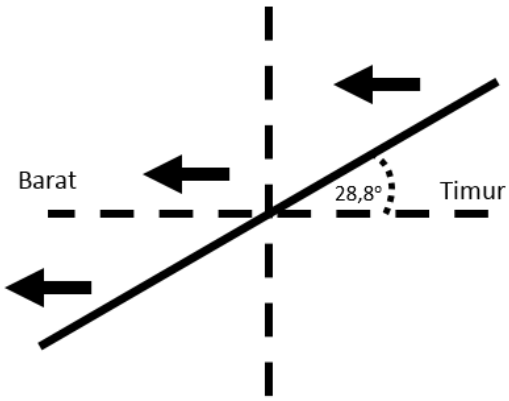
Panel *solar tracker* akan bergerak tiap 30 menit yang bekerja dimulai pukul 08.00 WIB dan berakhir pada 16.30 WIB. Oleh karena itu, terbentuklah 16 langkah setiap harinya dimana tiap langkah sebesar 3,60^o. Gambar 2 menunjukkan orientasi panel pada

pukul 08.00 WIB dan Gambar 3 menunjukkan orientasi panel pada pukul 16.30 WIB.

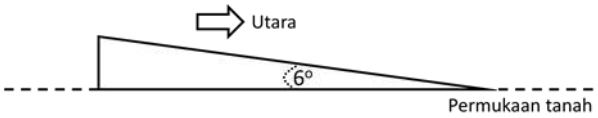
Untuk panel surya statis, panel akan menghadap utara. Arah ini dipilih karena Kecamatan Jatinangor terletak pada belahan selatan Bumi. Panel ini akan dipasang dengan kemiringan 6º. Hal ini dikarenakan Kecamatan Jatinangor terletak pada 6,9º lintang selatan (LS). Nilai dari koordinat lintang tersebut di-kalikan dengan 0,87 karena derajat lintangnya kurang dari 25º [19]. Ilustrasi instalasi panel surya sumbu tetap terdapat pada Gambar 4.



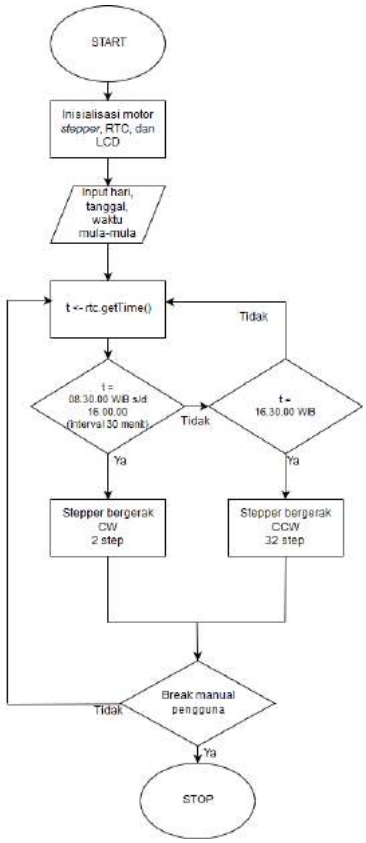
Gambar 2. Orientasi panel *solar tracker* pada pukul 08.00 WIB



Gambar 3. Orientasi panel *solar tracker* pada pukul 16.30 WIB



Gambar 4. Orientasi panel surya statis



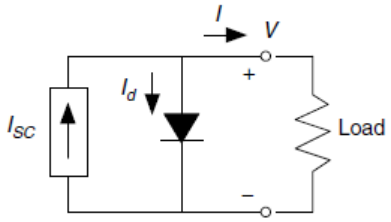
Gambar 5. Diagram alir program

PERANCANGAN *SOFTWARE*

Program dimulai dengan mengatur hari, tanggal, dan waktu mula-mula untuk RTC. Selama RTC berjalan, terdapat beberapa waktu yang akan digunakan sebagai kondisi yang akan menentukan pergerakan motor *stepper*. Apabila sistem pewaktuan RTC menunjukkan pukul 08.30.00 WIB; 09.00.00 WIB; 09.30.00 WIB; ...; dan 16.00.00 WIB, maka motor *stepper* akan berputar sebanyak 2 langkah searah jarum jam. Namun, ketika pewaktuan RTC menunjukkan pukul 16.30.00 WIB motor *stepper* akan bergerak 32 langkah berlawanan arah jarum jam untuk mengembalikan orientasi panel surya ke posisi semula. Gambar 5 menunjukkan diagram alir rancangan program. *Break* eksternal dapat diartikan sebagai proses penghentian program dari *looping* yang berasal dari luar program, seperti diputus dari catu daya. Apabila hal ini terjadi, program akan dimulai dari awal ketika diaktifkan kembali.

PENGUJIAN

Pengujian dilakukan dengan melakukan pengukuran secara langsung terhadap sistem yang telah dibuat. Besaran yang diukur dalam penelitian ini adalah nilai tegangan dan arus keluaran dari sistem solar tracker. Nilai tegangan yang diukur adalah tegangan *open circuit* (Voc) dan arus yang diukur adalah arus *short circuit* (Isc).



Gambar 6. Model sederhana sel fotovoltaik [15]

Sebuah model ekuivalen paling sederhana untuk menggambarkan sel fotovoltaik adalah berupa sumber arus yang dikendalikan oleh sinar matahari yang diparalelkan dengan sebuah dioda seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6. Apabila sel fotovoltaik tidak dihubungkan dengan beban, maka akan terbentuk dua buah kondisi yang sesuai untuk pengambilan data, yakni arus ketika kedua terminal dihubungkan (arus *short circuit*, I_{SC}) dan tegangan ketika kedua terminal dibiarkan terbuka (tegangan *open circuit*, V_{OC}). Persamaan yang berlaku pada Gambar 2 untuk kedua kondisi ini dimulai dengan persamaan 2. [15]

$$I=I_{SC}-I_d=I_{SC}-I_0(e^{qV/kT}-1) \quad (2)$$

Pada persamaan 2, I_0 adalah arus saturasi bias balik, q adalah muatan elektron ($1{,}602\times10^{-19}$ C), k adalah konstanta Boltzmann ($1{,}381\times10^{-23}$ J/K), dan T adalah temperatur *junction* (K), normalnya 25°C. Ketika kedua terminal dibiarkan terbuka, maka V_{OC} diperoleh sesuai dengan persamaan 3. [15]

$$V_{OC}=\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{SC}}{I_0}+1\right) \quad (3)$$

Apabila dimasukkan T=25°C ke dalam persamaan 2 dan 3, maka kedua persamaan tersebut akan menjadi persamaan 4 dan 5. [15]

$$I=I_{SC}-I_0(e^{38{,}9V}-1) \quad (4)$$

$$V_{OC}=0{,}0257\ln\left(\frac{I_{SC}}{I_0}+1\right) \quad (5)$$

Nilai tegangan dan arus diukur menggunakan multimeter tiap 30 menit dimulai pukul 08.15 WIB sampai dengan 16.15 WIB, baik pada panel surya dengan *solar tracker* maupun panel surya sumbu tetap. Besaran tegangan dan arus yang dihasilkan dari sistem *solar tracker* kemudian di-bandingkan dengan tegangan dan arus yang diperoleh dari panel surya statis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Purwarupa sistem *solar tracker* yang telah dibuat secara umum terbagi menjadi tiga subsistem yang lebih kecil, yakni unit catu daya, kotak panel kontrol, dan panel surya. Gambar 7 memperlihatkan sistem *solar tracker* secara utuh, dimana (A) merupakan subsistem unit catu daya, (B) merupakan subsistem kotak panel kontrol, dan (C) merupakan subsistem panel surya.



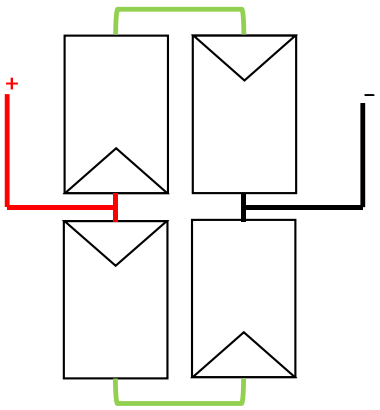
Gambar 7. Purwarupa *solar tracker*

Bagian unit catu daya merupakan sebuah baterai *Lithium Polymer* 2200 mAh yang digunakan sebagai sumber energi penggerak motor *stepper*. Penggunaan baterai terpisah dalam purwarupa ini dikarenakan energi yang dihasilkan dari panel surya yang digunakan tidak mampu untuk menggerakkan motor *stepper* yang digunakan.

Kotak panel kontrol merupakan tempat di mana komponen-komponen pengontrol yang terdiri dari Arduino Uno, *real time clock* (RTC) DS3231, motor *driver* L298N, dan modul *relay* sebagai komponen pelengkap berada. Selain komponen pengontrol, terdapat perangkat *display* berupa LCD 16x2. Modul relay berfungsi untuk memutus hubungan antara baterai pada subsistem unit catu daya dan hanya akan terhubung apabila pewaktuan RTC sudah memenuhi kondisi untuk subsistem panel surya akan bergerak, sehingga baterai yang digunakan tidak cepat habis dan lebih hemat energi.

Bagian panel surya merupakan inti dari sistem *solar tracker* ini. Bagian ini terdiri atas panel-panel surya kecil, dengan spesifikasi tegangan dan arus berturut-turut 6v dan 200mA, dan sistem penggerak berupa motor *stepper* KS42STH40-1204A. Panel-panel surya kecil ini dihubungkan secara seri-paralel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Pada sistem statis, koneksi panel surya kecil dibuat identik dengan Gambar 8. Sistem panel surya statis ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 8. Koneksi antar panel surya kecil



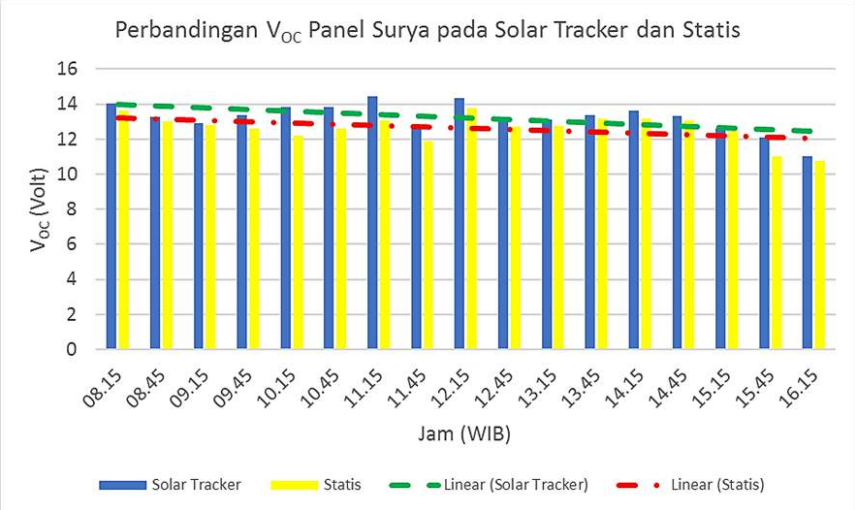
Gambar 9. Sistem panel surya statis

PERBANDINGAN *OUTPUT* PANEL *SOLAR TRACKER* DENGAN PANEL SURYA STATIS

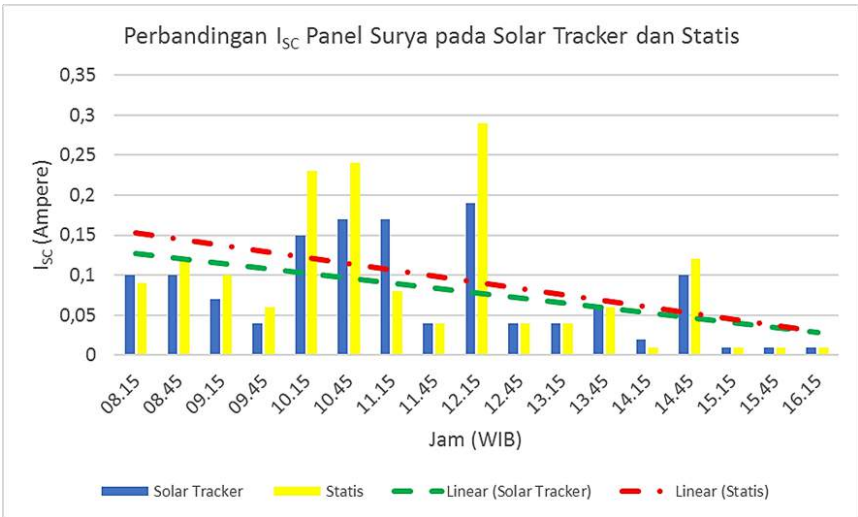
Pengujian sistem dilakukan selama lima hari. Namun, selama melakukan pengujian ter-dapat kendala berupa cuaca yang tidak menentu. Hal ini mengakibatkan ketidaklengkapan data hasil pengujian yang diperoleh. Selama proses pengujian, hanya diperoleh satu hari, yakni tanggal 10 Februari 2019, yang memiliki data pengujian lengkap. Data pengujian V_{OC} dan I_{SC} yang diperoleh pada tanggal tersebut ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Data V_{OC} dan I_{SC}

Jam (WIB)	*Solar Tracker*		Statis	
	V_{OC} (V)	I_{SC}(A)	V_{OC} (V)	I_{SC}(A)
08.15	14,05	0,10	13,60	0,09
08.45	13,24	0,10	13,02	0,12
09.15	12,93	0,07	12,83	0,10
09.45	13,37	0,04	12,58	0,06
10.15	13,80	0,15	12,20	0,23
10.45	13,80	0,17	12,60	0,24
11.15	14,42	0,17	13,04	0,08
11.45	12,81	0,04	11,91	0,04
12.15	14,36	0,19	13,79	0,29
12.45	13,14	0,04	12,72	0,04
13.15	13,11	0,04	12,74	0,04
13.45	13,36	0,06	13,14	0,06
14.15	13,62	0,02	13,15	0,01
14.45	13,31	0,10	13,05	0,12
15.15	12,60	0,01	12,45	0,01
15.45	12,08	0,01	11,02	0,01
16.15	11,01	0,01	10,79	0,01



Gambar 10. Grafik V_{OC} panel surya pada *solar tracker* dan statis



Gambar 11. Grafik I_{SC} panel surya pada *solar tracker* dan statis

Grafik perbandingan dan *trend* data tegangan V_{OC} dan data arus I_{SC} pada Tabel 1 secara berturut-turut terdapat pada Gambar 10 dan 11.

Terlihat pada Gambar 10 bahwa nilai tegangan V_{OC} pada *solar tracker* sesuai dengan harapan, yakni nilainya selalu lebih besar dibandingkan dengan panel surya statis. Hal ini juga terlihat dari kurva *trend* yang menunjukkan nilai V_{OC} pada *solar tracker* selalu lebih tinggi dibandingkan dengan panel surya statis. Nilai V_{OC} pada *solar tracker* lebih besar 4,83% dibandingkan pada panel surya statis.

Karakteristik yang terlihat pada V_{OC} tidak muncul di I_{SC}. Terlihat pada Gambar 11 bahwa nilai I_{SC} baik pada *solar tracker* maupun panel surya statis menunjukkan fluktuasi yang signifikan dan secara umum nilai I_{SC} pada panel surya statis lebih besar dibandingkan *solar tracker*. Nilai I_{SC} pada *solar tracker* secara umum lebih rendah

11,11% dibandingkan pada panel surya statis. Nilai I_{SC} *solar tracker* yang lebih besar hanya terjadi pada pengambilan data pertama (pukul 08.15 WIB) yang pada saat itu matahari masih cenderung di posisi timur. Namun, hal ini tidak terjadi ketika matahari sudah memasuki posisi barat, di mana nilai I_{SC} pada *solar tracker* maupun panel surya statis bernilai sama.

Salah satu dari penyebab hal ini dapat terjadi adalah penggunaan beberapa panel surya kecil dalam satu sistem. Tiap panel surya kecil merupakan sebuah sistem individu yang memiliki kualitas yang berbeda-beda. Oleh karena itu, meskipun hubungan antar panel surya kecil pada *solar tracker* dan panel surya statis identik, tetap saja terdapat perbedaan pada kualitas tiap panel surya kecil yang digunakan.

SIMPULAN DAN SARAN

Sebuah purwarupa dari sistem *solar tracker* sumbu tunggal telah berhasil dibuat. Purwarupa ini menggunakan sebuah motor *stepper* KS42STH40-1204A yang bergerak sesuai dengan pewaktuan *real time clock* (RTC) DS3231. Tegangan V_{OC} pada *solar tracker* 4,83% lebih besar dibandingkan pada panel surya statis, tetapi I_{SC} pada *solar tracker* 11,11% lebih kecil dibandingkan pada panel surya statis.

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada penelitian berikutnya, sebaiknya menggunakan modul panel surya tunggal untuk tiap sistem. Apabila berukuran besar, motor yang digunakan harus diperbesar pula. Selain itu, sirkulasi udara pada kotak panel kontrol harus diperhatikan agar tidak ada komponen yang *overheat*. Pemasangan sensor yang peka terhadap intensitas cahaya, seperti *light-dependent resistor*, dapat membantu pergerakan panel dalam mengikuti pergerakan matahari, sehingga sistem *solar tracker* dapat semakin memaksimalkan tangkapan iradiansi matahari. Selain itu, untuk memaksimalkan penangkapan iradiansi matahari dapat pula dibuat kemiringan pada poros panel surya dengan *solar tracker* sumbu tunggal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] P. Rani, O. Singh, dan S. Pandey, "An Analysis on Arduino based Single Axis Solar Tracker," in *2018 5th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering*, 2018, hal. 18–22.

[2] C. Sungur, "Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey," *Renewable Energy*, vol. 34, no. 4, hal. 1119–1125, 2009.

[3] J. K. Tharamuttam dan A. K. Ng, "Design and Development of an Automatic Solar Tracker," *Energy Procedia*, vol. 143, hal. 629–634, 2017.

[4] W. Indrasari, R. Fahdiran, E. Budi, L. Jannah, L. V. Kadarwati, dan Ramli, "Active Solar Tracker Based on the

Horizon Coordinate System," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1120, no. 012102, hal. 1–5.

[5] PT PLN, *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2019-2028*, Jakarta, 2019.

[6] A. El Hammoumi, S. Motahhir, A. El Ghzizal, A. Chalh, dan A. Derouich, "A simple and low-cost active dual-axis solar tracker," *Energy Science and Engineering*, vol. 6, no. 5, hal. 607–620, 2018.

[7] M. Khairudin dan S. Adyarno, "Solar Tracker on Solar Home System to Optimize Sunlight Absorption," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1140, no. 012005, hal. 1–5, 2018.

[8] L. Barker, M. Neber, dan H. Lee, "Design of a low-profile two-axis solar tracker," *Solar Energy*, vol. 97, hal. 569–576, 2013.

[9] X. Berisha, A. Zeqiri, and D. Meha, "Determining the optimum tilt angles to maximize the incident solar radiation-case of study Pristina," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 7, no. 2, hal. 123–130, 2018.

[10] T. O. Kaddoura, M. A. M. Ramli, and Y. A. Al-Turki, "On the estimation of the optimum tilt angle of PV panel in Saudi Arabia," *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 65, hal. 626–634, 2016.

[11] P. D.L., Hermawan, and Karnoto, "Analisis sudut panel solar cell terhadap daya output dan efisiensi yang dihasilkan," *Transient: Jurnal Ilmiah. Teknik Elektro*, vol. 2, no. 4, hal. 930–937, 2013.

[12] V. Poulek, A. Khudysh, dan M. Libra, "Self powered solar tracker for Low Concentration PV (LCPV) systems," *Solar Energy*, vol. 127, hal. 109–112, 2016.

[13] A. O. Ndubuisi, E. Imolorhe, dan M. L. Akinyemi, "Investigating the effect of solar trackers on solar energy harnessing in the Tropics," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 173, no. 012044, hal. 1–7.

[14] S. Lo *et al.*, "Design, operation, and performance evaluation of a cable-drawn dual-axis solar tracker compared to a fixed-tilted system," *Energy Science and Engineering*, vol. 3, no. 6, hal. 549–557, 2015.

[15] G. M. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. Hoboken: Wiley, 2005.

[16] A. Anuraj dan R. Gandhi, "Solar Tracking System Using Stepper Motor," *International Journal of Electronic and Electrical Engineering*, vol. 7, no. 6, hal. 561–566, 2014.

[17] M. N. A. Mohd Alias dan S. N. Mohyar, "Architectural design

proposal for real time clock for wireless microcontroller unit," in *EPJ Web of Conferences*, 2017, vol. 162, no. 01072, hal. 1–7.

[18] M. N. A. M. Alias, S. N. Mohyar, M. N. Isa, A. Harun, A. B. Jambek, dan S. A. Z. Murad, "Design and analysis of dedicated Real-time clock for customized microcontroller unit," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 14, no. 2, hal. 796–801, 2019.

[19] C. R. Landau, "Optimum Tilt of Solar Panels," March, 2017. [Daring]. Available: https://www.solarpaneltilt.com/ [Diakses: 6 Desember 2018]

ISSN: 1693-0266 (Printed) ,
2654-8666 (Online)

Review:
Potensi Limbah Plastik Dan Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dengan Proses Pirolisis

Herliati [1], Septian Bagus Prasetyo [2] dan Yogi Verinaldy [3]

Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya
Jl. Raya Bogor Km. 28,8 Cimanggis, Jakarta Timur / Telp. (021) 8714823, 8722485.
Corresponding author :herliati@ftijayabaya.ac.id

Abstract

Plastic waste with various types such as Polyethylene Tereptalat (PET), high-density polyethylene (HDPE), Low Density polyethylene (LDPE), and polypropylene (PP) is the problem that must be solved which Indonesia is the second largest country in the world as a producer of plastics waste. In addition Indonesia also has a huge local potential in generating the waste biomass of organic compounds such as sewage farms and plantations. It is otherwise resolved of course would be bad for the environment. Several alternatives have been performed in order to manage such waste through recycling technology. However this method has its disadvantages because it takes paying high costs for labor and separation process as well as contamination in bodies of water so that the method is difficult to apply as sustainable. Therefore, the researchers then turned their attention on the utilization of the above wastes as an alternative energy source that is liquid fuel. This paper is an review of the potential conversion of plastics waste and organic waste into liquid fuel by pyrolysis technology. The main parameters examined i.e. temperature, pressure, reactor, residence time and catalyst. In addition, the idea for the optimization of fuel products are also discussed here.

Abstrak

Limbah plastik dengan berbagai jenis seperti Polietilen Tereptalat (PET), High-Density polietilen (HDPE), Low-Density polietilen (LDPE), dan polipropilen (PP) merupakan masalah yang harus diatasi dimana Indonesia merupakan negara penyumbang terbesar kedua di dunia. Selain itu Indonesia juga memiliki potensi lokal yang besar dalam menghasilkan limbah biomassa yang merupakan senyawa organik seperti limbah pertanian dan perkebunan. Hal ini kalau tidak diatasi tentu saja akan berdampak buruk bagi lingkungan. Beberapa alternatif telah dilakukan dalam rangka mengelola limbah tersebut melalui teknologi daur ulang. Namun metode ini memiliki kelemahan karena dibutuhkan biaya yang tinggi untuk membayar tenaga kerja dan biaya proses pemisahan serta mengakibatkan kontaminasi pada air sungai sehingga metode ini sulit untuk diterapkan secara berkelanjutan. Oleh karena itu, para peneliti kemudian beralih perhatiannya pada pemanfaatan limbah plastik dan biomassa sebagai sumber energi alternatif yaitu bahan bakar cair. Tulisan ini merupakan telaah potensi konversi limbah plastik dan limbah organik menjadi bahan bakar cair dengan teknologi pirolisis. Parameter utama yang dikaji yaitu suhu, tekanan, jenis reaktor, waktu tinggal dan katalis. Selain itu, gagasan untuk optimasi produk bahan bakar juga dibahas di sini.

Keywords: *Biomass, Fossil Fuels, Liquid Fuels, Plastics Waste, Pyrolysis*

1. Pendahuluan

Dalam dasawarsa ini masalah persoalan berkurangnya ketersediaan Bahan Bakar yang bersumber dari fosil di dunia telah menjadi perbincangan umum karena cadangan bahan bakar fosil terus menurun [1]. Laporan dunia tahun 2010 bahwa konsumsi petroleum terus meningkat dengan pertumbuhan 1 persen per tahun, sementara konsumsi gas alam juga meningkat dengan pertumbuhan 1,5 persen per tahun [2]. Dapat dibayangkan, jika minyak dan gas tidak dapat dihemat penggunaannya maka gas dan minyak dunia hanya akan tersedia 43 dan 167 tahun yang akan datang. Karena itu sumber alternatif energi terbarukan seperti biomassa, *hydropower*, *geothermal*, energi angin, nuklir, dan lain sebagainya menjadi hal yang menarik untuk dikaji. Sampah plastik merupakan salah satu alternatif, sebagai *feedstock* bahan bakar cair, yang mana dapat berkontribusi sebagai pengganti petroleum [3]. Indonesia sebagai negara dengan jumlah penduduk terbesar ke-lima tentu saja mengalami masalah yang sama [4]. Cadangan bahan bakar minyak di Indonesia yang semakin berkurang sementara laju konsumsi semakin meningkat mengakibatkan pemerintah harus menerapkan kebijakan guna mencari alternatif bahan bakar pengganti BBM [5, 6]. Pemerintah telah melakukan berbagai upaya penghematan energi sambal secara masif mendorong berkembangnya sumber energi baru dan terbarukan. Salah satu bahan bakar alternatif yang ramai dibicarakan adalah bahan bakar dari sampah plastik dan biomassa [5, 7, 8].

Sampah plastik merupakan limbah yang sangat sulit terurai kecuali dalam waktu yang sangat lama [2]. Selain itu sampah plastik memberikan dampak buruk pada kehidupan manusia antara lain kesehatan, lingkungan, dan sosial ekonomi [9]. Indonesia negara terbesar kedua penyumbang sampah plastik dunia dengan menyumbang sekitar 1,29 juta metrik ton [10, 11]. Jenis Sampah plastik yang banyak dijumpai terutama di wilayah perkotaan yaitu PET, HDPE, PVC, LDPE, dan PP [12]. Semakin tinggi kebutuhan akan penggunaan plastik untuk berbagai keperluan termasuk untuk kegunaan rumah tangga akan berdampak pada tingginya laju penumpukan sampah plastik [13, 14]. Secara kimiawi plastik adalah polimer yang terdiri dari monomer rantai panjang. Untungnya melalui proses pirolisis polimer tersebut dapat direngkah dan dikonversi menjadi bahan bakar cair seperti kerosen, disel dan bensin [15, 16].

Untuk mengurangi sampah plastik yang dibuang ke TPA, awalnya metode daur ulang dianggap sebagai alternatif untuk mengelola sampah plastik. Namun terbukti bahwa proses daur ulang plastik sangat sulit dan mahal karena terkendala biaya buruh untuk proses pemisahan [17]. Selain itu, proses daur ulang memiliki potensi terhadap pencemaran air sungai [18]. Pemisahan diperlukan karena plastik terbuat dari berbagai jenis dengan kegunaan yang berbeda. Salah satu teknologi alternatif konversi sampah plastik atau biomassa menjadi bahan bakar cair adalah proses pirolisis yaitu sebuah reaksi perengkahan termal tanpa menggunakan oksigen. Saat ini, pirolisis telah menjadi perhatian serius sebagai salah satu metode konversi sampah plastik menjadi bahan bakar cair karena memberikan manfaat baik secara ekonomi maupun kaitannya dengan pencegahan pencemaran lingkungan [19].

Selain sampah plastik, biomassa juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber alternatif bahan baku untuk mengatasi persoalan saat ini dimana cadangan energi dunia mengalami kecenderungan menurun [20]. Biomassa memiliki ketersediaan melimpah di Indonesia bahkan di seluruh dunia [5, 6, 21]. Khusus di Indonesia, potensi limbah pertanian, kehutanan dan sampah padat perkotaan sebagai sumber energi diperkirakan mencapai 200 ton/tahun [22]. Pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar mendapat perhatian yang besar dari para peneliti karena pertimbangan ramah lingkungan yaitu kandungan belerang dan nitrogen yang rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil, hal ini sangat terkait dengan gas emisi berbahaya seperti gas nitrous (NO_x) dan sulfur dioksida (SO_2) [23].

Konversi biomassa menjadi biofuel melalui proses fermentasi telah dilakukan oleh para peneliti, namun metode ini kurang berkembang karena memiliki kelemahan dalam hal waktu reaksi yang lama. Oleh karena itu dibutuhkan metode alternatif yang lebih efisien. Produksi *biofuel* (minyak, gas dan char) dengan proses pirolisis menggunakan berbagai jenis biomassa telah diselidiki secara ekstensif oleh banyak peneliti. Para peneliti lebih tertarik mengembangkan metode pirolisis untuk mengkonversi biomassa menjadi bahan bakar cair karena memiliki keuntungan dalam hal penyimpanan, transportasi dan fleksibilitas dalam aplikasinya [24]. Beberapa jenis biomassa tersebut diantaranya kayu, tandan kosong kelapa sawit, sampah organik rumah tangga, dll [5]. Teknologi pirolisis memiliki kemampuan untuk memproduksi bahan bakar cair dari biomassa dengan yield bahan bakar yang tinggi [20].

Tujuan dari review ini adalah untuk mengkaji parameter-parameter penting dalam proses pirolisis seperti suhu, tekanan, jenis reaktor, waktu tinggal dan katalis serta memberikan gambaran kondisi terbaik dari parameter-parameter yang disebutkan

2. Metodologi

Metode yang digunakan pada studi ini berupa kajian literatur yang luas dan mendalam terhadap parameter-parameter suhu, tekanan, jenis reaktor, waktu tinggal dan katalis. pada topik pirolisis baik untuk sampah plastik maupun biomassa. Sumber kajian ini adalah data sekunder yang digunakan termasuk internet, laporan penelitian, prosiding, dan artikel jurnal nasional maupun internasional yang fokus pada konversi plastik dan biomassa menjadi bahan bakar cair menggunakan teknologi pirolisis.

3. Plastik

3.1 Polyethylene terephthalate (PET)

PET adalah jenis plastik yang digunakan secara luas sebagai kemasan berbagai produk makanan dan minuman seperti air mineral, botol minuman ringan dan wadah jus buah. Hal ini adalah karena sifat dasar PET yang keras dan kuat, ringan dan tahan terhadap tekanan, sangat cocok untuk digunakan sebagai kemasan termasuk juga jika digunakan untuk kemasan dengan kapasitas yang besar [25]. Selain itu, PET juga digunakan sebagai isolasi listrik, pita magnetik, Xray dan film fotografi lainnya [26]. Penggunaan PET yang sangat besar ini, dimana meningkat 12 % per tahun, akan menyebabkan tumpukan PET di tempat pembuangan sampah semakin besar [27]. Daur ulang limbah PET tidak ekonomis karena membutukan biaya pemisahan yang tinggi. Oleh karena itu, alternatif lain pemanfaatan limbah PET dengan cara mengkonversinya menjadi bahan bakar cair menggunakan teknologi pirolisis telah dieksplorasi oleh beberapa peneliti [13, 15, 28].

Potensi konversi PET untuk menghasilkan minyak cair menggunakan reactor *fixed-Bed* dengan proses pirolisis pada suhu 500°C telah dilakukan [29, 30]. Dilaporkan bahwa dengan metode ini diperoleh bahan bakar cair 30 - 40 % berat sementara bahan bakar gas 60 - 80 % berat dan padatan residu 10 -20 % berat [31, 32, 33]. Namun dari hasil karakterisasi produk, hasil pirolisis menunjukkan tingkat keasaman yang tinggi disebabkan kandungan asam benzoat. Hal ini tentu tidak menguntungkan karena selain dapat menyumbat pipa dan *heat exchanger* jga dapat menimbulkan korosif pada pemakaiannya, sehingga membutuhkan perhatian serius jika diterapkan untuk skala industri [32].

3.2 High-density polyethylene (HDPE)

HDPE adalah sebuah polimer senyawa hidrokarbon panjang rantai lurus yang memiliki kekerasan tinggi serta tidak mudah terdegradasi oleh paparan matahari, perubahan cuaca (panas atau dingin). Berdasarkan sifat-sifat ini, HDPE banyak digunakan untuk kemasan botol susu, wadah detergen, botol minyak, mainan anak dan lain sebagainya [33, 34]. Jenis

plastik ini menghasilkan limbah 18-30 % volume dari total limbah padat rumah tangga. Untuk itu persoalan ini merupakan hal yang sangat serius untuk diatasi. Dari beberapa hasil penelitian melaporkan bahwa limbah HDPE dapat dirubah menjadi bahan bakar menggunakan proses pirolisis [3, 9, 13, 35]. Dapat disimpulkan bahwa kondisi suhu yang digunakan berkisar antara 300 – 400 ^{o}C di dalam reaktor *fluidized*-Bed. Hasil penelitian memperoleh bahan bakar cair 60 - 70 % berat sementara bahan bakar gas 20 - 30 % berat dan padatan residu sampai 10 % berat [33, 34, 36].

3.3 Low-density polyethylene (LDPE)

Berbeda dengan HDPE, LDPE adalah jenis polimer yang memiliki banyak cabang sehingga memiliki gaya intermokelul yang lebih lemah tentu saja konsekuansinya memiliki kekuatan tekan dan kekerasan yang lebih rendah dibandingkan HDPE [12]. Namun demikian, LDPE memiliki keunggulan dalam hal mudah dibentuk dan resisten terhadap air. Untuk itu LDPE banyak digunakan untuk kantong plastik, pembungkus foil untuk Kemasan, kantong sampah dan lain sebagainya. Sebagai konsekuensi LDPE banyak dijumpai di tempat pembuangan akhir sampah dimana menempati urutan kedua sebagai penyumbang sampah padatan setelah polipropilen [33, 34]. Sebagai salah satu cara untuk mengatasi persoalan limbah ini adalah dengan mengkonversi LDPE menjadi energi. Teknologi pirolisis, untuk merubah limbah LDPE menjadi bahan bakar, telah menjadi perhatian oleh banyak peneliti saat ini [18, 19, 37].

Berbeda dengan pirolisis HDPE, reaktor *fluidized-bed* pada kisaran suhu 400 - 500 ^{o}C dengan laju pemanasan 10 ^{o}C/menit digunakan pada pirolisis LDPE. Pengamatan berlangsung selama 20 menit dimana gas nitrogen berfungsi sebagai agen fluidisasi. Dengan bahan LDPE, bahan bakar cair yang dihasilkan lebih tinggi yaitu antara 70 – 90 % berat, gas yang dihasilkan sedikit dan tidak ada sama sekali padatan yang tersisa [12, 38, 39].

3.4 *Polypropylene* (PP)

PP adalah polimer jenuh dengan rantai hidrokarbon lurus memiliki sifat tahan terhadap panas yang baik. Tidak seperti HDPE, PP tidak mencair pada suhu di bawah 160 ^{o}C. PP memiliki densitas lebih rendah dibandingkan HDPE tetapi memiliki kekerasan tinggi dan kekakuan yang lebih sehingga PP lebih disukai sebagai plastik industri [40]. PP memberikan kontribusi limbah plastik sekitar 24% dimana merupakan limbah plastik terbesar yang terdapat di tempat pembuangan akhir [41]. Aplikasi PP sangat beragam termasuk pot bunga, folder arsip, ember, karpet, mebel, kotak penyimpanan dan lain sebagainya [40]. Tingginya pemakaian PP dalam kehidupan sehari-hari menyebabkan jumlah limbah PP limbah akan meningkat setiap tahun dan oleh karena itu, proses pirolisis merupakan metode alternatif yang telah dipelajari untuk mengkonversi limbah plastik menjadi energi terbarukan sekaligus mengatasi masalah penumpukan limbah. Beberapa peneliti telah melakukan evaluasi terhadap metode pirolisis PP menggunaan berbagai parameter guna mengetahui sifat dan mengukur bahan bakar cair yang dihasilkan [12, 15, 19, 42].

Pirolisis PP dilakukan pada kondisi suhu berkisar antara 250 - 350 ^{o}C di dalam sebuah dilaporkan bahwa hasil terbaik diperoleh pada suhu sekitar 300 ^{o}C dimana konversi plastik hampir 99 % dengan solid residu sebesar 1,5 % [12]. Ketika suhu mendekati 400 ^{o}C hasil yang diperoleh menjadi turun dimana terjadi kenaikan solid residu menjadi 5 % berat. Hal ini memperlihatkan bahwa pembentukan coke terjadi pada suhu tinggi [33]. Fakta ini telah dikonfirmasi oleh peneliti lainnya dimana pirolisis pada suhu > 400 ^{o}C dijumpai hasil berupa liquid 80 % berat, gas 6,6 % berat dan padatan 13,3 % berat. Kondisi suhu yang ekstrim yaitu

750 ºC di dalam reaktor *batch* menghasilkan liquid 48,8 % berat liquid, gas 49,6 % berat dan 1,6 % berat padatan [15].

4. Biomassa

Biomassa dapat didefinisikan sebagai bahan yang berasal dari tumbuh tumbuhan atau dari kotoran hewan yang utamanya terdiri dari karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sedikit kandungan anorganik [43]. Sumber energi biomassa adalah salah satu yang paling awal dan saat ini adalah terbesar ketiga di dunia, dimana 40-50 % dari total penggunaan energi di banyak negara berkembang yang memiliki wilayah hutan dan pertanian luas [5, 20]. Biomassa digunakan untuk memenuhi berbagai pasokan energi, termasuk pembangkit listrik, penghangat rumah dan untuk kebutuhan energi industri [44]. Biomassa yang akan dibahas dalam tulisan ini adalah bahan organik yang dapat dihasilkan dari sampah organik, dimana komposisi utama sampah kota adalah 65% berisi sampah organik [6]. atau berupa buangan kayu. Beberapa hasil penelitian melakukan analisis ultimate untuk kayu adalah sebagai berikut karbon 50 -52 %, hidrogen 39 - 41%, oksigen 6,35 %, dan nitrogen 0,4% [5, 45].

Teknologi pirolisis, untuk merubah biomassa menjadi bahan bakar, telah menjadi perhatian para peneliti saat ini. Komponen utama dari biomassa yang berasal dari tumbuh-tumbuhan adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin, yang masing-masing berbeda dalam tingkat dekomposisi [46, 47]. Selain itu, dekomposisi dari setiap komponen yang disebutkan di atas tergantung pada suhu reaksi dan jenis reaktor yang digunakan. Dalam proses pirolisis, hemiselulosa adalah yang paling mudah terdekomposisi, selanjutnya selulosa, sementara lignin adalah yang paling sulit [20]. Menariknya, lignin maupun hemiselulosa dapat mempengaruhi karakteristik pirolisis selulosa sementara mereka tidak bisa mempengaruhi satu sama lain. Dilaporkan bahwa pada proses pirolisis yang berlangsung pada suhu 400-550°C telah dihasilkan minyak yang merupakan hasil dekomposisi selulosa, sementara padatan (*bio-char*) yang dihasilkan berasal dari lignin [48]. Oleh karena karakteristik physio-kimia yang berbeda dari selulosa, hemiselulosa dan lignin, pirolisis biomassa dengan komposisi lignin yang tinggi dapat menghasilkan minyak lebih baik. Komposisi biomassa dari berbagai sumber yang berbeda ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Selulosa, Hemiselulosa, dan Lignin Beberapa Biomassa

Sumber Biomassa	% berat			Referensi
	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin	
Kayu	35-50	20-30	25-30	[20]
	42-50	25-38	20-30	[46]
	40-50	24-40	18-35	[49]
Jerami	33-40	20-25	15-20	[20]
	40	45	15	[46]
	30	50	15	[49]
Ampas Tebu	19-24	32-48	23-32	[20]
Tongkol Jagung	50.5	31	15	[20]
	45	35	15	[49]
Kertas bekas	60-70	10-20	5-10	[49]
	80-85	5-15	-	[20]
Daun	15-20	80-85	-	[20]
	15-20	80-85	-	[49]
Kulit Pisang	13-14	14-15	14	[20]
	8-15	-	-	[49]

5. Teori Pirolisis

Pirolisis adalah proses degradasi termal tanpa adanya oksigen hal ini dalam rangka untuk mencegah pembentukan CO_X, NO_X, SO_X. Pada proses ini terjadi perengkahan hidrokarbon rantai panjang (polimer) menjadi monomer yang lebih kecil [35, 50]. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi proses pirolisis yang akan dibahas dalam tulisan ini meliputi suhu perengkahan, jenis reaktor, dan waktu tinggal [12, 42, 51].

5.1 Temperatur

Temperatur merupakan variable operasi yang memegang peranan paling penting dalam menentukan hasil produk pirolisis [37, 48]. Selain itu, temperatur juga memegang peranan penting dalam mengatur berhasil atau tidaknya reaksi *cracking* pada polimer plastik [36, 52] atau pada senyawa selulosa dalam biomassa [53]. Tidak semua bahan polimer dapat pecah dengan kenaikan temperatur. Gaya Van der Waals adalah gaya antara molekul-molekul, akan menarik molekul menjadi satu ikatan sehingga sulit untuk terpecah . Di satu sisi, ketika getaran molekul-molekul cukup kuat, mereka akan menguap bukan merengkah hal ini tentu saja tidak diharapkan. Rantai karbon baru akan pecah/merengkah jika energi yang dipengaruhi oleh gaya van der Waals terhadap rantai polimer lebih besar dari entalpi ikatan dalam rantai C-C. Ini alasan mengapa polimer dengan berat molekul yang besar akan terurai . Distribusi produk hasil pirolisis plastik dan biomassa pada variasi suhu telah dilakukan oleh beberapa peneliti guna menemukan suhu optimum terbentuknya *biofuel*. Dilaporkan bahwa, temperatur perengkahan polimer plastik berkisar pada suhu 350 - 425ºC [28, 54, 55] sedangkan temperatur dekomposisi selulosa pada kisaran suhu 400 – 550ºC. Pada temperatur kurang dari 450°C, jumlah padatan, *bio-char*, yang dihasilkan meningkat hal ini karena rendahnya konversi karbon dan rendahnya laju devolatilisasi [23, 46].

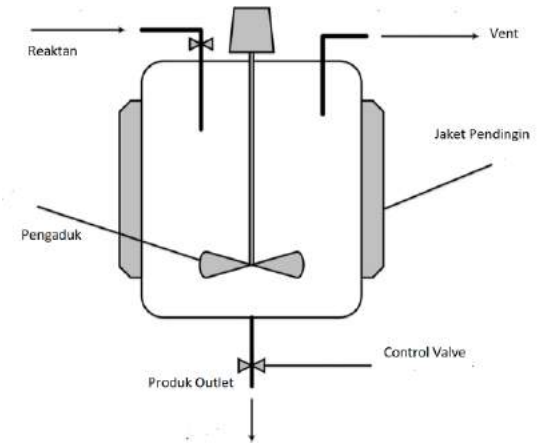
5.2 Jenis Reaktor

Reaktor adalah jantung dari berlangsungnya sebuah reaksi, dalam hal ini proses pirolisis. Jenis reaktor yang digunakan telah menjadi subyek penelitian yang serius, inovasi dan pengembangan dilakukan untuk meningkatkan karakteristik produk dan efisiensi proses seperti suhu yang tidak terlalu tinggi dan *residence time* yang singkat. Seiring dengan perkembangan teknologi pirolisis maka desain reaktor untuk maksud tersebut juga ikut berkembang guna optimalisasi performa proses pirolisis dan bertujuan untuk mengasilkan produk *biofuel* dengan yield yang tinggi dan berkualitas. Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan, pirolisis dalam skala laboratorium, umumnya menggunakan reaktor *batch*, semi-*batch* atau kontinyu (jenis *fluidized bed* dan *fixed-bed*) [12, 18, 20, 56, 57]. Masing-masing jenis reaktor ini memiliki keunggulan dan kelemahan yang akan dijelaskan berikut ini:

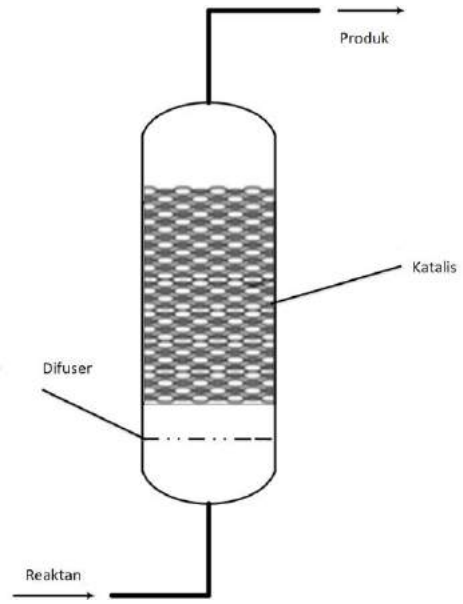
Reaktor *batch* adalah reaktor dengan sistem tertutup dimana tidak ada aliran reaktan masuk atau aliran produk keluar selama reaksi berlangsung [58]. Berbeda dengan *batch*, reaktor semi *batch* memungkinkan terjadi penambahan reaktan atau produk selama reaksi berlangsung. Salah satu keunggulan reaktor *batch* dan semi-*batch* adalah dapat diperoleh konversi yang tinggi dengan menambah waktu reaksi [59]. Namun, kelemahan dari reaktor *batch* maupun semi-*batch* terkait dengan variabilitas produk yang dihasilkan, biaya tenaga kerja tinggi dan tidak dapat diterapkan untuk skala yang besar [60]. Dilaporkan oleh beberapa peneliti bahwa reaksi pirolisis plastik menggunakan reaktor *batch* yang berlangsung pada suhu 300 – 550ºC untuk berbagai jenis plastik telah menghasilkan *biofuel* (cair, gas dan padat), sementara pirolisis biomassa berlangsung pada suhu 400 – 550ºC sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Produk Pirolisis dengan reaktor yang berbeda untuk berbagai Feedstock

Feedstock	% berat bahan bakar cair			Referensi (T= 300 – 550ºC)
	Batch Reaktor	*Fixed Bed* Reaktor	*Fluidized Bed* Reaktor	
PET	-	41,3		[18]
HDPE	-	79,72	68.7	[18]
	67	-	-	[57]
	69,3	85	-	[12]
	74	-	-	[39]
LDPE	-	84,25	-	[18]
	80,1	87	80	[12]
	85	-	-	[39]
Tongkol Jagung	-	47,3	-	[48]
Biji Kapas	48,6	-	-	[48]
Jerami	43,3	33,5	-	[48]
Biji Sirsak	18,6	-	-	[48]
Serbuk gergaji	-	31,1	-	[48]
Kulit kacang mete	40	-	-	[48]
Bagase	-	48,5	-	[48]
Tandan kosong sawit	-	-	42,28	[48]



Gambar 1.a Konfigurasi Reaktor Batch



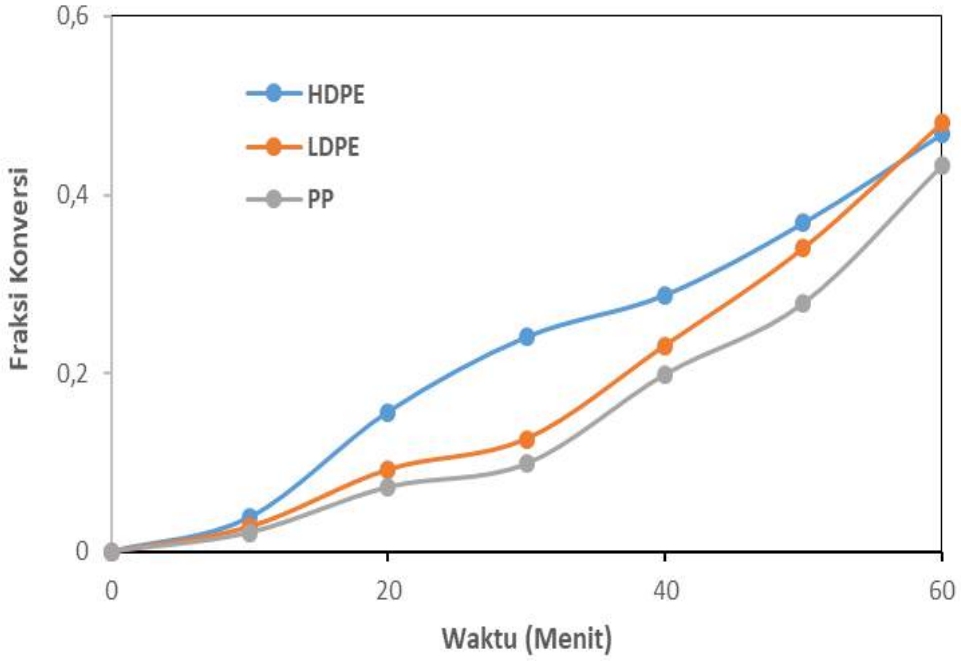
Gambar 1.b Konfigurasi Reaktor *Fixed-Bed*

Reaktor *fixed-bed* adalah sebuah reaktor berbentuk tabung silinder yang dipenuhi dengan katalis padat dimana reaktan mengalir melalui tumpukan katalis (biasanya berupa pellet) dan dikonversikan menjadi produk [59]. Konfigurasi reaktor *fixed-bed* seperti ditampilkan dalam Gambar 1.a [12]. Jenis reaktor ini memiliki kelemahan selama proses pengumpanan reaktan baik untuk pirolisis plastik [60] maupun untuk pirolisis biomassa [56]. Selain itu, luas permukaan katalis dimana kontak antar reaktan terjadi juga terbatas. Kelemahan dari reaktor *fixed-bed* kemudian diperbaiki dengan menggunakan reaktor *fluidized-bed*. Pada reaktor

jenis ini, katalis diletakkan di atas piringan dimana *fluidizing gas* mengalir melalui partikel katalis yang kemudian bergerak seperti fluida namun tidak sampai meninggalkan reaktor seperti terlihat pada Gambar 1.b [56]. Hasil beberapa penelitian proses pirolisis plastik dan biomassa menggunakan reaktor *fixed-bed* dan reaktor *fluidized bed* disajikan pada Tabel 2. Di sini dapat dilihat bahwa hasil pirolisis untuk berbagai jenis bahan baku memberikan hasil terbaik dengan menggunakan *fluidized bed reactor* kecuali untuk bahan baku dari jerami menunjukkan hasil terbaik jika menggunakan *batch* reactor.

5.3 Waktu Tinggal

Waktu tinggal berbanding lurus dengan konversi sebuah reaksi. Konversi bahan baku, plastik atau biomassa, didefinisikan sebagai banyaknya massa bahan baku yang berubah menjadi produk terhadap massa mula-mula bahan baku dengan formula sebagai berikut: $x = [m_o - m_f]/ m_o$ dengan m_o= massa plastik saat awal, gram, m_f = massa residu padat setiap saat, gram. Gambar 2 memperlihatkan pengaruh waktu tinggal terhadap konversi berbagai jenis plastik.



Gambar 2. Pengaruh waktu terhadap konversi pirolisis HDPE, LDPE, PP [61]

Dari gambar 2 dapat diamati kenaikan jumlah minyak yang dihasilkan setiap rentang waktu 0 menit. Hasil yang diperoleh sangat bergantung secara signifikan pada kenaikan suhu. Kenaikan suhu berbanding langsung dengan jumlah minyak yang dihasilkan, begitu juga dengan waktu reaksi yang semakin lama maka minyak yang dihasilkan akan semakin banyak. Dalam penelitian ini dilakukan percobaan secara duplo kemudian diambil nilai rata-rata sehingga diperoleh hasil yang akurat. Jenis plastik LDPE memberikan hasil terbaik yaitu konversi pirolisis 48 % pada waktu ke 60 menit [61].

6. Kesimpulan

Tulisan ini telah memberikan ringkasan singkat tentang pirolisis plastik dan biomassa untuk berbagai jenis dan fokus diskusi adalah menjelaskan pengaruh jenis *feedstock*, temperature, reaktor dan waktu reaksi untuk mengoptimalkan hasil bahan bakar minyak dimana kondisi terbaik diperoleh pada rentang temperatur 400 – 550°C. Berdasarkan studi literatur ini, proses pirolisis disukai oleh kebanyakan peneliti karena memiliki potensi untuk mengkonversi limbah plastik dan biomassa menjadi bahan bakar minyak, gas dan char. Pirolisis dapat dilakukan dalam reactor batch maupun kontinyu dengan atau tanpa katalis. Dengan metode pirolisis, pengelolaan limbah menjadi lebih efisien, kapasitas TPA yang diperlukan menjadi berkurang, mengurangi polusi dan juga biaya menjadi lebih ekonomis.

7. Ucapan Terima Kasih

Dengan tulus diucapkankan terima kasih atas dukungan dana yang diberikan oleh Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya melalui dana penelitian dengan Nomor Kontrak: 71. 01/DEK/FTI-UJ /XII/2018 sehingga tulisan ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. R. Singh and O. Singh, "Global Trends of Fossil Fuel Reserves and Climate Change in the 21st Century," *Fossil Fuel and the Environment,* pp. 167-192, 2012.

[2] M. M. Alla, A. Ahmed and B. K. Abdalla, "Conversion of Plastic Waste to Liquid Fuel," *International Journal of Technical Research and Applications,* vol. 2, no. 3, pp. 29-31, 2014.

[3] D. Almeida and M. d. F. Marques, "Thermal and catalytic pyrolysis of plastic waste," *Polímeros,* vol. 26, no. 1, pp. 44-51, 2016.

[4] I. Kholiq, "Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Subtitusi BBM," *Jurnal IPTEK,* vol. 19, no. 2, pp. 76-91, 2015.

[5] Arhamsyah, "Pemanfaatan Biomassa Kayu Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan,* vol. 2, no. 1, pp. 42-48, 2010.

[6] D. Anisah, Herliati and A. Widyaningrum, "Pemanfaatan Sampah Sayuran Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol," *Jurnal Konversi,* vol. 3, no. 1, pp. 13-17, 2014.

[7] E. K, M. G, A. Nego and F. X. A. Sugiyana, "Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak," in *Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, Yogyakarta, 2016.

[8] P. A. Brownsort, "Biomass Pyrolysis Processes:Performance Parameters And Their Influence On Biochar System Benefits," University of Edinburgh, 2009.

[9] R. Arun Joshi and R. Punia, "Conversion of Plastic Wastes Into Liquid Fuels," *Recent Advances in Bioenergy Research*, vol. 3, no. 1, pp. 444-454, 2014.

[10] A. R. P. Ali and Munawar, "Pengolahan Sampah Plastik Menjadi mInyak Menggunakan Proses Pirolisis," *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 4, no. 1, pp. 44-53, 2010.

[11] K. K. B. Kemaritiman, "Hot Spot Sampah Laut Indonesia," World Bank Group, Jakarta, 2018.

[12] S. D. A. Sharuddin, F. Abnisa, W. M. A. W. Daud and M. K. Aroua, "A review on pyrolysis of plastic wastes," *Energy Conversion and Management*, vol. 115, no. 1, p. 308–326, 2016.

[13] F. Gao, Pyrolysis of Waste Plastics into Fuels, University of Canterbury, 2010.

[14] M. M. Gaurav, A. K.N. and S. Lingegowda, "Conversion Of LDPE Plastic Waste Into Liquid Fuel By Thermal Degradation," *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 104-107, 2014.

[15] V. B, Chanashetty and B. Patil, "Fuel from Plastic Waste," *International Journal on Emerging Technologies(Special Issue on NCRIET-2015)*, vol. 6, no. 2, pp. 21-128, 2015.

[16] M. Sarker, M. M. Rashid and M. Molla, "Waste Plastic Conversion into Chemical Product Like Naphtha," *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, vol. 1, pp. 1-7, 2011.

[17] A. Machiraju, Harinath and K. Charan, "Extraction Liquid Hydrocarbon Fuel From Waste Plastic," in *National Conference On Trends In Science, Engineering & Technology by Matrusri Engineering College*, India, 2018.

[18] G. J. Ghewade, J. S. Bagi, S. B. Desai and M. M. Wagh, "A Review on Liquid Fuel Recovery from Waste Plastic Using Pyrolysis Process," *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, vol. 5, no. 9, pp. 375-379, 2017.

[19] R. Miandad, M. Barakat, M. Rehan, A. Aburiazaiza, I. Ismail and A. Nizami, "Plastic waste to liquid oil through catalytic pyrolysis using natural and synthetic zeolite catalysts," *Waste Management*, 2017.

[20] M. I. Jahirul, M. G. Rasul, A. A. Chowdhury and N. Ashwath, "Biofuels Production through Biomass Pyrolysis," *Energies* , vol. 5, no. 1, pp. 4952-5001, 2012.

[21] A. Mishra, "Renewable Energy Production from Lantana Camara Biomass," *Global Journal of Human-Social Science: Interdisciplinary*, vol. 18, no. 3, 2018.

[22] T.Iskandar and N. Siswanti, "Pemanfaatan Limbah Pertanian Sebagai Energi Alternatif Melalui Konversi Thermal," *Buana Sains* , vol. 12, no. 1, pp. 117-122, 2012.

[23] M. Rasul and M. Jahirul, "Recent Developments in Biomass Pyrolysis for Bio-Fuel Production: Its Potential for Commercial Applications," *Recent Researches in Environmental and Geological Sciences*, pp. 256-265, 2010.

[24] J. T. Oladeji, E. Itabiyi and P. O. Okekunle, "A Comprehensive Review of Biomass Pyrolysis as a Process of Renewable Energy Generation," *Journal of Natural Sciences Research* , vol. 5, no. 5, pp. 99-105, 2015.

[25] H. Sharma, "Innovative and Sustainable Application of PET Bottle a Green Construction Overview," *Indian Journal of Science and Technology* , vol. 10, no. 16, pp. 1-6, 2017.

[26] "Emission Factors," in *Organic Chemical Process Industry*, pp. 6.6.2-1-6.6,2-13.

[27] M. Sulyman, K. Formela and J. T. Haponiuk, "Utilization of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) in Engineering Materials: A Review," *International Journal of Environmental Science and Development*, vol. 7, no. 2, pp. 100-108, 2016.

[28] Rajaram.T.Karad and S. Havalammanavar, "Waste plastic to fuel-Petrol, Diesel, Kerosene," *International Journal of Engineering Development and Research*, vol. 5, no. 3, pp. 641-645, 2017.

[29] S. V. Papuga, P. M. Gvero and L. M. Vukic, "Temperature And Time Influence On The Waste Plastics Pyrolisis In The Fixed Bed Reactor," *Thermal Science*, vol. 20, no. 2, pp. 731-741, 2016.

[30] G.-G. Choi, S.-J. Oh and J.-S. Kim, "Intermediate pyrolysis of scrap tires in a fixed bed reactor and activation of the pyrolysis char using CO2: Characteristics of pyrolysis products and activated char," in *7th International Symposium on Feedstock Recycling of Polymeric Materials* , New Delhi, 2013.

[31] K. T. Kyaw and C. S. S. Hmwe, "Effect of Various Catalysts on Fuel Oil Pyrolisis of Mixed Plastic Wastes," *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, vol. 8, no. 5, pp. 794-802, 2015.

[32] D. Y. Hopa, A. Yilmaz and T. A. Bahtli, "Recovery of waste tyres by pyrolysis in a fixed bed reactor for liquid fuel production: effects of pyrolysis conditions on oil yield," *Engieering Structures and Materials*, vol. 3, no. 3, pp. 186-191 , 2017.

[33] A. Vijayakumar and J. Sebastian, "Pyrolysis process to produce fuel from different types of plastic – a review," *Materials Science and Engineering*, pp. 1-8, 2018.

[34] N. L. Rahim, S. Salehuddin, N. M. Ibrahim1, R. C. Amat and M. F. A. Jalil, "Use of

Plastic Waste (High Density Polyethylene) In Concrete Mixture as Aggregate Replacement," *Advance Material Research*, vol. 70, no. 1, pp. 265-269, 2013.

[35] Orkustofnun, "Pyrolysis of plastic waste for fuel production," Resource International EHF, Northern Europe, 2015.

[36] M. A. Goad and R. Ali, "Thermal and Catalytic Cracking of Plastic Wastes into Hydrocarbon Fuels," *International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS)*, vol. 1, no. 5, pp. 56-61, 2017.

[37] A. Olufemi and S. Olagboye, "Thermal conversion of waste plastics into fuel oil," *International Journal of Petrochemical Science & Engineering*, vol. 2, no. 8, p. 252–257, 2017.

[38] H. A. Gabbar, M. Aboughaly and C. B. Stoute, "DC Thermal Plasma Design and Utilization for the Low Density Polyethylene to Diesel Oil Pyrolysis Reaction," *Energies*, vol. 10, no. 6, pp. 1-15, 2017.

[39] M. S. Abbas-Abadi, A. G. McDonald, M. N. Haghighi and H. Yeganeh, "Estimation of pyrolysis product of LDPE degradation using different process parameters in a stirred reactor," *Polyolefins Journal* , vol. 2, no. 1, pp. 39-47, 2015.

[40] H. A. Maddah, "Polypropylene as a Promising Plastic: A Review," *American Journal of Polymer Science*, vol. 6, no. 1, pp. 1-11, 2016.

[41] C. Areeprasert, J. Asingsamanunt, S. Srisawat, J. Kaharn, B. Inseemeesak, P. Phasee, C. Khaobang, W. Siwakosit and C. Chiemchaisri, "Municipal Plastic Waste Composition Study at Transfer Station of Bangkok and Possibility of its Energy Recovery by Pyrolysis," in *3rd International Conference on Energy and Environment Research, ICEER*, Spain, 2016.

[42] M. B. Kutoli, K. S. Shegunsi, Imagoudanavar, M. A and A. S. Malaji, "Production and Purification of Liquid Fuel From Houehold Plastik Waste For CI Engine," Visvesvaraya Technological University, India, 2016.

[43] W. Hermann, P. Bosshard, E. H. Hunt and A. Simon, "An Assessment of Biomass Feedstock and Conversion Research Opportunities," GCEP , California, 2005.

[44] H. Cser and L. Boby, "Biomass Feedstocks Characteristics," USDA National Institute of Food and Agriculture, United State, 2015.

[45] J. Bates, "Biomass Feedstock Availability," Ricardo Energy & Environment reference:, United Kingdom, 2017.

[46] K. Parmar, "Biomass- An Overview on Composition Characteristics and Properties,"

IRA-International Journal of Applied Sciences, vol. 7, no. 1, pp. 42-51, 2017.

[47] L. Liua, X. P. Yea, A. R. W. and S. Sokhansanj, "Variability of biomass chemical composition and rapid analysis using FT-NIR techniques," *Carbohydrate Polymers,* vol. 81, no. 1, p. 820–829, 2010.

[48] A. Verma, R. Shankar and P. Mondal, *A Review on Pyrolysis of Biomass and the Impacts of Operating Conditions on Product Yield, Quality, and Upgradation,* India: Springer, 2018.

[49] S. B. A. H. H. V. Lee and S. K. Zain, "Conversion of Lignocellulosic Biomass to Nanocellulose: Structure and Chemical Process," *Scientific World Journal,* pp. 1-20, 2014.

[50] M. A. Wicaksono and Arijanto, "Pengolahan Sampah Plastik Jenis PET(Polyethylene Perepthalathe) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif," *Jurnal Teknik Mesin,* vol. 5, no. 1, pp. 9-15, 2017.

[51] C. Santaweesuk and A. Janyalertadun, "The Production of Fuel Oil by Conventional Slow Pyrolysis Using Plastic Waste from a Municipal Landfill," *International Journal of Environmental Science and Development,* vol. 8, no. 3, pp. 168-173, 2017.

[52] R. Rafli, M. Syamsiro and H. B. Fajri, "Penerapan Teknologi Pirolisis Untuk Konversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak di Kabupaten Bantul," *Jurnal Teknologi,* vol. 2, no. 1, pp. 1-5, 2017.

[53] S. D. A. Sharuddin, F. Abnisa, W. M. A. W. Daud and M. KAroua, "Pyrolysis of plastic waste for liquid fuel production as prospective energy resource," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering,* vol. 334, no. 1, pp. 1-8, 2018.

[54] I. M. Idriss, M. M. Ahmed and A. S. Grema, "Effect of Temperature on Products Compositions of Beech Wood Pyrolysis," *Faculty of Engineering Seminar Series,* vol. 8, no. 1, pp. 25-30, 2017.

[55] Z. Tamri, A. V. Yazdi, M. N. Haghighi, M. Seifali, Abbas-Abad and A. Heidarinasab, "Effect of temperature, heating rate and zeolite-based catalysts on the pyrolysis of high impact polystyrene (HIPS) waste to produce fuel-like products," *Polyolefins Journal,* vol. 6, no. 1, pp. 43-52, 2019.

[56] P. Kaushal and J. Abedi, "A simplified model for biomass pyrolysis in a fluidized bed reactor," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry,* vol. 16, no. 1, pp. 748-755, 2010.

[57] B. Fekhar, T. Bhaskar, N. Miskolczi and J. Kumar, "Co-pyrolysis of biomass and plastic wastes: investigation of apparent kinetic parameters and stability of pyrolysis oils," in

7th International Conference on Clean and Green Energy-ICCGE, 2018.

[58] O. Levenspiel, Chemical Reaction Engineering, Toronto: John Wiley & Sons , 1999.

[59] H. Fogler, Elements of Chemical Reaction Engineering, Edinburgh: Pearson, 2014.

[60] J. Kluska, M. Klein, P. Kazimierski and D. Kardas, "Pyrolysis of biomass and refuse-derived fuel performance in laboratory scale batch reactor," Szewalski Institute of Fluid-Flow Machinery, Poland, 2014.

[61] Herliati, S. B. Prasetyo and Y. Verinaldi, "Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Kerosen," Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya, Jakarta, 2019.

Jurnal Teknologi Industri Pertanian
25 (3):260-270 (2015)

SCORING KEPUTUSAN PENENTUAN PUSAT PENGEMBANG ENERGI TERBARUKAN BERDASARKAN *CLUSTER* WILAYAH MENGGUNAKAN METODE SAWP

DECISSION SCORING DETERMINING DEVELOPMENT OF REGIONAL BASED RENEWABLE ENERGY CENTER CLUSTER WITH SAWP METHOD

Mustakim*, Agus Buono, dan Irman Hermadi

Departemen Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor, 16002
E-mail: mustakim@apps.ipb.ac.id

Makalah: Diterima 24 November 2014; Diperbaiki 3 Maret 2015; Disetujui 15 Maret 2014

ABSTRACT

According to energy law, the government Indonesia is required to develop alternative energy. It is also mandated to consider equalization of energy development for each region in taking decision. Simple Addictive Weighting (SAW) method was able to provide the best solution in determining decision and can be applied to determine the renewable energy center. The result was than reinforced by Weighting Product to normalize the so that reaches the absolute value equals 1 that was yielded based on eigen Analytic Hierarchy process method. That alternative Bagan Sinembah was chose with value of 0.8090 which has 25% of five alternatives. Besides that, to find out the possibility of alternative that was not chosen as primary alternative, of decision making in group by using K –Means Clustering method was used. The comparison between the result of main criteria LSP and HPP had the best trend in which contiguity value was 2.45% in SAW. The results concluded that the main criterion of LSP and HPP was not dominant criteria influence the absolute value final decision either by using SAW or WP. The potential energy that can be palm production including waste of shell, fiber frond, and an empty bunch will be 135% of electrical energy of Riau area.

Keywords: *analytical hierarchy process, k-means clustering, reneweble energy, simple additive weighting, weighting product*

ABSTRAK

Berdasarkan undang-undang energi, pemerintah diwajibkan untuk mengembangkan energi alternatif berbahan baku kelapa sawit. Hal senada juga diamanatkan sebagai bentuk pemerataan pembangunan energi untuk setiap wilayah dalam bentuk pengambilan keputusan. Metode *Simple Additive Weighting* mampu memberikan solusi terbaik dalam menentukan keputusan sebagai penentu pusat pengembang energi terbarukan. Hasil keputusan diperkuat dengan metode *Weighting Product* yang dapat menormalkan bobot hingga mencapai nilai mutlak sama dengan 1 yang dihasilkan berdasarkan *eigen* metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), alternatif terpilih yaitu Bagan Sinembah sebesar 0,8090 dengan persentase 25% dari 5 alternatif. Selain itu untuk menelusuri kemungkinan alternatif yang tidak terpilih menjadi alternatif prioritas digunakan pengambilan keputusan secara berkelompok menggunakan metode *K-Means Clustering*. Perbandingan antara hasil keputusan dengan kriteria utama luas sektor perkebunan (LSP) dan hasil produksi perkebunan (HPP) memiliki *trend* terbaik dengan nilai kedekatan 2,45% pada *cluster* SAWP (*Simple Additive Weighting Product*) dibandingkan dengan *trend* data pada masing-masing *cluster*. Hasil akhir diperoleh bahwa kriteria utama LSP dan HPP bukan merupakan kriteria dominan yang dapat mempengaruhi hasil mutlak keputusan final baik menggunakan SAW maupun WP. Potensi energi yang dihasilkan dari produksi kelapa sawit keseluruhan dengan menghitung limbah cangkang, serat dan tandan buah kosong akan menghasilkan 135% energi listrik yang dapat mengaliri wilayah Riau.

Kata kunci: *analytical hierarchy process,* energi terbarukan, *k-means clustering, simple additive weighting, weighting product*

PENDAHULUAN

Perkembangan energi di Indonesia mengalami perubahan dari negara pengekspor menjadi negara pengimpor. Berbagai kebijakan pemerintah daerah maupun pusat yang ditetapkan untuk menyelamatkan energi terus dilakukan, namun hal itu dirasakan oleh berbagai pihak belum maksimal. Krisis energi yang dialami sebagian besar wilayah pelosok Nusantara memberikan dampak negatif bagi pertumbuhan sektor ekonomi. Setiap tahunnya krisis energi selalu melanda wilayah-wilayah penghasil energi utama seperti Provinsi Riau.

Blueprint pengelolaan energi nasional 2006-2025 menyatakan bahwa persoalan terbesar terkait krisis energi di Indonesia yaitu struktur Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) masih tergantung pada sektor migas dan subsidi

**Penulis untuk korespondensi*

Bahan Bakar Minyak (BBM), belum optimalnya industri energi, keterbatasan infrastruktur energi, belum tercapainya harga keekonomian energi serta belum efisiennya pemanfaatan energi (Elinur, 2012). Hal demikian yang menyebabkan produktivitas energi dan perekonomian di Indonesia semakin melemah, terutama terkait permasalahan ketergantungan terhadap BBM yang semakin lama energi fosil akan semakin berkurang (Pudyantoro, 2012).

Undang-undang energi No. 30/ 2007 pasal 20 ayat 4 menyatakan bahwa penyediaan dan pemanfaatan energi baru dan terbarukan wajib ditingkatkan oleh pemerintah pusat dan pemerintah daerah sesuai dengan kewenangannya. Salah satu energi terbarukan yang dimaksud adalah biomassa berbahan baku limbah kelapa sawit (Kusdiana, 2008). Bahan baku dan limbah kelapa sawit akan dilakukan konversi menggunakan teknologi energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik sebagai sumber bahan bakar utama PLTU (Mahajoeno, 2008). Demikian juga, energi listrik yang dihasilkan oleh konversi energi ini sangat bergantung dari limbah yang dihasilkan oleh pusat pengolahan minyak kelapa sawit (Kusuma, 2011).

Provinsi Riau merupakan provinsi dengan luas 8,91 juta ha sangat berpotensi untuk menghasilkan kelapa sawit terbesar di Indonesia karena memiliki lahan perkebunan seluas 2,26 juta ha dengan rata-rata produksi sebesar 6,93 juta ton per tahun yang tersebar di berbagai kabupaten (BPS Riau dalam Angka, 2013). Produktivitas kelapa sawit di Provinsi Riau setiap tahun mengalami peningkatan baik produksi maupun luas lahan perkebunan. Hal ini menjadi gambaran akan terwujudnya energi alternatif berbahan baku kelapa sawit untuk masa mendatang. Berdasarkan riset yang telah dilakukan oleh Partogi tahun 2013, dengan jumlah produksi kelapa sawit di Riau mampu menghasilkan energi lebih dari 135% dapat mengaliri wilayah Riau.

Keterkaitan antara energi alternatif masa depan dengan produksi kelapa sawit tidak terlepas dengan kondisi data masa lalu yang bersifat *time series*. Kondisi ini mampu memberikan gambaran keefektifan sebuah daerah dalam mengembangkan energi biomassa, dengan sumber yang memadai dan tidak kurang pasokan bahan bakunya (Kusdiana, 2008). Abdulah dan Sulaiman merincikan komposisi pembagian limbah kelapa sawit yang mampu dikonversi menjadi energi terbarukan yang terdiri dari cangkang 6%, serabut 15% dan tandan buah kosong 23% (Abdulah dan Sulaiman, 2013 dalam Nur, 2014). Jika dikaitkan dengan jumlah produksi kelapa sawit di Riau akan mampu menghasilkan 91% energi baru terbarukan yang masing-masing tersebar di wilayah Riau. Oleh sebab itu, pemerintah diharapkan mampu mengkoordinir dan menentukan prioritas kebijakan terkait pemerataan energi pada suatu wilayah dengan wujud perankingan penentuan pusat pengembang energi terbarukan dalam bentuk pengambilan keputusan. Permasalahan terbesar dalam penentuan tersebut hanya dilihat berdasarkan aspek luas perkebunan dan jumlah produksi per tahun, beberapa aspek lain yang memiliki peranan penting sering diabaikan.

Analytical Hierarchy Process (AHP) merupakan metode yang merefleksikan cara orang berfikir (Saaty, 2008) adalah salah satu dari serangkaian banyak metode dalam grup *Multi-Atribute Decision Making* (MADM) yang merupakan metode pengambilan keputusan untuk menetapkan alternatif terbaik dari sejumlah alternatif berdasarkan kriteria tertentu (Jarial, 2012), serta model peringkat sederhana yang mampu memberikan solusi terbaik dari serangkaian beberapa alternatif yang diberikan (Kumar, 2013). Selain AHP metode yang termasuk kedalam kelompok MADM adalah *Simple Additive Weighting* (SAW) yang mengusung konsep mencari penjumlahan terbobot dari peringkat kinerja pada setiap alternatif pada semua atribut (Memariani, 2009). Demikian juga dengan metode *Wieghting Product* (WP) yang mampu memberikan nilai normalisasi untuk mencapai tingkat maksimum penjumlahan pembobotan (Kusumadewi, 2011).

Beberapa metode MADM merupakan metode dengan model peringkat sederhana yang mampu memberikan solusi terbaik dari serangkaian beberapa alternatif yang diberikan (Kumar, 2013). Disisi lain SAW merupakan metode pendukung keputusan dengan sistem pembobotan yang mampu memberikan sebuah keputusan terbaik, hal itu dinyatakan oleh Afshari *et al.*, 2010. Metode WP merupakan metode yang memaksimalkan penjumlahan terbobot serta mempertimbangkan nilai negatif dan positif untuk setiap alternatif kepentingan (Kumar, 2013).

Pada penelitian-penelitian sebelumnya kasus pembobotan MADM biasanya pengambil keputusan memberikan bobot preferensi berupa nilai langsung berdasarkan tingkat kepentingan, sedangkan pada kasus ini pembobotan akan dilakukan dengan menggunakan nilai *eigen* perbandingan berpasangan metode AHP. Cara ini dapat meminimalisir hasil keputusan yang selalu berubah-ubah (Afshari *et al.*, 2010). Selain itu pengambilan keputusan akan dilakukan berdasarkan kelompok-kelompok tertentu menggunakan *K-Means Clustering* untuk mencari alternatif terpilih secara maksimal, kemudian menggabungkan hasil *ranking* terbaik untuk dilakukan pengambilan keputusan final. Dengan *Euclidean distance space* dan nilai *centroid*, *K-Means Clustering* dapat mengelompokkan alternatif berdasarkan kriteria yang digunakan (Mustakim, 2012). Dari beberapa pemaparan diatas,tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan serangkaian hasil keputusan berdasarkan *cluster* alternatif menggunakan metode SAW dan WP berdasarkan pembobotan AHP, sehingga *goal* utama dari

penelitian ini mampu meberikan rekomendasi kepada pemerintah dalam menentukan kebijakan terkait wilayah pengembangan energi terbarukan yang didasarkan atas 6 kriteria yaitu jumlah desa (JD), jumlah penduduk (JP), kepadatan penduduk (KP), luas sektor perkebunan (LSP), hasil produksi perkebunan (HPP) dan jumlah pabrik kelapa sawit (PKS).

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di laboratorium *computational intelligence* (CI) IPB dengan menggunakan data sekunder dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Riau dan Dinas Perkebunan (Disbun) Provinsi Riau. Data yang digunakan merupakan serangkaian data *time series* dari tahun 2005 sampai dengan tahun 2012 dengan mengacu kepada Riau dalam Angka 2005 – 2012 dan Kabupaten dalam Angka 2005 – 2012, serta beberapa data lainnya seperti data kelistrikan dari Pembangkit Listrik Negara (PLN) wilayah Riau dan data penunjang lainnya dari lembaga penelitian *Energy Research Center* (EnReach) UIN Sultan Syarif Kasim Riau. Data sekunder yang digunakan terdiri dari 6 kriteria yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Selain data sekunder, pada penelitian ini terdapat data hasil perbandingan berpasangan yang dinyatakan dalam bentuk nilai *eigen*. Data perbandingan berpasangan ini diperoleh dari hasil perkalian matriks pada metode AHP yang dilakukan oleh beberapa pakar energi terbarukan. Nilai *eigen* nantinya digunakan untuk menetukan bobot preferensi pada metode SAW dan WP. Keseluruhan data-data diproses dengan menggunakan aplikasi Matlab R2010b serta *Microsoft Office Excell* 2010 sebagai tools analisis tambahan.

Untuk memulai penelitian beberapa hal yang harus dipersiapkan adalah perencanaan dan penetapan tujuan dari penetian. Sesuai dengan *goal* utama dalam kajian ini adalah mendapatkan hasil serangkaian keputusan dalam bentuk *scoring* atau perankingan untuk menentukan wilayah pengembang energi terbarukan di Riau. Empat tahapan utama sebagai analisis dari kajian ini adalah pembobotan AHP, pengelompokan menggunakan *K-Means Clustering*, perankingan hasil c*luster* dengan SAW dan penentuan keputusan final dengan metode WP. Secara umum metode penelitian dalam kajian ini disajikan pada Gambar 1.

Analisis Pembobotan dengan Metode AHP

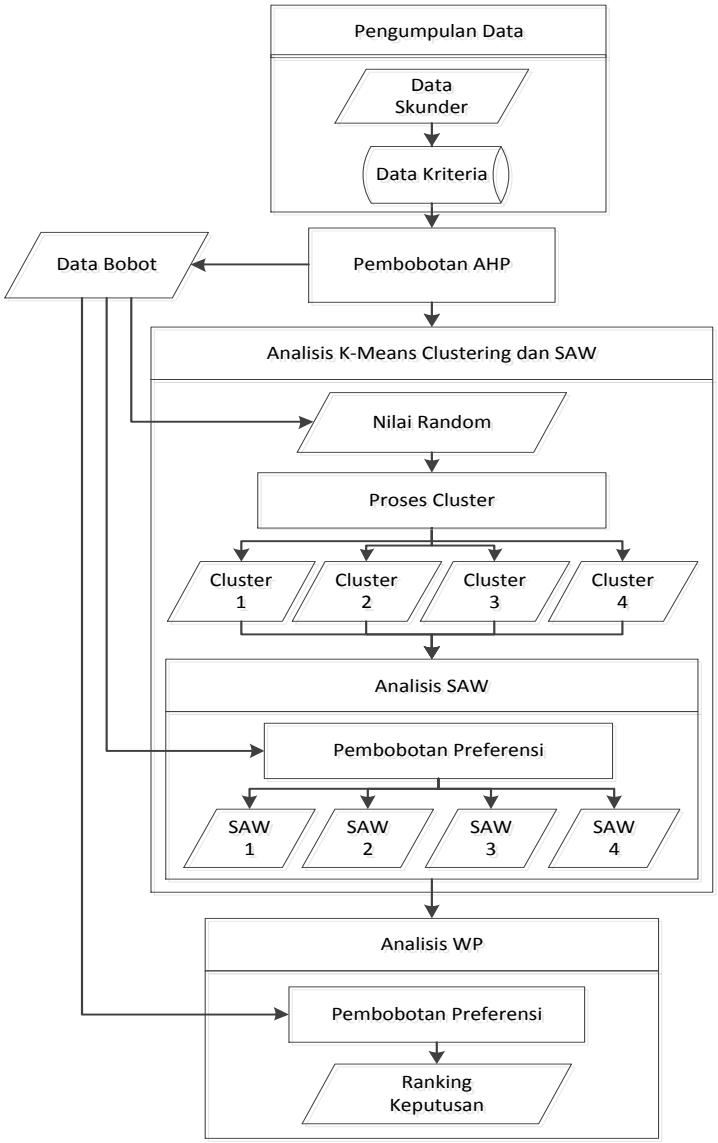
AHP dikembangkan oleh Thomas Saaty pada tahun 1970-an. AHP kemudian menjadi alat yang sering digunakan dalam pengambilan keputusan karena AHP berdasarkan pada teori yang merefleksikan cara orang berpikir (Marimin, 2005). Dalam perkembangannya, AHP dapat digunakan sebagai model alternatif dalam menyelesaikan berbagai macam masalah pengambilan keputusan (Saaty, 2008). Pada dasarnya inti dari AHP adalah perbandingan berpasangan hingga diakhiri dengan memperoleh nilai *eigen* dan *consistency ratio* (Kusumadewi, 2006).

Analisis *K-Means Clustering*

Metode ini mempartisi data kedalam kelompok sehingga data yang memiliki karakteristik yang sama dikelompokkan ke dalam satu *cluster* yang sama dan data yang mempunyai karakteristik yang berbeda dikelompokkan ke dalam kelompok yang lain (Agusta, 2007). Adapun tujuan dari data *clustering* ini adalah untuk meminimalkan *objective function* yang diset dalam proses *clustering*, yang pada umumnya berusaha meminimalkan variasi di dalam suatu *cluster* dan memaksimalkan variasi antar *cluster* (Salman *et al.*, 2011).

Tabel 1. Data kriteria 10 dari 142 alternatif

No	Kecamatan	Jumlah Desa (JD)	Jumlah Penduduk (JP)	Kepadatan Penduduk (KP)	Luas Sektor Perkebunan (LSP)	Hasil Produksi Perkebunan (HPP)	Jumlah Pabrik Kelapa Sawit (PKS)
…	…	…	…	…	…	…	…
50	Tambang	16	44,701	120.18	4,249	20,063	1
51	Tapung	25	76,801	56.22	32,574	288,697	4
52	Tapung Hilir	16	48,597	47.95	31,299	268,219	5
53	Tapung Hulu	14	69,785	59.69	33,183	177,095	2
54	XIII Koto Kampar	18	32,396	26.69	8,993	69,781	1
55	Kampar Kiri Tengah	11	23,363	70.67	3,856	44,059	1
56	Rengat	16	44,897	37.10	1,191	1,747	0
57	Rengat Barat	18	37,444	40.66	1,905	6,070	0
58	Pasir Penyu	13	27,189	72.99	2,946	14,078	1
59	Peranap	12	26,424	15.53	1,659	12,914	0
…	…	…	…	…	…	…	…



Gambar 1. Kerangka Pemikiran

Distance Space* untuk Menghitung Jarak Antara Data dan *Centroid

Jarak antara dua titik x1 dan x2 pada *manhattan/ city block distance space* dihitung dengan menggunakan persamaan 1 (Celebi, 2012).

$$D_{L_1}(x_2, x_1) = \|x_2 - x_1\|_1 = \sum_{j=1}^{p} \left|x_{2_j} - x_{1_j}\right| \ldots\ldots\ldots (1)$$

Untuk *euclidean distance space*, jarak antara dua titik dihitung menggunakan persamaan 2. (Celebi, 2012)

$$D_{L_2}(x_2, x_1) = \|x_2 - x_1\|_2 = \sqrt{\sum_{j=1}^{p} \left(x_{2_j} - x_{1_j}\right)^2} \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Analisis SAW

Metode SAW atau sering disebut dengan istilah metode penjumlahan terbobot. Konsep dasar SAW adalah mencari penjumlahan terbobot dari peringkat kinerja pada setiap alternatif pada semua atribut (Memariani, 2009). Langkah-langkah penyelesaian dengan metode SAW dimulai dari menentukan kriteria hingga diakhiri dengan penjumlahan matriks ternormalisasi (Kusumadewi, 2011). Normalisasi matriks berdasarkan persamaan yang disesuaikan dengan jenis atribut (atribut keuntungan atau atribut biaya) dengan persamaan matriks ternormalisasi r.

$$r = \begin{cases} \dfrac{x_{ij}}{\max\limits_i x_{ij}} & \text{Jika j adalah attribute keuntungan (benefit)} \\ \dfrac{\min\limits_i x_{ij}}{x_{ij}} & \text{Jika j adalah attribute biaya (cost)} \end{cases} \quad \ldots.(3)$$

Penjumlahan dari perkalian matriks ternormalisasi R dengan *vector* bobot sehingga diperoleh nilai terbesar yang dipilih sebagai alternatif terbaik (*Ai*) sebagai solusi.

$v_i = \sum_{j=1}^{n} w_j r_{ij}$ ……(4)

Analisis WP

Metode WP menggunakan perkalian untuk menghubungkan peringkat atribut, dimana peringkat setiap atribut harus dipangkatkan terlebih dahulu dengan bobot atribut yang bersangkutan (Kusumadewi, 2006).

$s_i = \prod_{j=1}^{n} x_{ij}^{wj}$; dengan i=1,2,3,....,m……(5)

$v_i = \frac{\prod_{j=1}^{n} x_{ij}^{wj}}{\prod_{j=1}^{n} (x_j)^{wj}}$; dengan i=1,2,3,....,m……(6)

Penelitian Terkait

Mariana (2005) melakukan pengambilan keputusan terkait investasi industri biodisel kelapa sawit dengan model sistem dinamis menggunakan lima submodel kriteria yaitu sumber daya, teknis produksi, analisis finansial, pasar dan lingkungan. Hasil dari riset ini menyimpulkan bahwa industri biodisel kelapa sawit layak untuk dikembangkan jika didukung oleh kebijakan pemerintah terkait energi terbarukan serta lingkungan wilayah yang memadai.

Badri (2008) menyatakan bahwa hasil perhitungan dengan teknik AHP yang ditunjukkan dengan hirarki pengembangan klaster agroindustri kelapa sawit untuk setiap masing-masing kriteria tertinggi yakni; pelaku: masyarakat sekitar (36%), faktor pendukung: kondisi infrastruktur lahan (40%) tujuan pengembangan program: peningkatan nilai tambah produk daerah (41%), dan strategi pengembangan program: peningkatan institusi pendukung (42). Dari beberapa riset tersebut dapat diambil inti permasalahan yang diangkat yaitu terkait kebijakan pemerintah untuk pengembangan energi terbarukan dan faktor-faktor untuk penentuan pengambilan keputusan tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Normalisasi

Normalisasi data merupakan bagian dari data transformasi, yaitu teknik mengubah data menjadi nilai yang lebih mudah dipahami (Patel dan Rupa, 2011). Tujuan normalisasi data adalah mendapatkan bobot yang sama dari semua atribut data dan tidak bervariasi atau hasil dari pembobotan tersebut tidak terdapat atribut yang lebih dominan atau dianggap lebih utama dari pada yang lain (Jain, 2011). Normalisasi data kriteria diperoleh dengan persamaan 7, sedangkan hasil Normalisasi data kriteria 10 dari 142 alternatif disajikan pada Tabel 2.

$V' = \frac{v - min}{max - min}$ …… (7)

Data alternatif terdiri dari 142 Kecamatan diproses sesuai dengan kebutuhan dan langkah-langkah beberapa metode untuk mendapatkan hasil keputusan sesuai dengan skenario penelitian.

Analisis Pembobotan AHP

Terdapat 10 penilai dalam menentukan pusat energi terbarukan yang terdiri dari pakar, peneliti dan *supporting decision commite*. Dengan mengambil nilai rata-rata *eigen* sebagai bobot preferensi metode SAW dan WP. Nilai *Eigen* kriteria AHP disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Normalisasi data kriteria 10 dari 142 alternatif

No	Kecamatan	JD	JP	KP	LSP	HPP	PKS
…	…	…	…	…	…	…	…
50	Tambang	0,5185	0,1672	0,0169	0,0532	0,0362	0,2222
51	Tapung	0,8730	0,3065	0,0076	0,4124	0,5219	0,9722
52	Tapung Hilir	0,5079	0,1841	0,0064	0,3962	0,4849	1,0000
53	Tapung Hulu	0,4127	0,2761	0,0081	0,4201	0,3201	0,4444
54	XIII Koto Kampar	0,5979	0,1138	0,0033	0,1133	0,1261	0,2500
55	Kampar Kiri Tengah	0,2963	0,0747	0,0097	0,0482	0,0796	0,2222
56	Rengat	0,5079	0,1681	0,0048	0,0144	0,0031	0,0000
57	Rengat Barat	0,5820	0,1358	0,0053	0,0235	0,0109	0,0000
58	Pasir Penyu	0,3651	0,0913	0,0100	0,0367	0,0254	0,2222
59	Peranap	0,3280	0,0879	0,0017	0,0203	0,0233	0,0000
…	…	…	…	…	…	…	…

Tabel 3. Nilai *Eigen* kriteria AHP

Kriteria	*Eigen*									
	P-1	**P-2**	**P-3**	**P-4**	**P-5**	**P-6**	**P-7**	**P-8**	**P-9**	**P-10**
JD	0,4176	0,0350	0,1093	0,2074	0,2074	0,2077	0,2246	0,1859	0,0590	0,2072
JP	0,3286	0,1733	0,1093	0,0919	0,0919	0,0900	0,0942	0,0924	0,2685	0,3030
KP	0,1259	0,3615	0,0222	0,0221	0,0221	0,0222	0,0214	0,3205	0,1630	0,0756
LSP	0,0702	0,0445	0,3685	0,3709	0,2856	0,3290	0,3405	0,1796	0,2668	0,1116
HPP	0,0349	0,0365	0,3685	0,2856	0,3709	0,3290	0,2979	0,1865	0,0884	0,2022
PKS	0,0227	0,3492	0,0222	0,0221	0,0221	0,0222	0,0214	0,0350	0,1543	0,1004
Jumlah	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Dari data pada Tabel 3 diperoleh rata-rata *eigen* sebagai berikut: 0,1861; 0,1643; 0,1156; 0,2367; 0,2200 dan 0,0772 untuk masing-masing kriteria. Nilai *eigen* diperoleh dari hasil perbandingan berpasangan antara kriteria yang satu dengan yang lain berdasarkan Tabel penilaian perbandingan yang dikemukakan oleh Saaty. Rata-rata dari 10 *eigen* tersebut nantinya digunakan sebagai nilai bobot untuk metode SAW dan WP pada proses perankingan. Semakin besar nilai *eigen* maka semakin besar pula tingkat kepentingan kriteria tersebut dalam pengambilan keputusan, dalam hal ini adalah kriteria LSP dan HPP. Sedangkan rasio konsistensi dari kesepuluh *eigen* tersebut secara berturut-turut adalah 9,3%; 2,0%; 6,8%; 9,6%; 9,6%; 8,9%; 8,8%; 9,3%; 9,7%; 9,6%.

Analisis *K-Means Clustering*

Analisis pengelompokan dari 142 alternatif didasarkan atas 6 kriteria untuk mencari nilai kedekatan antar data berdasarkan nilai minimum. Pengambil keputusan menetapkan alternatif dikelompokkan berdasarkan 4 *cluster*. Tujuan dari pengelompokan ini adalah untuk mendapatkan pola data pada hasil keputusan akhir, sehingga dapat memaksimalkan hasil keputusan SAW. Empat *cluster* tersebut diberikan nilai *centroid* awal menggunakan nilai random 0 dan 1, sebagai berikut:

0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	x1
0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	x2
0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	x3
1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	x4

Berdasarkan persamaan 1 dan 2 diperoh *centroid* terdekat antar *cluster* dan iterasi sebelumnya dan sesudahnya memiliki nilai yang sama yaitu terdapat pada iterasi ke-18, iterasi ke-19 dan seterusnya dengan nilai *cluster* disajikan pada Tabel 4.

Dari hasil analisis terdapat 30 kecamatan berada pada *cluster* pertama, 32, 30 dan 50 Kecamatan berturut-turut pada *cluster* 2, 3 dan 4. Dengan demikian proses pengelompokan wilayah berdasarkan 6 kriteria dapat dilakukan analisis selanjutnya yaitu penentuan *ranking* keputusan disetiap kelompok.

Analisis SAW

Analisis ini melakukan *scoring* atau *ranking* setiap *cluster* untuk menghasilkan alternatif terbaik diatas rata-rata. Proses SAW menggunakan dataa kriteria yang telah dinormalisasi sesuai dengan kelompoknya berdasarkan persamaan 7 untuk setiap kelompok dari hasil *K-Means clustering*. *Cluster* 1 dengan data normalisasi disajikan pada Tabel 5.

Data pada Tabel 5 kemudian dilakukan penentuan alternatif kepentingan yang terdiri dari atribut biaya dan keuntungan berdasarkan persamaan 3, alternatif kepentingan disajikan pada Tabel 6.

Dari hasil penentuan tersebut diperoleh matriks ternormalisasi kemudian dikalikan dengan bobot preferensi atau nilai *eigen* AHP sesuai dengan persamaan 4. Perkalian antara matriks ternormalisasi dengan bobot preferensi inilah hasil akhir dari metode SAW untuk selanjutnya dilakukan *ranking* berdasarkan nilai tertinggi hingga terendah, hasil keputusan pada *cluster* 1 dapat dilihat pada Tabel 7.

Nilai rata-rata dari 30 data tersebut digunakan sebagai nilai batasan alternatif yang diambil untuk setiap kelompoknya. Dari *cluster* 1 diperoleh dari nilai rata-rata 0,5035, artinya kecamatan yang berada diatas nilai rata-rata tersebut dinyatakan sebagai alternatif terpilih untuk dilakukan analisis penentuan keputusan lanjutan menggunakan metode WP, demikian seterusnya untuk ke 3 *cluster* yang lain. Hasil perhitungan metode SAW terpilih diatas rata-rata untuk cluster 1 disajikan pada Tabel 8.

Hasil *scoring* sementara yang dihasilkan dari metode SAW terdapat nilai rata-rata setiap kelompok adalah 0,5035 dengan 11 kecamatan pada *cluster* 1, 0,5050 dengan 13 kecamatan pada *cluster* 2, 0,4716 dengan 10 kecamatan pada *cluster* 3dan 0,4233 dengan 16 kecamatan pada *cluster* 4. Dengan demikian terdapat 49 alternatif kecamatan yang dilakukan seleksi berdasarkan metode WP.

Tabel 4. *Cluster* iterasi ke-18, ke-19 dan seterusnya pada data 10 dari 142 alternatif

No	*Cluster* 1	*Cluster* 2	*Cluster* 3	*Cluster* 4	Minimum	C
…	…	…	…	…	…	…
50	1,3800	1,3766	1,4379	1,1911	1,1911	C1
51	1,2562	1,2982	1,4302	0,9853	0,9853	C4
52	1,3227	1,2557	1,3889	1,1872	1,1872	C4
53	1,0318	1,1781	1,2879	0,9432	0,9432	C3
54	1,3003	1,3516	1,4555	1,1282	1,1282	C2
55	1,4303	1,4165	1,4541	1,3376	1,3376	C1
56	1,4130	1,4963	1,5220	1,2532	1,2532	C4
57	1,40353	1,4926	1,5508	1,2372	1,2372	C3
58	1,4475	1,4089	1,4707	1,3185	1,3185	C3
59	1,4536	1,5165	1,5399	1,3687	1,3687	C3
…	…	…	…	…	…	…

Tabel 5. *Cluster* 1 dengan data normalisasi

No	Kecamatan	JD	JP	KP	LSP	HPP	PKS
1	Gaung	0,4459	0,3737	0,0655	0,0864	0,0799	0,3478
2	Kemuning	0,3919	0,1549	0,0842	0,6445	0,3099	0,3478
3	Mandah	0,5000	0,4085	0,0811	0,0022	0,0000	0,0000
4	Tanah Merah	0,3243	0,2889	0,1030	0,0000	0,0003	0,0000
5	Bengkalis	0,8649	0,7101	0,3678	0,0816	0,0505	0,2174
6	Pinggir	0,4865	0,7521	0,0602	1,0000	0,2849	0,6522
7	Kampar Kiri Hulu	1,0000	0,0588	0,0000	0,0397	0,0051	0,3478
8	Tambang	0,6622	0,4080	0,3064	0,0709	0,0346	0,3478
…	…	…	…	…	…	…	…
30	Singingi Hilir	0,3986	0,2584	0,0302	0,3059	0,4669	0,3478

Tabel 6. Alternatif kepentingan

Nilai Kepentingan		Keuntungan		Biaya	
Bawah	Atas	Tingkat	Rating	Tingkat	Rating
0,0000	0,2500	Kurang Penting	1	Sangat Penting	1
0,2600	0,5000	Cukup Penting	2	Penting	2
0,5100	0,7500	Penting	3	Cukup Penting	3
0,7600	1,0000	Sangat Penting	4	Kurang Penting	4

Tabel 7. Hasil *ranking* keputusan *cluster* 1

No	Kecamatan	JD	JP	KP	LSP	HPP	PKS	Total
1	Gaung	0,0931	0,0822	0,1156	0,0592	0,0550	0,0386	0,4436
2	Kemuning	0,0931	0,0411	0,1156	0,1776	0,1100	0,0386	0,5759
3	Mandah	0,0931	0,0822	0,1156	0,0592	0,0550	0,0193	0,4243
4	Tanah Merah	0,0931	0,0822	0,1156	0,0592	0,0550	0,0193	0,4243
5	Bengkalis	0,1861	0,1232	0,0867	0,0592	0,0550	0,0193	0,5296
6	Pinggir	0,0931	0,1643	0,1156	0,2367	0,1100	0,0579	0,7776
7	Kampar Kiri Hulu	0,1861	0,0411	0,1156	0,0592	0,0550	0,0386	0,4956
8	Tambang	0,1396	0,0822	0,0867	0,0592	0,0550	0,0386	0,4612
9	Kampar Kiri Tengah	0,0931	0,0411	0,1156	0,0592	0,0550	0,0386	0,4026
10	Seberida	0,0931	0,0822	0,1156	0,0592	0,0550	0,0579	0,4629
…	…	…	…	…	…	…	…	…
30	Singingi Hilir	0,0931	0,0822	0,1156	0,1184	0,1100	0,0386	0,5578

Tabel 8. Hasil perhitungan metode SAW diatas nilai rata-rata untuk *cluster* 1

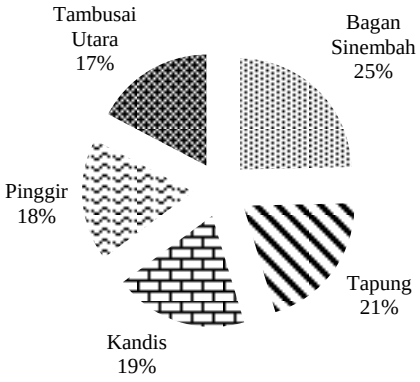
Alternatif Terpilih	Hasil Perhitungan Metode SAW
Kandis	0,8466
Tambusai Utara	0,8109
Pinggir	0,7776
Pangkalan Kuras	0,7613
Dayun	0,6268
Kerinci Kanan	0,6171
Tualang	0,6083
Minas	0,5995
Kemuning	0,5759
Singingi Hilir	0,5578
Bengkalis	0,5296

Analisis WP

Dalam konteks perbandingan berpasangan terdapat nilai 1 yang dinyatakan sebagai kedua alternatif memiliki tingkat kepentingan yang sama, sehingga nilai tersebut tidak akan mempengaruhi nilai yang lain. Sesuai dengan tujuan metode WP, pada kasus ini nilai bobot yang didasarkan atas nilai *eigen* AHP yaitu 0,1861; 0,1643; 0,1156; 0,2367; 0,2200 dan 0,0772 telah memiliki nilai penjumlahan sama dengan 1, artinya dari segi pembobotan telah sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. Alternatif kecamatan terpilih berdasarkan metode SAW setelah dinormalisasi dapat dilihat pada Tabel 9.

Data normalisasi dipangkatkan dengan bobot preferensi yang dihitung menggunakan metode AHP. Tujuan dari pemangkatan adalah menormalkan bobot preferensi sehingga mendapatkan nilai 1 sesuai dengan persamaan 5 dan 6. Pemangkatan data normalisasi dengan data bobot preferensi dilihat dari dua aspek dalam konsep metode WP, dimana pemangkat (bobot) bernilai positif untuk atribut keuntungan dan pemangkat (bobot) bernilai negatif jika atribut biaya. Dengan demikian kriteria JD, JP, LSP, HPP dan PKS bernilai positif yaitu 0,1861; 0,1643; 0,2367; 0,2200 dan 0,0772 sedangkan kriteria KP memiliki nilai negatif yaitu -0,1156 untuk nilai pemangkatnya.

Hasil akhir yang diperoleh dari metode WP untuk *ranking* 1 – 5 adalah Bagan Sinembah, Tapung, Kandis, Pinggir dan Tambusai Utara masing-masing dengan nilai akhir 0,8090; 0,6801; 0,6404; 0,5861 dan 0,5691, sedangkan dalam bentuk persentase hasil akhir dari metode ini disajikan pada Gambar 2.



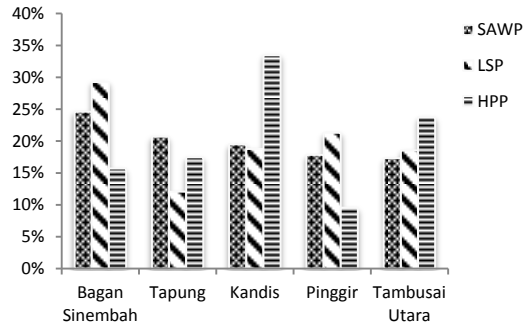
Gambar 2. Persentase hasil metode *cluster* SAWP *ranking* 1 - 5

Hasil yang diperoleh dari metode ini membuktikan bahwa perhitungan sesuai dengan yang diharapkan oleh pengambil kebijakan. Enam kriteria yang dijadikan acuan dalam penilaian penetapan wilayah pengembangan energi terbarukan terbukti menjadi prioritas sesuai dengan prediksi Dinas Perkebunan bahwa Kabupaten Rokan Hilir, Rokan Hulu, Kampar dan Bengkalis merupakan kabupaten yang berpeluang untuk dikembangkan energi alternatif berbahan baku kelapa sawit (Disbun, 2013).

Tabel 9. Hasil penggabungan keputusan metode SAW berdasarkan dari masing-masing *Cluster*

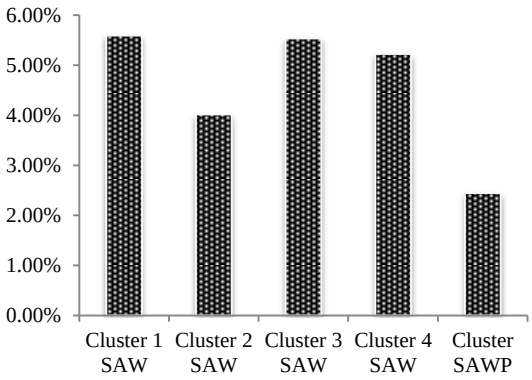
No	Kecamatan	JD	JP	KP	LSP	HPP	PKS
1	Kandis	0,2431	0,2170	0,1269	0,6350	1,0000	0,4444
2	Tambusai Utara	0,2652	0,2451	0,3097	0,6271	0,7072	0,6389
3	Pinggir	0,3536	0,3072	0,0922	0,7236	0,2821	0,4167
4	Pangkalan Kuras	0,5083	0,1581	0,1108	0,6559	0,3019	0,5833
5	Dayun	0,2265	0,0868	0,3007	0,2795	0,7623	0,2222
6	Kerinci Kanan	0,2541	0,0645	0,4740	0,3396	0,9964	0,3611
7	Tualang	0,1768	0,4090	1,0000	0,2866	0,7450	0,2222
…	…	…	…	…	…	…	…
49	Kuantan Tengah	0,6188	0,1857	0,5706	0,0708	0,0874	0,0000

Untuk perbandingan antara hasil keputusan *cluster* SAWP dengan kriteria utama LSP dan HPP dalam penentuan keputusan terkait pengembangan energi terbarukan dapat dilihat pada Gambar 3. Dari Gambar 3 tersebut dapat dilihat bahwa kriteria utama LSP dan HPP tidak mempengaruhi hasil keputusan secara mutlak dikarenakan faktor penentu lainnya juga memiliki andil yang sangat besar dalam keputusan ini seperti halnya penduduk, wilayah dan pabrik. Wilayah dengan penghasil produksi terendah kedua dapat menempati *ranking* pertama dalam keputusan ini begitu juga sebaliknya wilayah dengan luas area perkebunan tertinggi kedua hanya memperoleh peringkat keempat demikian juga untuk pola data yang lain. Dengan demikian jelas bahwa dalam upaya pengembangan energi terbarukan yang bersumber dari limbah kelapa sawit tidak hanya sekedar memperhitungkan nilai produksi dan luas areal perkebunan, akan tetapi juga harus mempertimbangkan kriteria yang lain.



Gambar 3. Grafik perbandingan hasil keputusan menggunakan metode *cluster* SAWP dengan kriteria utama LSP dan HPP

Jika dilihat pada Gambar 4, perbandingan *trend* antara hasil keputusan berdasarkan masing-masing *cluster* metode SAW dengan *cluster* SAWP, metode SAWP memiliki persentase perbedaan *trend* data yang lebih kecil dibandingkan dengan data hasil keputusan setiap kelompoknya. Hal ini menunjukkan bahwa pengambilan keputusan menggunakan *cluster* SAWP dengan membandingkan kriteria utama LSP dan HPP memiliki nilai kedekatan yang sangat rendah, sehingga dapat disimpulkan bahwa *trend* data pada *cluster* SAWP lebih baik dibandingkan dengan *trend* data pada masing-masing *cluster*. Selanjutnya *trend* pada *cluster* SAWP dapat menjawab bahwa ranking 5 besar pada setiap *cluster* mendekati *trend* terbaik dengan persentase rata-rata 5,59%, 4,02%; 5,54%; dan 5,23% terhadap 2,45% atau untuk setiap *cluster* hanya memiliki perbedaan persentase kurang dari 3,50%.



Gambar 4. *Trend* perbandingan 5 *ranking* pertama hasil keputusan setiap *cluster* dengan hasil keputusan *cluster* SAWP jika dibandingkan dengan kriteria utama LSP dan HPP

Berdasarkan pembagian komposisi limbah kelapa sawit yang dilakukan oleh Partogi serta berdasarkan penelitian Abdullah dan Sulaiman untuk konversi 5 alternatif terpilih memiliki potensi sumber baku energi terbarukan yang ditunjukkan pada Tabel 10.

Keseluruhan limbah dapat menghasilkan 10 juta MWh energi listrik, sedangkan pada tahun 2012 kapasitas energi yang dipakai oleh masyarakat untuk 4 cabang Pekanbaru, Dumai, Tanjung Pinang dan Rengat adalah 3,25 juta MWh. Analisis sederhana dari 3,25 juta MWh tersebut PLN mampu mengaliri 44% wilayah di Provinsi Riau. Jika kedua sumber energi tersebut digabungkan maka mampu mengaliri 135% wilayah Riau.

Tabel 10. Komposisi limbah kelapa sawit sebagai bahan baku energi terbarukan di 5 alternatif terpilih

Alternatif	**Produksi (Ton)**	**Cangkang (6%)**	**Serat (15%)**	**TBK (23%)**	**Jumlah (44%)**	**%**
Bagan Sinembah	259.552	15.573	38.933	59.697	114.203	19%
Tapung	288.825	17.329	43.324	66.430	127.083	21%
Kandis	98.629	5.918	14.794	22.685	43.397	7%
Pinggir	146.850	8.811	22.027	33.775	64.614	11%
Tambusai Utara	395.498	23.730	59.325	90.964	174.019	29%

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengambilan keputusan yang dilakukan berdasarkan kelompok-kelompok lebih efisien karena dapat menelusuri kemungkinan alternatif yang tidak terpilih menjadi alternatif prioritas untuk menyimpulkan hasil keputusan. Pada *clustering K-Means* berbeda nilai *random* mempengaruhi *cluster* yang dihasilkan. Pembobotan menggunakan nilai *eigen* metode AHP memiliki kemungkinan kecil perubahan disetiap hasil keputusan metode SAW dibandingkan dengan pemberian bobot preferensi secara langsung oleh pengambil keputusan. Selanjutnya metode WP mampu memberikan hasil maksimal untuk setiap keputusan dengan menormalkan total nila bobot sama dengan 1. Alternatif terpilih yaitu Bagan Sinembah sebesar 0,8090 dengan persentase 25% dari 5 alternatif. Demikian pula dengan kriteria utama LSP dan HPP bukan sebagai kriteria mutlak dan dominan yang dapat mempengaruhi hasil keputusan final baik menggunakan SAW maupun WP. Beberapa hasil membuktikan bahwa kriteria HPP terbesar menepati urutan ketiga hasil keputusan, demikian juga dengan LSP terkecil tetapi menempati *ranking* kedua dari hasil metode. Hubungan antara hasil keputusan dengan kriteria utama LSP dan HPP memiliki *trend* data terbaik dengan nilai kedekatan 2,45% pada *cluster* SAWP dibandingkan dengan *trend* data pada masing-masing *cluster*. Potensi energi yang dihasilkan dari produksi kelapa sawit keseluruhan dengan menghitung limbah cangkang, serat dan tandan buah kosong menghasilkan 135% energi listrik yang dapat mengaliri wilayah Riau.

Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan pada penelitian ini penulis memberikan saran kepada pembaca untuk penelitian lanjutan, diantaranya adalah untuk melakukan pengelompokan jika menggunakan *K-Means Clustering* perlu menggunakan data yang lebih besar, hal tersebut akan memberikan variasi dan akurasi yang lebih baik lagi. Kemudian pada penentuan alternatif kepentingan pada metode SAW perlu menerapkan *logika fuzzy* untuk menetapkan tingkat kepentingan kurang penting, cukup penting, penting dan sangat penting.

DAFTAR PUSTAKA

Afshari A, Mojahed M, dan Yusuff RM. 2010. Simple additive weighting approach to personnel selection problem. *Int J Innov Mgmt Technol*. 1(5): 511-515.

Agusta Y. 2007. K-Means penerapan, permasalahan dan metode terkait. *J Sistem dan Informatika*. 3(1):47-60.

Badri S. 2008. Proses keputusan dengan metode ahp (aplikasi model untuk mengembangkan klaster agroindustri kelapa sawit). *Seminar Nasional Teknologi Informasi 2008*. 3(2):12-22.

[BPS] Badan Pusat Statistik Provinsi Riau. 2013. Riau dalam Angka 2006-2013 dan Kabupaten dalam Angka 2006-2013.

Celebi dan Emre M. 2012. Deterministic initialization of the K-Means algorithm using hierarchical clustering. *Int J Pattern Recognition Artifcial Intel.* 26(7): 55-61.

[Disbun] Dinas Perkebunan Provinsi Riau. 2013. Perkembangan luas perkebunan dan produksi kelapa sawit Provinsi Riau.

Elinur. 2011. Analisis konsumsi dan penyediaan energi dalam perekonomian Indonesia. [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Jain YK dan Bhandare SK. 2011. Min max normalization based data perturbation method for privacy protection. *Int J Comp Communication Technol*. 2(8): 45-50.

Jarial SK dan Garg RK. 2012. Ranking of vendors based on criteria by MCDM-matrix method-a case study for commercial vehicles in an industry. *Int J Latest Res Sci Technol*. 1(4):337-341.

Kusdiana D. 2008. Kondisi riil kebutuhan energi di Indonesia dan sumber-sumber energi alternatif terbarukan. *Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.*

Kumar DS, Radhika S, dan Suman KNS. 2013. MADM methods for finding the right personnel in academic institutions. *Int J u-and e- Service, Sci Technol*. 6(5): 133-144.

Kusumadewi S, Hartati S, Harjoko A, Wardoyo R. 2006. *Fuzzy Multi-Attribute Decision Making (Fuzzy MADM)*. Jogjakarta: Graha Ilmu.

Kusumadewi S dan Hartati S. 2011. Sensitivity analysis of multi-attribute decision making methods in clinical group decision support system. Intenational Conference Informatics Department, Indonesia Islamic University Yogyakarta, Indonesia.

Kusuma IP. 2011. Studi pemanfaatan biomassa limbah kelapa sawit sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap di Kalimantan Selatan (Studi Kasus Kabupaten Tanah Laut). Proceding Seminar Nasional Teknologi Industri.

Mahajoeno E. 2008. Pengembangan energi terbarukan dari limbah cair pabrik minyak kelapa sawit. [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Mariana A. 2005. Rancang bangun sistem penunjang keputusan investasi pada industri biodisel kelapa sawit menggunakan model sistem dinamis. [Disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Marimin. 2005. *Teknik dan Aplikasi Pengambilan Keputusan Kriteria Majemuk.* Jakarta: Grasindo.

Memariani A, Amini A, dan Alinezhad A. 2009. Sensitivity analysis of simple additive weighting method (SAW): The results of change in the weight of one attribute on final ranking of alternatives. *J Indust Eng*. 4(1):13-18.

Mustakim. 2012. Pemetaan digital dan pengelompokan lahan hijau di wilayah Provinsi Riau berdasarkan knowledge discovery in databases (KDD) dengan Teknik K-Means mining. *Procedings Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri (SNTIKI) 4*. 78-88. ISSN : 2085-9902.

Nur SM. 2014. *Karakteristik Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Bioenergi*. Kalimantan: San Design.

Partogi D, Amin MN, dan Kasim ST. 2013. Analisis biaya produksi listrik per KWh menggunakan bahan bakar biogas limbah cair kelapa sawit (Aplikasi pada PLTBGS PKS Tandun). *Singuda Ensikom.* 3 (1): 17-22.

Patel VR dan Rupa GM. 2011. Impact of outlier removal and normalization approach in modified k-means clustering algorithm. *Int J Comp Sci Issues.* 8(5): 111-121.

Pudyantoro AR. 2012. Dampak kebijakan fiskal dan sektor hulu migas terhadap perekonomian *Provinsi Riau*. [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Saaty TL. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int J Services Sci.*1(1): 83-98.

Salman R dan Kecman V. 2011. Fast K-Means algorithm clustering. *Int J Comp Networks & Communications*. 3(4): 76-85.

CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro,
Vol.1, No.1, Februari 2017, hal. 26-43
ISSN 2549-3698 (printed)/ 2549-3701 (online)

Simulasi Sistem Hibrid Pembangkit Energi Surya, Angin, dan Generator Untuk Mengoptimalkan Pemanfaatan Daya Energi Terbarukan

Hendrayana
Magister Teknik Elektro
Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh
e-mail: hendra_unida@yahoo.com

Abstract

Electrical energy crisis related to the increasing population in an area will increase the electrical energy customers. Besides diminishing reserves of fossil energy that is required of alternative energy from renewable energy sources. The problem is in incorporating a potential source of renewable energy with a generator needs power generation hybrid, the hybrid system with a generator as backup energy utilization is less than optimal because when there was a deficit power generator takes over all of the power wasted in renewable energy generation. The purpose of study is to produce a hybrid system design between the generation of solar energy, wind energy and generator as support (support) when the power deficit in energy of renewable generator. Research Method in the design of hybrid system is a design block diagram consisting of solar panels, wind turbines, inverters, and generator. At this stage it has produced research outputs in the form of models of hybrid renewable energy generation systems and generators, then make a circuit simulation and measurement. The results of this research is a hybrid system that works adaptive-connected the generator to the system when the power deficit or increase the load to provide power support on renewable energy generation. This hybrid system with a capacity of 3.5 kW less power than the previous system with the composition generator 5.7 kW 2.2 kW of renewable energy consists of a 1 kW solar panels, wind turbines 1.3 kW and 1.3 kW generator voltage at 310V DC bus coupling, the voltage on the bus coupling AC 220V / 50 Hz, total load current at 16A. The percentage utilization of renewable energy rose from 11.73% to 24,94% and generator utilization fell from 24.50% to 16.74%.

Keywords: *Hybrid, renewable energy, generator*

Abstrak

Krisis energi listrik yang berkaitan dengan meningkatnya jumlah penduduk di suatu daerah yang secara tidak langsung akan meningkatkan jumlah pelanggan energi listrik. Selain mengurangi cadangan energi fosil juga diperlukan energi alternatif dari sumber energi terbarukan. Masalahnya adalah dalam menggabungkan potensi sumber energi terbarukan dengan generator diperlukan pembangkit listrik hybrid. Sistem hybrid dengan generator sebagai pemanfaatan energi cadangan dinilai kurang optimal karena ketika ada sebuah generator listrik defisit mengambil alih semua daya yang terbuang di pembangkit energy terbarukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan desain sistem hybrid antara generasi energi surya, energi angin dan generator sebagai dukungan (support) ketika terjadi defisit daya energi generator terbarukan. Metode penelitian dalam desain sistem hybrid adalah diagram blok desain yang terdiri dari panel surya, turbin angin, inverter, dan generator. Pada tahap ini telah menghasilkan output penelitian dalam bentuk model sistem pembangkit energi terbarukan hybrid dan generator, kemudian membuat simulasi sirkuit dan pengukuran. Hasil dari penelitian ini adalah sistem hibrida yang bekerja adaptive- terhubung generator untuk sistem ketika defisit daya atau meningkatnya beban untuk memberikan dukungan daya pada pembangkit energi terbarukan. Ini sistem hybrid dengan kapasitas daya 3,5 kW kurang dari sistem sebelumnya dengan komposisi pembangkit 5.7 kW 2.2 kW energi terbarukan terdiri dari 1 kW panel surya, turbin angin 1,3 kW dan 1.3 kW generator tegangan pada kopling bus 310V DC, yang tegangan pada kopling bus AC 220V / 50 Hz, beban total saat ini di 16A. Persentase

pemanfaatan energi terbarukan meningkat dari 11,73% menjadi 24,94% dan pemanfaatan pembangkit turun dari 24,50% menjadi 16,74%.

Kata kunci: *Hybrid, energy terbarukan, generator*

1. Pendahuluan

Krisis energi menjadi masalah serius mengingat cadangan energi fosil yang tersedia semakin menipis. Masalah tersebut menjadikan manusia saling berlomba untuk mencari sumber energi alternatif. Perkembangan teknologi tentang sumber energi alternatif seiring dengan berkembangnya perhatian masyarakat akan isu-isu lingkungan, maka energi terbarukan (renewable energy) telah banyak digunakan. Beberapa teknologi telah diterapkan dengan berbagai sumber energi terbarukan diantaranya energi surya, energi angin, pikro hidro, dan biomasa [1, 2].

Sistem pembangkit hibrid adalah suatu sistem pembangkit yang menggunakan lebih dari satu jenis energi primer untuk satu beban yang sama. Tujuan utama dikembangkan pembangkit hibrid adalah untuk menjamin suplai energi primer pada pembangkit sehingga produksi listrik juga terjamin.

Dari sisi lain dengan menggunakan sistem hibrid ini maka pembangkit juga akan lebih efisien dan ekonomis [3]. Sistem pembangkit hibrid yang terdiri dari beberapa jenis pembangkit pada umumnya menggunakan baterai sebagai penyimpanan energi dan pengendali yang mengoptimalkan pemakaian energi dari masing-masing sumber dan baterai disesuaikan dengan beban dan ketersediaan energi dari sumber yang digunakan [4].

Penelitian sebelumnya membahas mengenai sistem hibrid pada daerah terisolasi dimana terdapat beberapa jenis pembangkit sumber energi terbarukan dan pembangkit diesel. Beban-beban listrik disuplai oleh sumber energi terbarukan sedangkan generator digunakan sebagai backup atau cadangan apabila sistem pembangkit energi terbarukan tidak mampu lagi menyuplai daya ke beban ketika beban bertambah atau ketika pembangkit energi terbarukan mengalami gangguan atau dalam perbaikan [5].

Pada penelitian ini akan memodifikasi sistem hibrid dimana generator yang hanya digunakan sebagai backup menjadi sumber energi pendukung (support) untuk mengoptimalkan pembangkit energi terbarukan dalam penyaluran daya ke beban. Pada sistem sebelumnya seluruh beban akan dilayani oleh generator ketika terjadi defisit daya dari pembengkit energi terbarukan, sedangkan pada penelitian ini generator bertidak sebagai energi pendukung membantu pembangkit energi terbarukan dalam suplai daya ke beban. Sistem yang dimodifikasi ini akan menghemat bahan bakar generator ketika terjadi defisit daya dan juga dapat digunakan sebagai backup apabila seluruh sistem pembangkit energi terbaukan mengalami gangguan.. Sistem hibrid ini mempunyai manfaat untuk diterapkan di daerah-daerah terisolasi atau pulau-pulau kecil dimana tersedianya potensi energi terbarukan lainnya selain energi surya.

2. Landasan Teori

Sistem hibrid adalah sistem pembangkit yang terdiri dari beberapa jenis pembangkit listrik yang terintegrasi. Sistem hibrid bisa berupa gabungan antara pembangkit listrik dari sumber energi terbarukan (renewable energy) dan pembangkit listrik dari sumber energi konvensional atau tidak terbarukan (non renewable energy) atau gabungan antar pembangkit listrik terbarukan. Salah satu persyaratan utama untuk sistem hibrid adalah untuk memastikan

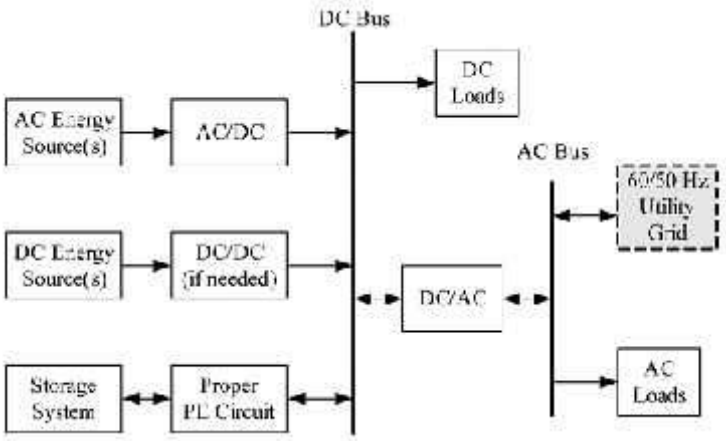
ISSN 2549-3698
e-ISSN 2549-3701

aliran daya yang berkelanjutan dengan menyimpan kelebihan energi dari sumber energi terbarukan.

2. 1 Model Sistem Hibrid

A. Kopel DC

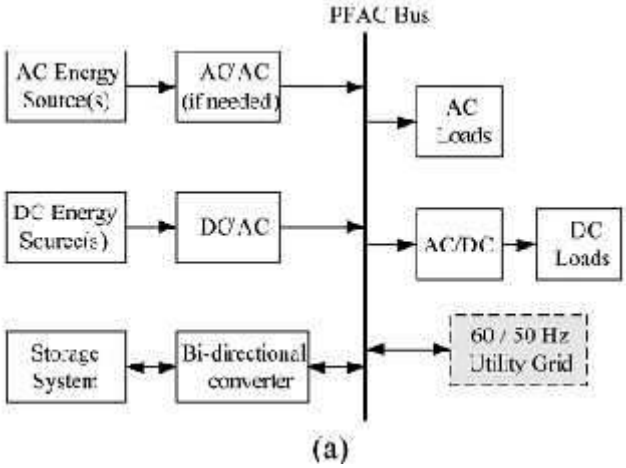
Konfigurasi dari kopel DC ditunjukkan pada Gambar 1, beberapa sumber energi terbarukan dihubungkan pada bus DC melalui perangkat elektronik. Sumber DC dapat dihubungkan langsung pada bus DC atau melalui DC konverter untuk mendapatkan tegangan DC yang sama.



Gambar 1. Skema sistem hibrid kopel DC [4].

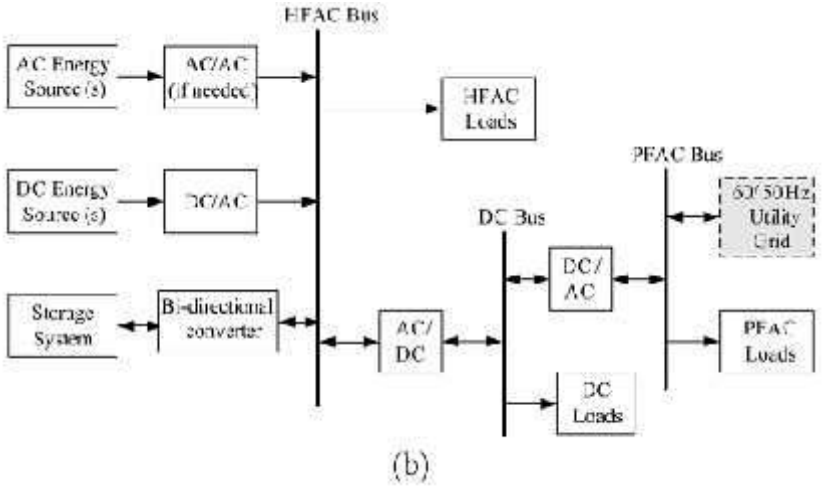
B. Kopel AC

Kopel AC dapat dibagi menjadi dua sub kategori: kopel PFAC (power frequency AC) dan kopel HFAC (high frequency AC). Kopel PFAC ditujukkan pada Gambar 2.2 (a), dimana beberapa sumber energi yang berbeda terintegrasi melalui perangkat elektronik pada bus AC.



Gambar 2 (a) Skema sistem hibrid AC kopel PFAC [4].

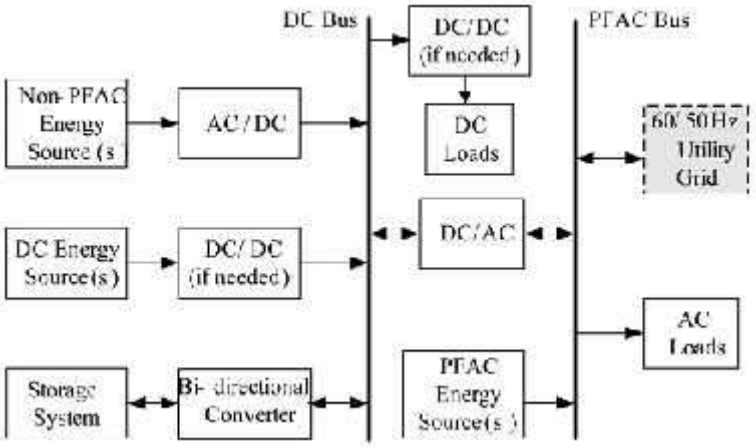
Kopel HFAC ditunjukkan pada Gambar 2 (b). Sumber energi yang berbeda digabungkan ke bus HFAC dimana beban HFAC juga terhubung. Konfigurasi sistem ini telah digunakan pada pesawat terbang, kapal, kapal selam dan dalam aplikasi stasiun ruang angkasa. Pada sistem PFAC dan HFAC sumber DC diperoleh dari perangkat AC/DC konverter. Pada sistem HFAC bisa juga terdapat bus PFAC dan jaringan listrik nasional melalui AC/AC atau DC/AC konverter yang dapat dihubungkan dengan beban AC [4].



Gambar 2 (b) sistem hibrid kopel AC HFAC [4].

C. Kopel Hibrid

Semua pembangkit DC atau AC yang berbeda dapat dihubungkan pada bus DC atau bus AC dari sistem hibrid. Gambar 3 menunjukkan sistem hibrid kopel dimana sumber energi terhubung pada bus DC dan bus AC. Pada konfigurasi ini beberapa sumber energi dapat di integrasikan secara langsung tanpa perantara perangkat lain. Hasilnya sistem ini mempunyai efisiensi energi yang lebih tinggi dan dapat mengurangi biaya. Pada kopel hibrid kontrol dan manajemen energi lebih rumit dari kopel DC atau kopel AC [4].



Gambar 3. Skema sistem hibrid hybrid-couple [4].

Skema dari kopel lainnya lebih efektif jika sumber utama dari sistem hibrid menghasilkan daya DC dan sebagian besar beban adalah DC sehingga sistem kopel DC adalah pilihan yang baik. Di sisi lain jika sumber utama menghasilkan daya AC (yang bisa dihubungkan dengan grid) maka lebih efektif menggunakan sistem kopel AC. Jika sumber daya utama sistem hibrid campuran dari AC dan DC maka sistem integrasi hibrid kopel dapat dipertimbangkan untuk digunakan. Pada Gambar 2.2 dan 2.3 daya dari perangkat elektronik penghubung dapat dibuat sebagai sebuah blok bangunan modular memberikan dan skalabilitas yang lebih fleksibilitas dalam hal menghubungkan pembangkit-pembangkit baik pada kopel AC maupun DC [4].

ISSN 2549-3698
e-ISSN 2549-3701

Berdasarkan penjelasan diatas penelitian ini akan menggunakan skema dari sistem kopel hibrid karena efisiensinya lebih tinggi, hal ini karena sistem ini memilki dua kopel dimana pada kopel DC langsung terhubung pada pembangkit DC yaitu panel surya dan turbin angin DC, sedangkan pada kopel AC terhubung pada generator. Sistem hibrid kopel ini lebih efektif untuk mengurangi rugi-rugi karena perangkat konversi tegangan dibandingkan dengan kopel lainnya. Misalnya pada kopel DC, untuk mengintegrasikan generator pada sistem, tegangan generator dikonversikan dulu dari AC ke DC. Begitu pula pada kopel AC, untuk mengintegrasikan pembangkit energi terbarukan dengan tegangan DC harus dirubah menjadi AC dengan konverter tegangan.

2.2 Relevansi Penelitian

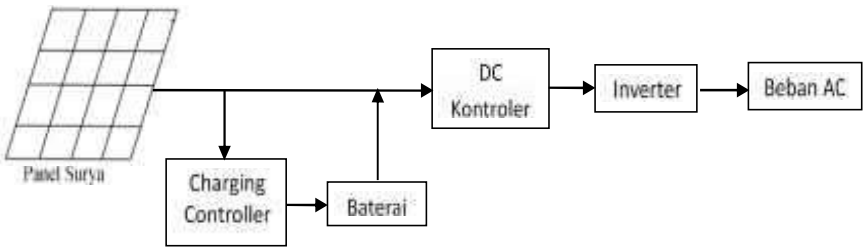
Pada daerah-daerah yang terisolasi yang tidak terjangkau dari jaringan listrik nasional menggunakan sumber-sumber energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi mereka. Dalam kelompok ini penggunaan energi listrik untuk keperluan rumah tangga seperti pencahayaan. Layanan energi litrik memberikan kontribusi terutama untuk pembangunan sosial yang menyeluruh untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi serta kelestarian lingkungan [5].Meskipun ada berbagai jenis kombinasi dari sumber energi, kombinasi umum untuk mikro-grid daerah terisolasi adalah panel surya dan turbin angin [6]. Sistem ini telah terbukti efektif untuk di aplikasikan pada daerah yang sulit di akses [7, 8].

Kajian-kajian pada sistem hibrid yang sering di diskusikan terkait masalah daya, kinerja, kehandalan dan masalah kelembagaan. Dalam desain dan optimasi sistem hibrid beberapa penelitian membahas mengenai desain optimal dari sistem hibrid surya dan angin baik off-grid atau on-grid dengan menggunakan teknik pemograman linear untuk meminimalkan rata-rata biaya produksi listrik sementara untuk memenuhi kebutuhan beban [9]. Selain itu prosedur otomatis untuk melakukan pengaturan yang optimal hibrid surya-angin terhubung ke grid menggunakan logika fuzzy multi fungsi untuk mendapatkan desain yang ekonomis dan handal [10].

2.3Sumber Energi Hibrid

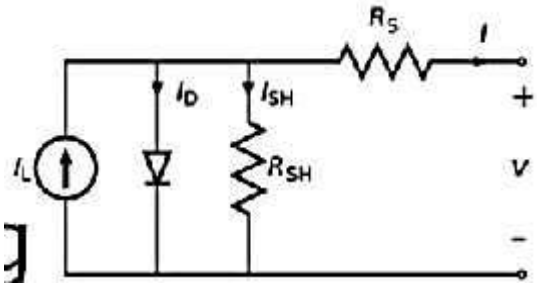
A. Panel Surya (PV)

Panel surya ialah suatu konverter energi yang dapat mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik DC dengan kapasitas tertentu sesuai dengan jenis material dan luasan dari panel surya. Penggunaan pembangkit energi ini sangat bermanfaat dan menguntungkan karena selain tidak menghasilkan kebisingan dan polusi udara juga tidak memakai energi fosil sebagai bahan bakarnya [11]. Berikut adalah blok diagram sistem pembangkit listrik tenaga surya yang ditunjukkan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4 Blok diagram sistem pembangkit tenaga surya

Panel surya mempunyai rangkaian ekivalen seperti pada Gambar 5. Arus I pada terminal output adalah sama dengan arus yang dibangkitkan arus I_L yang dikurangi dengan arus dioda I_D dan arus kebocoran paralel I_{sh} yang bernilai kecil. Resistansi seri R_s ialah resistansi internal aliran arus. Resistansi paralel Rsh dihubungkan untuk membalik arus bocor ke *ground*. Dari rangkaian ekivalen, terlihat arus disampaikan ke beban eksternal sama besar dengan I_L, lebih kecil dari arus I_D dan I_{sh}.



Gambar 5 Rangkaian ekivalen panel surya [7].

Dari rangkaian di atas, arus yang mengalir pada panel surya dinyatakan dengan persamaan [11]:

$$I = I_L - I_D - I_{sh} \quad (1)$$

$$I = I_L - I_0\left[exp\left(\frac{V+IR_s}{nV_T}\right) - 1\right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

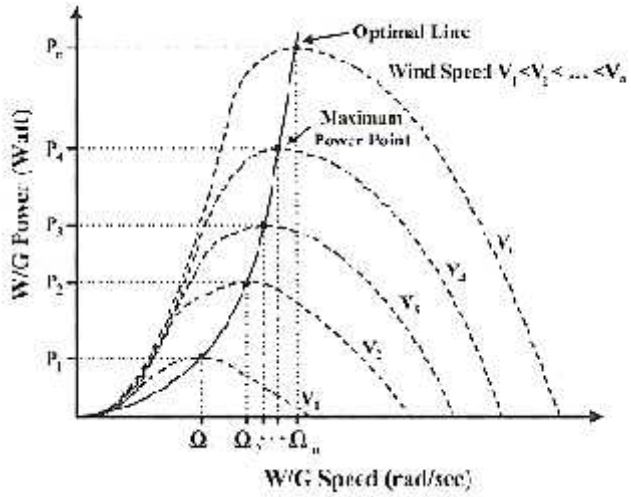
dimana:

I_L = arus sumber (A)
I_0 = arus saturasi dioda reverse (A)
R_s = tahanan seri (Ω)
R_{sh} = tahanan shunt (Ω)
n = dioda ideality factor

B. Turbin Angin (*Wind Turbin*) Output DC

Energi angin merupakan salah satu potensi energi terbarukan yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan energi listrik, khususnya wilayah terpencil. Energi angin dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik dengan turbin angin. Saat pembangkit energi angin terpasang hingga dalam MW meluas penggunaannya dalam jaringan distribusi serta telah banyak terhubung ke jaringan transmisi. Karakteristik dari turbin angin dapat dilihat dari kurva hubungan antara kecepatan rotor dengan daya yang dihasilkan (ω_r – P) dan kurva hubungan kecepatan angin dengan daya.

ISSN 2549-3698
e-ISSN 2549-3701



Gambar 6. Kurva hubungan kecepatan rotor dengan daya [13].

Daya yang di tangkap oleh turbin angin *Pm* adalah fungsi dari bentuk baling-baling. *Pitch angle*, diameter baling-baling dan kecepatan rotor [13].

$$Pm = \frac{1}{2}\rho\, Cp(\lambda,\beta)\pi R^2 V^3 \quad (3)$$

Dimana :

ρ = kerapatan udara (1.22 kg/m^3)
λ = tip-speed ratio
β = pitch angle (dalam derajat)
Cp = koefisien daya dari turbin angin
R = diameter baling-baling (m)
V = kecepatan angin (m/s)

Persamaan dari λ didefinisikan sebagai :

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (4)$$

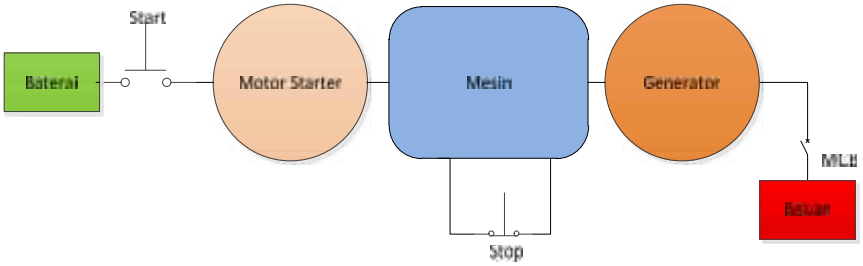
Dimana ω adalah kecepatan rotor dari turbin angin dengan satuan (rad/s), dan Cp didapat dari persamaan:

$$Cp(\lambda,\beta) = c1\left(\frac{c2}{\lambda i} - c3\beta - c4\right)e^{\frac{-c5}{\lambda i}} + c6\lambda \quad (5)$$

$$\frac{1}{\lambda i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (6)$$

C. Generator

Generator adalah salah satu pembangkit listrik dari bahan fosil. Prinsip kerja generator adalah merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Bagian-bagian generator yaitu mesin dan generator, selain itu motor starter dan juga baterai untuk starter motor. Single line diagram generator ditunjukkan pada Gambar 7. Saat saklar Start di tekan motor starter menyalakan mesin dan memutar generator, MCB akan terhubung ke beban ketika generator sudah normal bekerja, atau pada saat kondisi steady state yaitu pada waktu 10 detik, saat tombol stop di tekan mesin akan berhenti, generator dan beban tidak terhubung lagi.



Gambar 7 Single line diagram generator

D. Baterai

Baterai merupakan piranti penyimpan energi dalam bentuk elektrokimia yang banyak digunakan untuk menyimpan energi untuk berbagai aplikasi. Terdapat dua jenis baterai [17], yaitu:

a. Baterai primer, yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Reaksi elektrokimia yang terjadi bersifat non-reversible (tidak dapat balik). Sehingga setelah digunakan, baterai ini harus dibuang.
b. Baterai sekunder atau dikenal dengan baterai rechargeable (bisa diisi ulang). Reaksi elektrokimia yang terjadi bersifat reversible (dapat balik). Sehingga setelah digunakan, baterai ini dapat diisi (charging) dengan memberikan arus listrik dari luar.

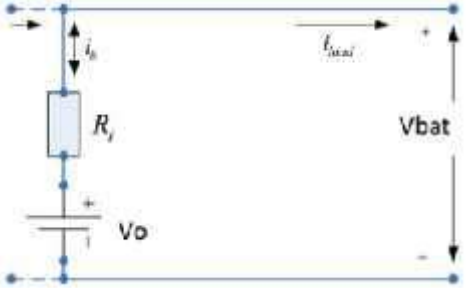
Rangkaian ekivalen baterai yang paling sederhana diperlihatkan pada gambar 8, dimana terdiri dari sebuah sumber tegangan dengan hambatan yang disusun seri [17,18]. Dari gambar ini,tegangan pada terminal baterai (Vbat) dinyatakan oleh [17]:

$$V_{bat} = V_0 - i_b(t) \quad (7)$$

Dimana V_0 adalah tegangan internal baterai, dan R_i adalah hambatan internal baterai, dan $i_b(t)$adalah arus yang mengalir dari / ke baterai. jika baterai digunakan (discharge) maka arus ib bertanda positif (+), dan jika bateri diisi (charge) maka arus ib bertanda negatif (-). Energi yang disimpan/diberikan $E_{bat}(t)$ adalah [17]:

$$E_{bat}(t) = E_{bat_init} \ (t) \ \int V_{bat} i_b(t) dt \quad (8)$$

dimana E_{bat_init} adalah energi awal baterai.



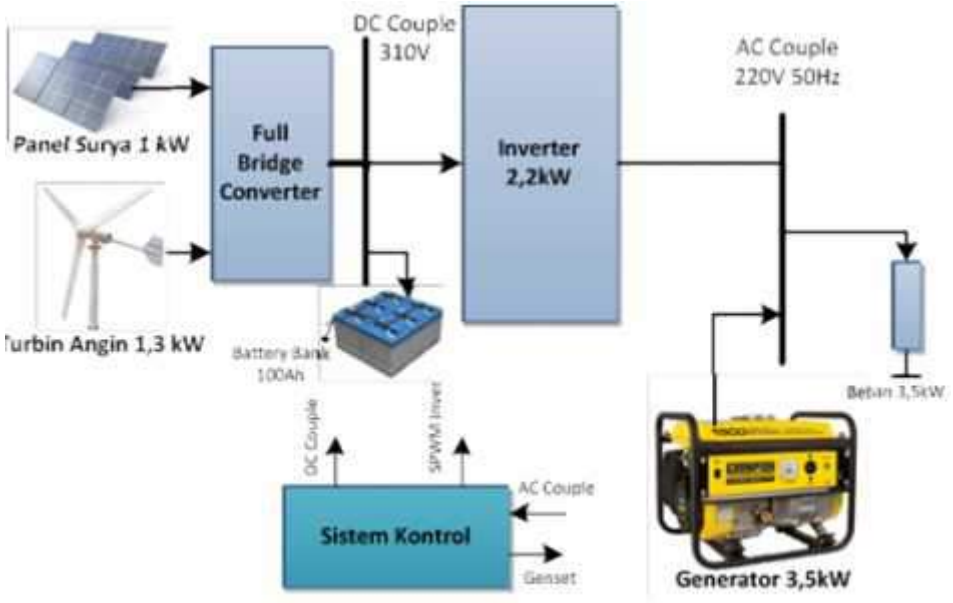
Gambar 8. rangkaian ekivalen baterai Lead-Acid [17]

ISSN 2549-3698
e-ISSN 2549-3701

3. Perancangan Sistem Hibrid

A. Permodelan Sistem Hibrid

Pada penelitian ini dimulai dengan membuat desain rancangan awal sistem hibrid berupa blok diagram seperti ditunjukkan pada Gambar 9 yang terdiri dari panel surya, turbin angin, generator, beban, dan baterai.



Gambar 9. Blok diagram sistem hibrid panel surya, turbin angin dan generator

Blok diagram diatas adalah sistem pembangkit hibrid energi terbarukan dan generator, pembangkit energi terbarukan terdiri dari panel surya dengan daya 1 kW, turbin angin dengan daya 1,3 kW dan generator 3,5 kW, selain itu terdapat baterai bank yang berfungsi sebagai penyimpanan energi. Estimasi daya yang dilayani pada sistem pembangkit hibrid ini minimal 660W dan maksimal 3,5 kW.

B. Cara Kerja Sistem

Cara kerja sistem hibrid pada blok diagram diatas adalah sebagai berikut : Pembangkit energi terbarukan terdiri dari panel surya dan turbin angin, panel surya berkapasitas 1 kW. Panel surya di atur pada intensitas cahaya 300-1000 w/m2 pada tegangan yang telah di stabilkan 120 V, dan turbin angin berkapasitas 1,3 kW dengan kecepatan angin antara 3 – 4,2 m/s pada tegangan stabil 120 V, Kedua pembangkit tersebut dihubungkan pada bus kopel DC dengan perangkat full bridge konverter yang berfungsi menaikkan tegangan dari 120V menjadi 310 V.

Tegangan DC keluaran dari full bridge konverter 310 VDC kemudian dirubah menjadi tegangan AC 220 VAC/50 Hz melalui inverter, hasil tersebut merupakan proses konversi sesuai dengan rumus konversi tegangan DC-AC yaitu tegangan rata-rata yang diperoleh dari√(1/2) VMax. Total daya dari inverter 725 W - 2200 W berasal dari panel surya dan turbin angin.Generator 3,5 kW dan inverter terhubung pada bus kopel AC dimana beban-beban terhubung.

Beban-beban pada bus kopel AC bervariasi antara 660 W – 3520 W. Pembangkit energi terbarukan akan mensuplai daya ke beban sebesar kemampuan dari penjumlahan dari panel surya dan turbin angin. Kemampuan dari pembangkit energi terbarukan di pengaruhi oleh intensitas cahaya matahari pada panel surya dan kecepatan angin pada turbin angin, selain itu dari kapasitas daya baterai. Ketika daya beban naik lebih besar dari kemampuan pembangkit energi terbarukan (PB > P¬ET) maka generator akan menyala. Ketika daya beban lebih kecil dari daya pembangkit energi terbarukan maka generator akan padam. Cara kerja sistem ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1 Hasil simulasi perangkat hibrid

Simulasi Perangkat	Radiasi (w/m^2)	Kecepatan (m/s)	Tegangan	Arus	Daya (W)	Frekuensi
Panel Surya	300-1000	-	120 V	2,36-8.3 A	283-1000	-
Turbin angin	-	3 - 4.2	120 V	11 A	340-1341	-
Generator	-	-	220 V	6 A	3520	50 Hz
Battery bank			120 V	100Ah	2200	
Full Bridge Konverter	-	-	120/310	-	2300	-
Inverter	-	-	310/220	10 A	2200	50 Hz

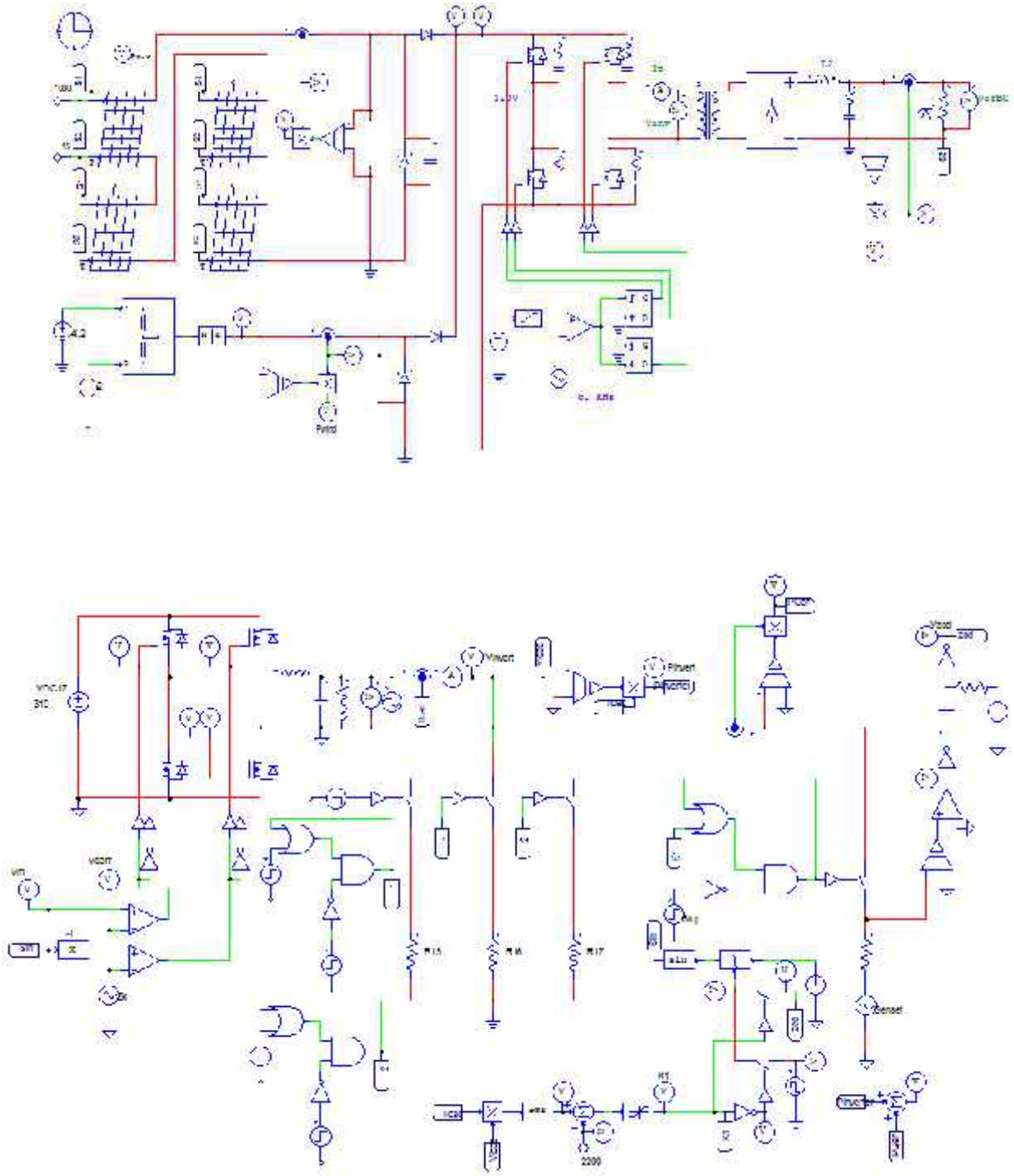
Tabel 2 Hasil simulasi perangkat hibrid

[1] Percobaan simulasi	[1] Sistem Backup		[1] Sistem Support	
[1] PET < PB	[2] ET OFF	[2] PG ON	[1] ET ON	[1] PG ON
[1] PET >= PB	[3] ET ON	[3] PG OFF	[2] ET ON	[2] PG OFF

C. Rangkaian Simulasi

Pada desain rangkaian simulasi sistem hibrid ini, terdapat dua bus yaitu bus DC dan bus AC. Bus DC menghubungkan antara panel surya dengan turbin angin, sedangkan bus AC menghubungkan inverter dan generator, selain itu beban juga terhubung pada bus AC. Simulasi ditunjukkan pada Gambar 10.

ISSN 2549-3698
e-ISSN 2549-3701



Gambar 10 Simulasi hibrid Inverter dan Generator

Fungsi generator sebagai backup yaitu ketika pengurangan nilai daya dari pembangkit energi terbarukan (PET) yang berasal dari panel surya dan turbin angin terhadap daya beban (PB) hasilnya lebih kecil atau bernilai negatif maka generator (PG) akan menyala, dan pembangkit energi terbarukan akan off. Generator akan mengambil alih beban selain itu juga digunakan untuk mengisi baterai. Setelah daya dari pembangkit energi terbarukan telah lebih besar dari nilai beban maka generator akan padam sesuai dengan Tabel 2.

Variasi dari daya beban dan daya masing-masing pembangkit yang telah disusun pada simulasi ini dapat diskema kan seperti pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Skema simulasi generator sebagai backup

Waktu	Daya Beban PB (Watt)	Panel Surya (Watt)	Turbin Angin (Watt)	Total ET (Watt)	Selisih PET-PB (Watt)	Posisi ET	Posisi Genset
0	0	0	0	0	0	OFF	OFF
1	2200	1000	1200	2200	0	ON	OFF
2	660	385	340	725	65	ON	OFF
3	2860	800	1137	1937	-923	OFF	ON
4	3520	1000	1200	2200	-1320	OFF	ON
5	1320	600	1137	1737	417	ON	OFF
6	2200	800	688	1488	-712	OFF	ON
7	2860	800	688	1488	-1372	OFF	ON

Dari tabel diatas dapat di jelaskan ketika daya beban nol, semua pembangkit dalam keadaan off. Ketika selisih daya bernilai positif generator off dan energi terbarukan on, saat selisih daya bernilai negatif genset akan on dan energi terbarukan akan off.

Fungsi generator sebagai support yaitu ketika nilai beban lebih besar dari pembangkit energi terbarukan atau selisih dari daya energi terbarukan dan daya beban bernilai negatif maka generator akan menyala, pembangkit energi terbarukan tidak perlu di off karena fungsi generator digunakan untuk menambahkan daya pada pembangkit energi terbarukan ketika terjadi defisit daya. Ketika nilai beban lebih kecil dari pembangkit energi terbarukan generator akan padam. Selisih dari daya beban dan daya pembangkit energi terbarukan dipengaruhi oleh perubahan daya pada beban dan pengaruh intensitas cahaya pada panel surya dan kecepatan pada turbin angin. Sistem ini akan terus mendeteksi selisih dari hal ini dan akan menjadi perintah kapan waktu penyalaan generator.

PET < PB : PG ON, PET ¬ON
PET > PB : PG OFF, PET ¬ON

Skema dari sistem kedua dimana fungsi genset sebagai support ditunjukkan pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Skema simulasi generator sebagai support

Waktu	Daya Beban PB (Watt)	Panel Surya (Watt)	Turbin Angin (Watt)	Total ET (Watt)	Selisih PET- PB (Watt)	Posisi Genset	Posisi ET
0	0	0	0	0	0	OFF	OFF
1	2200	1000	1200	2200	0	OFF	ON
2	660	385	340	725	65	OFF	ON
3	2860	800	1137	1937	-923	ON	ON
4	3520	1000	1200	2200	-1320	ON	ON
5	1320	600	1137	1737	417	OFF	ON
6	2200	800	688	1488	-712	ON	ON
7	2860	800	688	1488	-1372	ON	ON

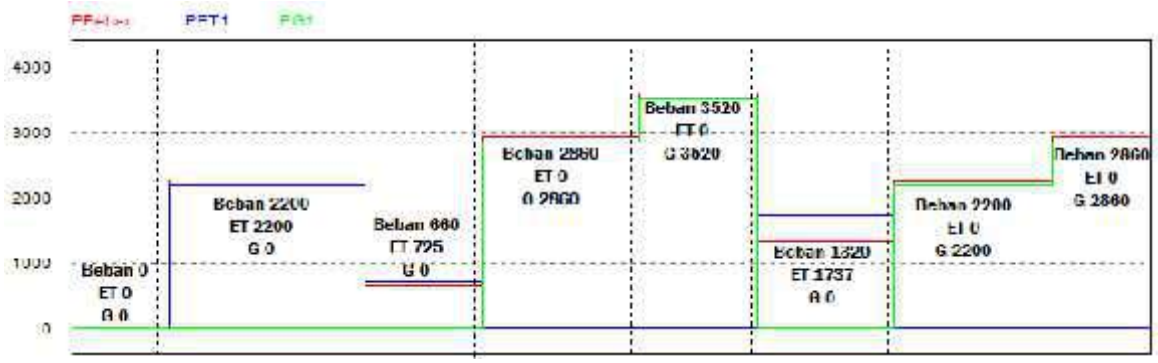
Dari tabel tersebut dapat di jelaskan ketika daya beban nol, semua pembangkit dalam keadaan off. Ketika selisih daya bernilai positif generator off dan energi terbarukan on, saat selisih daya bernilai negatif genset akan on dan energi terbarukan akan off.

4. Hasil Simulasi

Pada penelitian ini menggunakan software simulasi untuk mendapatkan hasil yang di inginkan. Software simulasi merupakan aplikasi komputer yang berguna untuk eksperimen awal penelitian sebelum diaplikasikan kedalam bentuk aslinya.

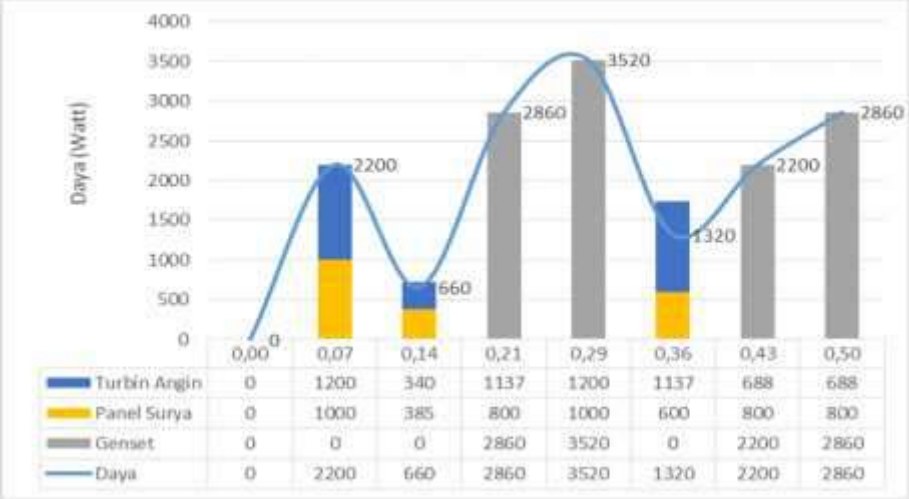
A. Sistem hibrid generator *backup*

Penelitian sebelumnya sistem hibrid pembangkit energi terbarukan terdiri dari panel surya, turbin angin dan generator. Daya maksimum yang mampu dihasilkan panel surya 1000 W, turbin angin 1200 W dan generator 3520 W. Total daya hibrid yang dihasilkan sebesar 5720 W, generator digunakan sebagai backup apabila pembangkit energi terbarukan tidak mampu menyuplai daya saat terjadi penambahan beban. Hasil simulasi seperti pada Gambar 11.



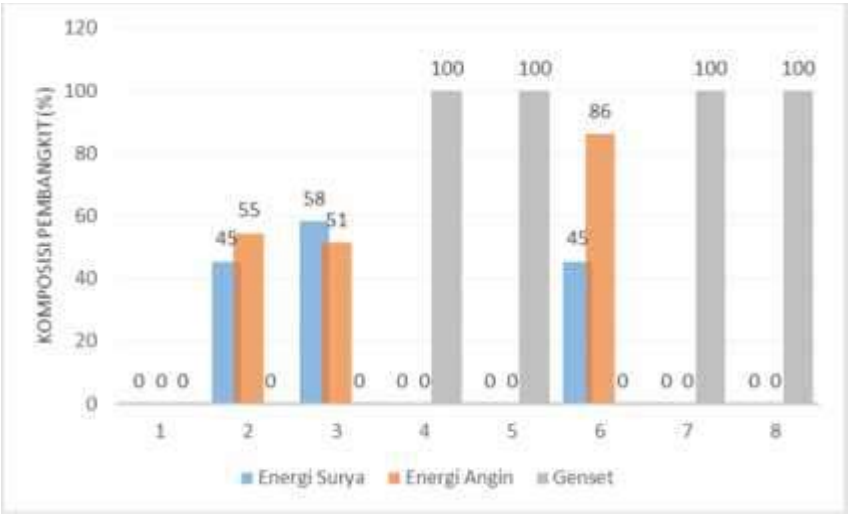
Gambar 11 Hasil simulasi penelitian awal

Grafik 1 menunjukkan performa dari sistem hibrid dengan generator sebagai backup, terlihat bahwa generator bekerja mandiri mensuplai daya pada beban lebih besar dari kemampuan pembangkit energi terbarukan.



Grafik 1. Efisiensi daya generator Vs energi terbarukan (%)

Komposisi masing-masing pembangkit sesuai dengan keadaan beban yang telah ditentukan seperti pada Grafik 2. Terlihat bahwa pada saat beban naik diatas kemampuan pembangkit energi surya dan angin generator mengambil alih keseluruhan beban, hal ini dapat dilihat dari persentase generator dalam mensubstitusikan daya sebesar 100% saat terjadi defisit energi. Panel surya hanya mampu menyuplai daya lebih kecil dari kemampuan generator.

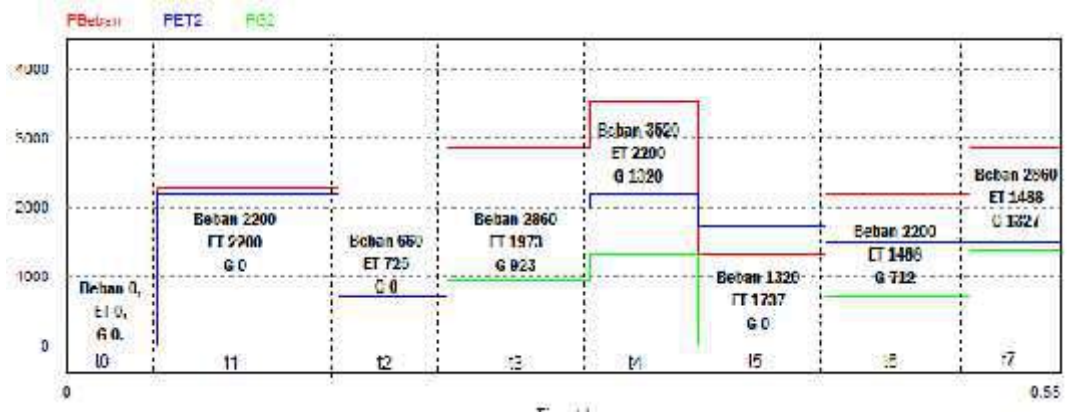


Grafik 2 Komposisi pembangkit dalam suplai daya beban

B. Sistem hibrid generator *support*

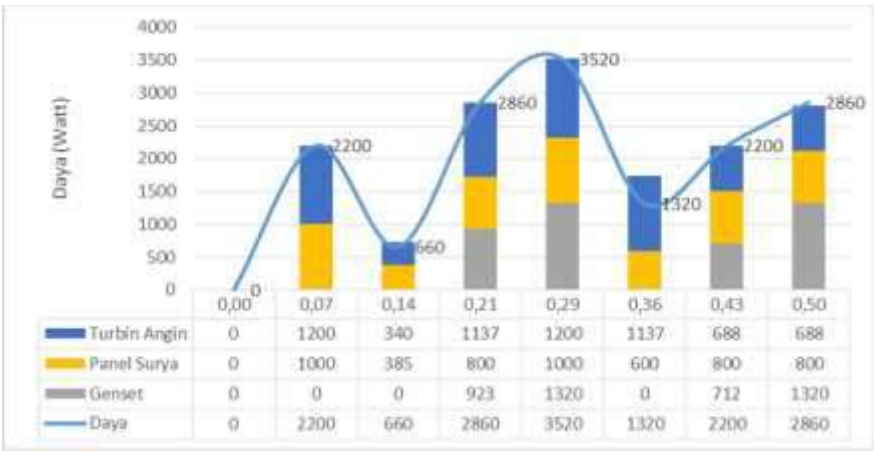
Simulasi hasil rancangan sistem hibrid yang terdiri dari sumber pembangkit energi terbarukan 2200 W dan generator 3520 W ditunjukkan pada Gambar 4.12. total daya yang dihasilkan dari sistem hibrid ini sebesar sama dengan sistem backup yaitu 5720 W. perbedaannya pada daya yang dihasilkan generator pada saat bekerja sebagai support energi primer. Generator berfungsi sebagai support energi atau suplai daya tambahan apabila terjadi penambahan beban ketika daya dari pembangkit energi terbarukan tidak mampu mensuplai daya karena terbatasnya kapasitas daya pembangkit.

ISSN 2549-3698
e-ISSN 2549-3701



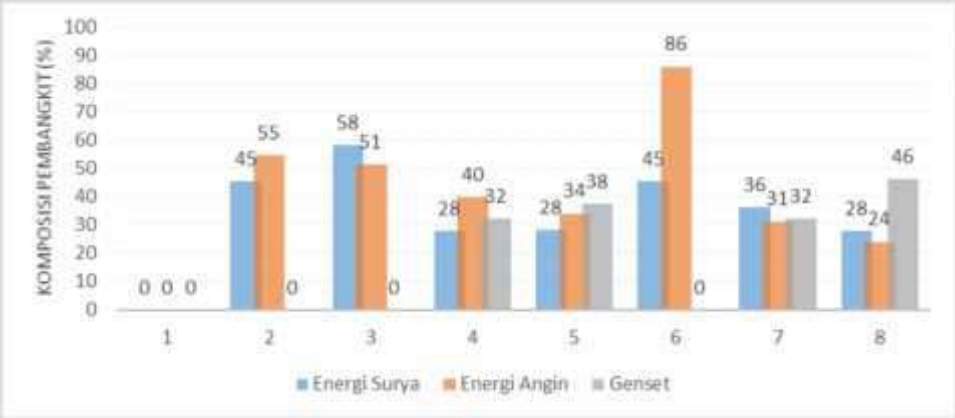
Gambar 12 Hasil simulasi penelitian generator sebagai support.

Grafik 3 menunjukkan performa dari sistem hibrid dengan generator sebagai support, terlihat bahwa generator bekerja mendukung pembangkit energi terbarukan menambah daya yang dibutuhkan beban sebesar 923 W pada beban 2860 W, 712 W pada beban 2200 W dan 1320 W pada beban 2860 W. sedangkan beban dari 0-2200 W di suplai oleh energi terbarukan.



Grafik 3 Performa sistem hibrid generator sebagai support

Komposisi dari tiap pembangkit pada tiap waktu ditunjukkan pada Grafik 4.8 berikut :



Grafik 4 Komposisi Pembangkit (%)

Dari Grafik 4 dapat dijelaskan pada saat beban 0W semua pembangkit tidak bekerja, ketika beban 2200 W panel surya menyuplai daya 45% dan turbin angin 55% sedangkan generator 0%, pada beban 660 W panel surya 58%, turbin angin 51% generator 0%. Ketika beban 2860 W panel surya hanya menyuplai 28% ditambah dengan turbin angin 40% selebihnya dari generator 32%. Saat daya beban naik lagi menjadi 3520 panel surya dan turbin angin masing-masing menyuplai daya 28% dan 34% sedangkan generator 38%. Saat beban turun menjadi 1320 W panel surya menyuplai daya 45% dan turbin angin 86% sedangkan generator off. Saat beban naik 2200 W panel surya dan turbin angin menyuplai daya 36% dan 31% sedangkan sisanya dari generator 32%. Kemudian daya beban naik menjadi 2860 W, panel surya 28%, turbin angin 24% dan generator menambah daya menjadi 38%.

Dari komposisi diatas menunjukkan energi terbarukan berpartisipasi sepenuhnya dalam hal penyuplaian daya ke beban, sedangkan genset berkontribusi menyuplai daya tambahan pada saat energi terbarukan mengalami defisit daya saat terjadi kenaikan beban.Hal ini karena generator digunakan bersama-sama dengan pembangkit energi terbarukan dalam melayani beban.

Generator menyuplai daya tambahan untuk membantu energi terbarukan ketika terjadi kenaikan beban diluar batas kemampuan pembangkit energi terbarukan, sehingga kontinuitas suplai daya beban tidak terganggu. Perbedaan lainnya pada kapasitas generator yang digunakan. Generator yang digunakan pada sistem hibrid ini lebih kecil dibandingkan dengan sebelumnya, sehingga dapat menghemat biaya generator. Selain itu karena generator digunakan hanya pada saat tertentu dengan daya kecil, hanya memerlukan bahan bakar yang sedikit, jadi menghemat biaya untuk operasional generator.

C. Pembahasan

Dari sistem hibrid yang dirancang hasilnya saat terjadi kenaikan beban sumber pembangkit sekunder (generator) akan adaptif untuk melengkapi dalam suplai energi listrik dan fungsi generator sebagai sumber energi pendukung bekerja secara sistematis jika daya beban naik di atas kemampuan pembangkit energi terbarukan.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dimana fungsi generator sebagai backup daya apabila pembangkit energi terbarukan mengalami defisit daya saat terjadi penambahan beban atau dalam kondisi perbaikan maka di perlukan ukuran generator dengan kapasitas daya yang sanggup melayani seluruh beban. Hal ini tidak efisien dan ekonomis mengingat harus mengeluarkan biaya yang tinggi untuk menyediakan generator dengan kapasitas besar selain itu biaya yang di keluarkan untuk pengoperasian generator dalam jangka waktu lama berupa bahan bakar dan lain-lainnya.

Perbedaan yang jelas dari sistem sebelumnya yaitu sistem ini memanfaatkan seluruh pembangkit ketika terjadi defisit energi listrik. Pada sistem sebelumnya terdapat daya terbuang yang tidak manfaatkan secara optimal, dari hal tersebut dengan menggunakan sistem hibrid ini dapat mengoptimalkan kerja pembangkit energi terbarukan dengan pemanfaatan generator sebagai energi pendukung. Hasil modifikasi sistem hibrid ini dari pemanfaatan generator backup menjadi support dapat meningkatkan persentase pemanfaatan energi terbarukan dari 11,73% menjadi 25,94% dan penggunaan generator turun dari 24,5% menjadi 10,3%.

Pembangkit sumber energi terbarukan yang berasal dari energi surya, angin, air, dan lainnya merupakan sumber energi primer, mengingat pembangkit sumber energi terbarukan

ISSN 2549-3698
e-ISSN 2549-3701

merupakan sumber energi yang selalu tersedia dan tidak akan habis untuk digunakan kecuali perangkat-perangkat konversi energi atau sistem mengalami kerusakan. Karena itu pembangkit energi terbarukan harus dijaga dan jangan sampai mengalami kerusakan atau gagal bekerja, perbaikan dan perawatan tidak mesti melakukan pemadaman sehingga penyaluran daya terganggu. Setiap pembangkit harus dapat saling menutupi kekurangan dan menjamin kelangsungan suplai daya. Pemanfaatan generator di minimalisir kerjanya yaitu hanya melayani beban-beban tambahan pada waktu-waktu tertentu untuk menghemat biaya operasional sehingga dapat digunakan generator dengan kapasitas yang lebih kecil.

Jika di tinjau dari ketersediaan potensi energi terbarukan tidak disemua daerah memiliki potensi sumber energi terbarukan, tetapi potensi sumber energi surya hampir semua tersedia. Indonesia salah satu negara yang terletak pada garis equator merupakan daerah yang memiliki potensi energi surya terbesar sehingga cocok untuk pembangkit listrik tenaga surya karena mendapatkan intensitas cahaya yang tinggi.

Selain dari pada itu ketersediaan potensi sumber energi terbarukan lainnya seperti potensi tenaga air, tenaga angin, pasang-surut dan lainnya memungkinkan untuk di gabungkan menjadi pembangkit hibrid sehingga dapat saling melengkapi dalam penyaluran daya ke beban. Penggunaan pembangkit dari fosil seperti generator sebisanya di minimalisir karena memerlukan biaya untuk bahan bakar dan perawatan.

Perencanaan sistem hibrid harus mempertimbangkan efisiensi penggunaan daya dan mengurangi penggunaan bahan bakar untuk menghemat cadangan fosil di dunia. Emisi yang dihasilkan dari penggunan bahan bakar harus di kurangi untuk menciptakan atmosfer yang bersih bagi makhluk hidup. Perkembangan teknologi harus efisien dan ramah terhadap lingkungan untuk kesejahteraan manusia.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kerja dari rancangan sistem hibrid dengan pemanfaatan generator sebagai daya tambahan (support) energi pembangkit energi terbarukan dan perhitungan efisiensi dari sistem tersebut dapat disimpulkan bahwa:

1. Persentase pemanfaatan energi terbarukan naik dari 11,73% menjadi 25,94%. Pemanfaatan generator turun dari 24,50% menjadi 16,74% dengan efisiensi pemanfaatan pembangkit pada kedua sistem 36,23%.

2. Performansi dari sistem ini yaitu sistem hibrid ini bekerja adaptif menghubungkan generator ketika terjadi penambahan beban atau defisit daya tanpa perlu memutuskan daya dari panel surya atau turbin angin, dan generator akan dipadamkan jika daya beban sesuai dengan kemampuan daya pembangkit energi terbarukan, dengan demikian pemanfaatan generator sebagai support lebih efektif dan efisien dibandingkan pemanfaatan generator sebagai backup.

REFERENSI

[1] Isheng Wang, M Hashem Nehrir. Power Management of a Stand-Alone Wind/Photovoltaic/ Energy System. *IEEE Transactions On Energy Conversion*, VOL. 23, NO. 3, September 2008

[2] S Rehman, A M Mahbub, Meyer, L M. Al-Hadhrami. *Feasibility Study Of A Wind-Pv-Diesel Hybrid Power System For A Village.* Center for Engineering Research, Research Institute, King Fahd University for Petroleum and Minerals, Dhahran-31261. Saudi Arabia. 2010

[3] Hongxing Yang, Lin Lu, Wei Zhou. A novel optimization sizing for hybrid solar-wind power generation. RERG Sciene Dirrect, *Elsevier.* 2007

[4] M H Nehrir, C Wang, K Strunz, H Aki, R Ramakumar, J Bing, Z. Miao, and Z. Salameh. A Review of Hybrid Renewable/Alternative Energy Systems for Electric Power Generation: Configurations, Control, and Applications. *IEEE Transactions On Sustainable Energy, VOL. 2, NO. 4,* October 2011

[5] Luiz A. de S. Ribeiro, Osvaldo R. Saavedra, Shigeaki L. Lima, José G. de Matos. Isolated Micro-Grids with Renewable Hybrid Generation: The Case of Lençóis Island. *ElectricalEngineering Institute, IEE-UFMA*, Av. dos Portugueses s/n, Campus do Bacanga, CEP 65040-080, Brazil, 2008

[6] Ahmed N. A. Miyatake M. A Stand-Alone Hybrid Generation System Combining Solar Photovoltaic and Wind Turbine with Simple Maximum Power Point Tracking Control. *In Conf. Rec IEEE-IPEMC*, 2006.

[7] Boyle G. Renewable: power for a sustainable future. Oxford. 2004

[8] Mendez L, Narvarte L, Marsinach A G. Izquierdo, P. Carrasco, L M Eyras, R. Centralized stand alone PV system in microgrid in Morocco. Photovoltaic Energy Conversion, 2003. *Proceedings of 3rd World Conference on Volume 3*, Page(s): 2326 – 2328. 2003

[9] Chedid R, Raiman S. Unit sizing and control of hybrid wind-solar power systems. *IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 12, No. 1*, pp. 79 – 85, 1997.

[10] La Terra, G. Salvina G. Marco T. G. Optimal Sizing Procedure for Hybrid Solar Wind Power Systems Fuzzy Logic. *In IEEE MELECOM*, Benalmadena (Malaga). Spain, pp. 865 – 868, 2006

[11] Tom Markvart, Luis Castafier. Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications", Elsevier Advanced Technology, The Boulevard. Langford Lane, Kidlington, OxfordOX5 IGB, UK, 2003.

[12] Riad Chedid, Saifur Rahman. Unit Sizing And Control Of Hybrid Wind-Solar Power Systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 12*, No. 1, March 1997

[13] Dzulfiqar Rais Mushthafa, Mochamad Ashari, Vita Lystianingrum. Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracker (MPPT) dengan Metode Gradient Approximation. Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, 2011

[14] Lena Max. Energy Evaluation for DC/DC Converters in DC-Based Wind Farms. Division of Electric Power Engineering, Department of Energy and Environment, Chalmers University Of Technology, G¨oteborg, Sweden, 2007

[15] Muhammad H Rashid. Power Electronics, Third Edition. Prentice Hall, United States of America, 2004

[16] Sigit Prasetya, M Zaenal Efendi, Sutedjo. Pemanfaatan Harmonisa pada Beban Non Linier Sebagai Sumber EnergiMenggunakan Full Bridge DC-DC Converter dan Inverter. Electronic Engineering Polytechnic Institute of Surabaya (EEPIS), Indonesia, Indutrial Electronics Seminar. 2011.

[17] Liem Ek Bien, Ishak Kasim, Wahyu Wibowo. Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Jala-Jala Listrik PLN Untuk Rumah Perkotaan. *JETri, Volume 8, Nomor 1,* Halaman 37-56, ISSN 1412-0372.

[18] Aryuanto Soetedjo, Abraham Lomi, Yusuf Ismail Nakhoda. Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Hibrid Angin dan Surya. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang. 2010

Fidelity : Jurnal Teknik Elektro
Vol. 3, No. 1, Januari 2021, page 18-22

p-ISSN: 2686-365
e-ISSN: 2686-3642

Sistem Catu Daya Antarmuka Grid berdasarkan Energi Baru Terbarukan

Efendi
Teknik Elektro
Politeknik Negeri Padang
Padang, Indonesia
efendi.muchtar25@gmail.com

***Abstrak*—Beberapa teknologi sel bahan bakar akan segera menjadi alternatif yang terjangkau dan menarik untuk pembangkit energi tradisional. Teknologi energi terbarukan telah memicu minat luas dalam memberi daya pada tempat-tempat pedesaan dan menghasilkan daya terdistribusi, terutama selama beban puncak. Pembangkit listrik berbasis sel bahan bakar mendapatkan dukungan aplikasi di rumah dan pembangkit listrik terdistribusi karena kebersihan, portabilitas, dan kesesuaiannya untuk pembangkit listrik dan panas. Masalahnya tetap dalam mengembangkan antarmuka elektronik daya yang sesuai untuk membuat teknologi layak. Penelitian ini menyajikan pemodelan, simulasi, dan analisis eksperimental pembangkit listrik sel bahan bakar (FC) yang cocok untuk aplikasi stand-alone dan antarmuka microgrid/grid, menggunakan berbagai pengontrol seperti Kontroler PI PID dan Kontrol Logika Fuzzy. Inverter modulasi lebar pulsa satu tahap dipilih sebagai antarmuka daya listrik antara FC dan jaringan. Sebuah model matematis dibangun per unit sistem untuk menentukan batas daya dalam hal FC, konverter, dan parameter sistem daya. Model simulasi dibuat dalam lingkungan MATLAB, dengan metode kontrol diimplementasikan dalam kerangka referensi QD. Sebuah perbandingan dari tiga kontroler yang berbeda dibuat.**

Kata Kunci— Distributed generation, fuel cell (FC), grid interface, power conditioning unit, power quality, pulse width modulation (PWM) inverter, stand-alone system.

I. PENGANTAR

Di satu sisi, pertumbuhan pesat dalam penggunaan energi selama abad terakhir dan sumber daya energi yang terbatas telah menghasilkan banyak masalah dan isu saat ini. Meskipun sumber energi konvensional, seperti bahan bakar fosil, saat ini melimpah, namun jumlahnya terbatas dan akhirnya habis. Selanjutnya, masalah lingkungan seperti pemanasan global semakin parah dan memerlukan perhatian dan perencanaan yang lebih. Sumber energi terbarukan memenuhi tuntutan dan kekhawatiran ini karena tersedia selama matahari bersinar dan berkelanjutan karena tidak atau memiliki dampak lingkungan yang minimal. Fuel cell merupakan salah satu teknologi yang dapat berbasis pada sumber energi terbarukan. Sel bahan bakar adalah perangkat yang mengubah energi kimia yang tersimpan dalam beberapa bahan bakar secara langsung menjadi energi listrik dan panas. Banyak sel bahan bakar lebih memilih hidrogen, dan hidrogen adalah sumber daya terbarukan. Akibatnya, teknologi sel bahan bakar telah menerima banyak minat. FC harus dibalik dan dinaikkan untuk digunakan untuk aplikasi perumahan dan pembangkit terdistribusi karena memberikan daya dc. Masalah penting lainnya dengan FC adalah bahwa tegangannya turun secara praktis secara linier seiring dengan meningkatnya arus beban; akibatnya, tegangan output harus disesuaikan ke tingkat yang benar. Akibatnya, antarmuka elektronik daya yang tepat antara FC dan beban/jaringan diperlukan, dengan manajemen tegangan FC, pencocokan tegangan keluaran, dan kemampuan isolasi galvanik.

Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1, tugas-tugas berikut dapat diselesaikan dengan menghubungkan konverter dc-dc dengan penguatan tegangan ke FC dan kemudian inverter dc/ac atau dengan langsung mengklik inverter ke FC sebagai transformator step-up. Beberapa topologi konverter dc-dc mode-switch diikuti oleh inverter disajikan dan dibandingkan berdasarkan kinerja [8]–[14]. Konverter dc-dc mode aktif disarankan untuk menjaga ukuran dan biaya sistem tetap rendah, diikuti oleh inverter yang terhubung ke jaringan [8]. Karena yang pertama membutuhkan lebih sedikit penyaringan input, konverter dc-dc diumpankan arus lebih disukai daripada konverter dc-dc diumpankan tegangan. Untuk mengurangi rugi-rugi konduksi sakelar, dipilih konverter dc-dc push-pull dengan penguatan tegangan [8], [10], [11]. Namun, utilitasnya terbatas pada aplikasi berdaya rendah hingga sedang. Karena topologi push-pull memiliki kesulitan yang signifikan dengan penghentian tap pusat, yang cenderung menyebabkan kejenuhan transformator pada tingkat daya tinggi, topologi jembatan penuh disukai untuk aplikasi daya tinggi [9]. Sebuah topologi jembatan penuh, di sisi lain, memerlukan lebih banyak sakelar tetapi pada setengah peringkat, yang lebih hemat biaya dan efisien [9], [12], [13]. Untuk mengatasi masalah yang disebutkan sebelumnya, semua topologi ini menggunakan konversi beberapa tahap, yang menghasilkan jumlah komponen yang tinggi dan, sebagai akibatnya, keandalan yang buruk, biaya yang berlebihan, dan efisiensi yang buruk.

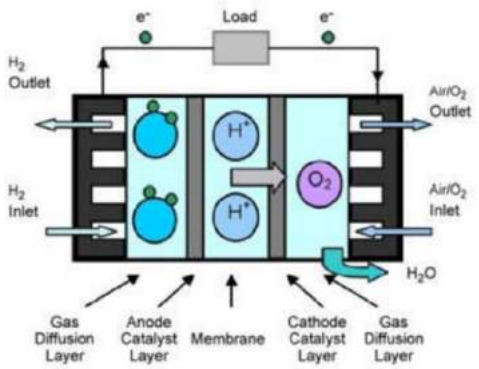
Selain itu, perangkat penyimpanan energi seperti baterai dan ultrakapasitor diperlukan pada tahap kritis [9], [10] untuk memberikan tambahan atau meningkatkan respons transien FC yang buruk. Hanya ada satu tahap konversi ketika inverter dc/ac dihubungkan langsung ke FC dengan penguatan ac [15]. Keuntungan dari topologi ini termasuk jumlah komponen yang berkurang dan kerugian yang rendah. Selain itu, konversi tunggal memungkinkan aliran daya balik yang lebih mudah dari grid untuk memberi makan alat bantu, terutama saat startup. Trafo step-up juga menyediakan isolasi antara FC dan beban. Salah satu bidang penelitian yang menarik adalah antarmuka jaringan sumber daya terbarukan seperti FC, terutama selama beban puncak

[16]. Desain lengkap, pemodelan matematika, dan implementasi sistem kontrol adalah beberapa kesulitan yang memerlukan perhatian lebih terfokus. Pemodelan dan simulasi antarmuka elektronik daya satu tahap antara FC dan beban/jaringan disajikan dalam penelitian ini. Model matematis sistem catu daya berbasis FC dibangun dalam kerangka referensi qd0 untuk parameter FC, konverter, dan sistem daya. Model ini menentukan daya aktif dan reaktif maksimum yang dapat diberikan sistem ke antarmuka jaringan. Model dibuat menggunakan metode per unit (p.u.) yang dapat diperluas lebih lanjut untuk situasi yang terhubung dengan jaringan. Topologi yang dipilih juga dapat digunakan untuk konversi dua arah untuk memasok tambahan dari grid selama startup.

Desain dan investigasi akan menggunakan membran pertukaran proton (PEM) FC NexaTM 1,2 kW. Sifat I–V dari FC dihitung menggunakan suhu dan tekanan hidrogen sebagai variabel. Model FC yang lebih sederhana dibangun berdasarkan aspek praktisnya di wilayah linier setelah membandingkan karakteristik yang disimulasikan dengan karakteristik I–V yang diperoleh secara eksperimental. Sim Power-Systems dan MATLAB–Simulink digunakan untuk membuat model simulasi. Teknik kontrol diimplementasikan dalam kerangka referensi stasioner qd0, dan hasil simulasi kondisi tunak dan transien ditampilkan.

II. Sel Bahan Bakar

PEMFC adalah sel bahan bakar membran pertukaran proton yang mengubah energi kimia dari reaktan yang disuplai (hidrogen dan oksigen) menjadi listrik. Untuk meringkas, gas reaktan dikirim ke kedua elektroda sel bahan bakar melalui saluran, lapisan difusi gas memastikan pemerataan ke membran berlapis katalis, dan katalis mempercepat oksidasi dan reduksi reaktan, yang merupakan reaksi langsung. diperlukan untuk operasi sel bahan bakar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kimia sel bahan bakar digambarkan secara skematis

Sisi anoda dari membran teroksidasi, melepaskan dua elektron yang melewati sirkuit untuk memenuhi kebutuhan beban sel, sedangkan proton yang tersisa (H+) mengalir melalui membran ke sisi katoda. Reduksi O2 memisahkan molekul oksigen di sisi katoda, yang kemudian menggabungkan elektron dalam sirkuit dan proton dari membran untuk menghasilkan produk air H2O.

A. Reaksi sel bahan bakar

Dalam sel bahan bakar, reaksinya adalah:

Reaksi Anoda:

$2H_2+2O_2$.....$>2H_2O+4e^-$ (3.1)

Reaksi Katoda:

O_2+4e.....$>2O_2$ (3.2)

Reaksi keseluruhan:

$2H_2+O_2$.....$>2H_2O$ (3.3)

B. Manfaat Sel Bahan Bakar

1. Mereka mengubah energi kimia bahan bakar menjadi tenaga listrik dengan efisiensi 60%, dua kali lipat dari pembangkit listrik biasa.

2. Tidak adanya bagian yang bergerak dalam fungsi sel bahan bakar, kecuali blower udara (untuk O_2) dan pompa air, menghasilkan tingkat kebisingan yang lebih rendah, peningkatan efisiensi, dan polusi udara yang lebih rendah.

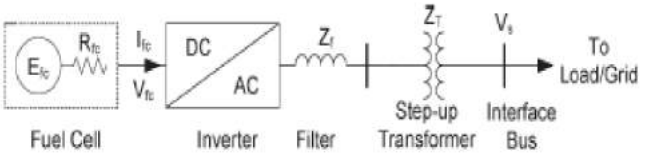
3. Pengoperasian sel bahan bakar tidak memerlukan pembakaran, menjadikannya sumber energi yang bermanfaat bagi lingkungan dengan emisi CO_2 yang rendah.

C. Kekurangan sel bahan bakar

Kelemahan nyata dari sel bahan bakar adalah bahwa seiring bertambahnya usia sel bahan bakar, impedansi internal tumbuh perlahan, mengharuskan penggunaan antarmuka elektronik daya untuk mengelola tegangan output, yang meningkatkan biaya.

III. Sistem Untuk Catu Daya Sel Bahan Bakar

Gambar 3.2 menunjukkan diagram garis tunggal dari sistem catu daya berbasis FC satu tahap yang diusulkan. NexaTM PEM FC menggunakan inverter PWM satu tahap diikuti oleh filter low-pass. Trafo step-up digunakan untuk memenuhi level tegangan yang sesuai karena FC beroperasi pada rentang tegangan rendah (26–48 V), dan tegangan beban/jaringan relatif tinggi (415Vrms). Ini juga berfungsi sebagai penghalang antara FC dan beban.



Gambar 2: Diagram garis tunggal pembangkit listrik sel bahan bakar

IV. Pengembangan sistem

A. Model FC

Termodinamika dan efisiensi kelistrikan sistem membantu kinerja FC lebih baik. Pemrosesan bahan bakar, pengelolaan air, dan kontrol suhu menentukan efisiensi termodinamika sistem. Namun, kerugian lain seperti kehilangan ohmik, kehilangan aktivasi, dan kehilangan konsentrasi mempengaruhi efisiensi listrik FC. FCS berbeda dalam atribut, bahan bangunan, dan penerapan aplikasi. Akibatnya, mengembangkan model FC yang akurat sangat penting. Model PEM FC berdasarkan persamaan termodinamika dan elektrokimia telah disajikan dalam literatur. Metode matematika untuk membuat model dinamis untuk tumpukan sel bahan bakar PEM dijelaskan. Asumsi berikut dibuat untuk menyederhanakan analisis.

a) Gas yang terdispersi sempurna,

b) Tekanan konstan dalam saluran aliran gas sel bahan bakar, dan

c) Bahan bakar yang dilembabkan dan udara yang dilembabkan sebagai oksidan. Asumsikan bahwa tekanan uap air anoda yang dapat diterima adalah 50% dari tekanan uap jenuh, dan tekanan air katoda adalah 100%.

d) Sel bahan bakar beroperasi pada 100 derajat Celcius, dan produk reaksinya cair.

e) Sifat termodinamika dihitung pada suhu rata-rata tumpukan, perubahan suhu diabaikan, dan kapasitas panas spesifik keseluruhan tumpukan adalah konstan.

f) Tumpukan sel bahan bakar diilustrasikan dengan menggabungkan sifat sel individu. Hubungan proporsional antara aliran gas dan tekanan parsial melalui katup dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{qHZ}{pHZ} = K_{H2} \qquad (3.4)$$

$$\frac{qH_2O}{pH_2O} = K_{H2O} \qquad (3.5)$$

Aliran intake, aliran yang berpartisipasi dalam reaksi, dan aliran output berkontribusi pada aliran molar hidrogen. Berikut ini adalah hubungan antara variabel-variabel tersebut:

$$\frac{d}{dt}P_{H_2} = \left(\frac{RT}{V_{an}}\right) \bullet \left(qH_2^{in} - qH_2^{out} - qH_2^{r}\right) \qquad (3.6)$$

Menurut hubungan elektrokimia mendasar antara aliran hidrogen dan arus tumpukan, persamaan berikut dapat ditulis:

$$qH_2 = \frac{NI}{2F} = 2K_r I_{FC} \qquad (3.7)$$

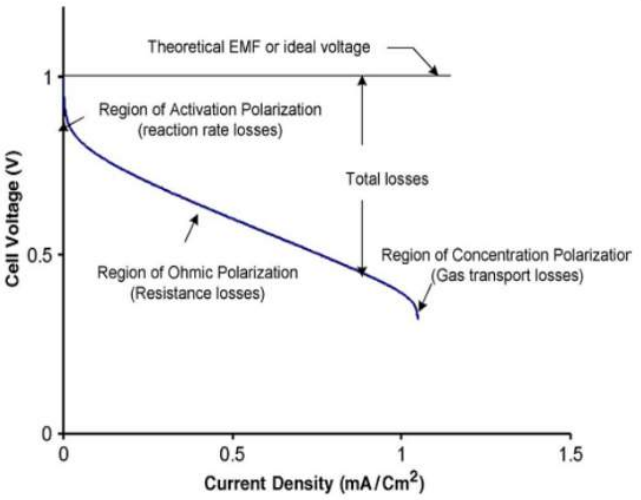
Jumlah tegangan Nernst, tegangan lebih aktivasi, dan tegangan lebih ohmik menghasilkan kurva polarisasi untuk sel bahan bakar PEM. Tegangan keluaran sel bahan bakar dapat dinyatakan dengan asumsi suhu konstan dan kandungan oksigen.

$$V_{cell} = E + \eta_{act} + \eta_{ohmic} \qquad (3.8)$$

Persamaan Nernst digunakan untuk menghitung tegangan tumpukan FC dalam kondisi berbeban (V_{dc_stack}), yang merupakan fungsi dari kerugian aktivasi (V_{act}), kehilangan konsentrasi (V_{con}), dan kerugian ohmik (V_{ohmic}).

$$V_{dcstack} = V_{open} - V_{ohmic} - V_{act} - V_{con} \qquad (3.9)$$

Model dinamis dari Ballard 1.2-kW FC dibuat di MATLAB/Simulink menggunakan informasi ini. Rugi ohmik menjadi kurang signifikan pada tingkat arus rendah, dan peningkatan tegangan keluaran terutama disebabkan oleh aktivitas reaksi kimia yang lamban. Tegangan turun drastis karena berkurangnya efisiensi pertukaran gas pada rapat arus yang sangat tinggi. Hal ini terutama disebabkan oleh banjir air yang berlebihan dalam katalis. Sebuah kemiringan linier berjalan antara daerah aktif dan konsentrasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3: Karakteristik polarisasi sel bahan bakar

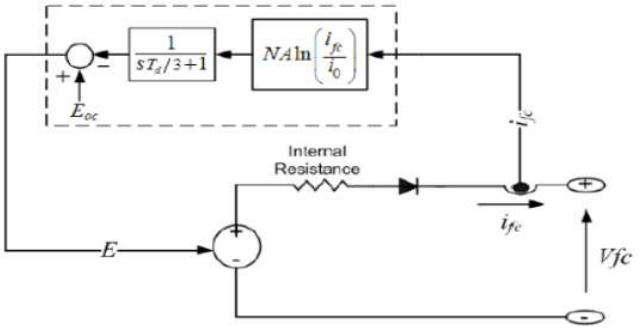
Telah ditemukan bahwa dengan mengatur resistansi internal yang diberikan oleh tumpukan FC di bawah situasi pembebanan yang berbeda pada temperatur dan tekanan hidrogen yang bervariasi, FC dapat dioperasikan secara substansial dalam area linier. Karakteristik keluaran Nexa™ FC telah diukur secara eksperimental hingga mendekati linier. Tegangan keluaran berkisar antara 26 hingga 29 V pada awal masa pakai pada daya pengenal (daya keluaran bersih sekitar 1,2 kW), dan arus sekitar 45A. Akibatnya, karakteristik keluaran FC dapat dilinierkan. Ini adalah persamaan linier:

$$V_{fclin} = V_{0lin} - R_{inlin} I_{fc} \qquad (3.10)$$

V_{fclin} mewakili tegangan keluaran linier, V_{0lin} mewakili tegangan linier tanpa beban (V_{0lin} = 39 V), R_{inlin} mewakili resistansi internal yang dilinierkan ($R_{inlin} = R_{fc} = 0.24$), dan Ifc mewakili arus FC. Akibatnya, resistansi internal ekivalen statis dapat dihitung sebagai 0,24. Rentang tegangan output didefinisikan sebagai 36–26 V dengan resistansi internal 0,24 untuk menentukan batas daya bawah dan atas dengan pembebanan minimum 360 W (10 A) hingga pembebanan maksimum 1170 W berdasarkan karakteristik FC linier (45 SEBUAH).

B. Model Sederhana

Model yang disederhanakan menggambarkan tumpukan sel bahan bakar tertentu yang beroperasi pada suhu dan tekanan standar. Untuk mencegah aliran arus negatif ke dalam tiang, digunakan dioda. Model ini didasarkan pada rangkaian ekivalen tumpukan sel bahan bakar yang digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 4: Sirkuit setara tumpukan sel bahan bakar

C. Desain Filter

Untuk menyaring harmonik yang ada dalam output inverter, filter LC dipasang sebelum transformator step-up. Harmonik orde terendah yang tersedia pada tegangan keluaran inverter pada frekuensi switching sekitar 4860 Hz adalah 4740 Hz. Untuk menghindari pelemahan frekuensi fundamental, frekuensi cutoff filter LC dapat diatur ke 1200 Hz, 20 kali lebih besar dari frekuensi fundamental dan hampir empat kali lebih rendah dari frekuensi switching (4860 Hz). Frekuensi resonansi dilambangkan dengan

$$f_C = 1/2\pi\sqrt{L_f C_f} = 1200\,Hz \qquad (3.11)$$

Kombinasi yang berbeda dari komponen filter dipilih berdasarkan ekspresi di atas. Dengan frekuensi cutoff 1200 Hz dan faktor Q 30, THDV dan THDI kurang dari 5%, dan rugi daya induktor kurang dari 1%.

V. Topologi Dan Skema Kontrol Konverter

A. Skema Dasar dan Topologi Konverter Daya

Gambar 2 menggambarkan diagram garis tunggal dari sistem catu daya berbasis sel bahan bakar satu tahap yang diusulkan. NexaTM PEM FC 1,2-kW 48-V dilengkapi dengan inverter PWM satu tahap dan filter low-pass. Trafo step-up digunakan untuk mencapai level tegangan yang sesuai karena FC beroperasi pada rentang tegangan rendah (26-48 V), dan tegangan beban/jaringan relatif tinggi. Ini juga berfungsi sebagai penghalang antara FC dan beban. Konverter jembatan PWM sumber tegangan enam sakelar bus tunggal dengan konversi dc-ac disarankan untuk aplikasi tiga fase yang cocok untuk antarmuka jaringan. Bridge menggunakan enam sakelar MOSFET tegangan rendah, sehingga hemat biaya dan efisien. Peralihan sinusoidal PWM (SPWM) lebih disukai di sini karena mengurangi jumlah komponen pasif; namun, ini memerlukan perangkat switching berkecepatan tinggi dan upaya kontrol yang lebih kompleks, yang tidak sulit untuk dicapai mengingat ketersediaan perangkat semikonduktor daya frekuensi tinggi dan alat kontrol modern seperti prosesor sinyal digital cepat.

Filter LC low-pass digunakan pada output PWM untuk pengurangan harmonik yang unggul dalam arus fasa dan tegangan output inverter. Ketika ditempatkan di sisi inverter, induktor filter memiliki peringkat arus yang tinggi, sedangkan kapasitor memiliki peringkat tegangan yang lebih rendah. Tegangan FC turun saat beban dinaikkan. Laju aliran hidrogen harus diatur dengan perubahan dalam kantong untuk mengoperasikan FC secara efisien. Namun, tergantung pada jenis sistem FC, pergeseran aliran ini mungkin merupakan prosedur yang panjang dengan konstanta waktu hingga 30 detik. Akibatnya, beberapa bentuk penyimpanan energi diperlukan. Serangkaian baterai dapat dipasang di seluruh tumpukan FC. Namun, bus dc yang diatur membutuhkan sirkuit tambahan.

Selain itu, jumlah sel dalam satu rangkaian mahal dan memiliki masa pakai yang singkat, sehingga memerlukan penggunaan sistem manajemen baterai yang mahal untuk pengoperasian yang aman [9], [10]. Menggunakan kapasitor/ultrakapasitor sebagai alternatif untuk baterai adalah pilihan yang memungkinkan. Kapasitor memiliki rentang tegangan yang lebih komprehensif dan dapat dihubungkan secara seri melintasi FC tanpa sirkuit tambahan. Ultrakapasitor memiliki kerapatan energi spesifik yang lebih rendah daripada baterai tetapi daya spesifik lebih tinggi daripada baterai. Ultracapacitors dapat menyimpan muatan untuk waktu yang lama. Ultracapacitors, tidak seperti baterai, memiliki waktu pengisian yang singkat dan umur yang jauh lebih lama. Namun, ada kekhawatiran besar dengan ketersediaan dan harga.

B. Strategi Kontrol

Karena tegangan FC sering rendah, sekitar 1,2 V, maka perlu untuk menumpuk banyak sel yang harus dihubungkan secara seri dan paralel untuk meningkatkan kapasitas daya. Gambar 3 menggambarkan fitur polarisasi FC yang khas. Karena sifat ohmik dari FC, ada zona linier di mana tegangan turun seiring dengan meningkatnya kerapatan arus. Wilayah ini dicirikan oleh resistansi internal yang disediakan oleh banyak komponen, sebuah fenomena yang dikenal sebagai polarisasi ohmik. Rugi ohmik menjadi kurang signifikan pada tingkat arus rendah, dan peningkatan tegangan keluaran terutama disebabkan oleh aktivitas reaksi kimia (waktu yang dibutuhkan untuk periode pemanasan). Akibatnya, wilayah ini kadang-kadang disebut sebagai polarisasi aktif. Tegangan turun drastis pada rapat arus yang sangat tinggi karena pengurangan efisiensi pertukaran gas; ini terutama disebabkan oleh meluapnya cairan dalam katalis, dan wilayah ini juga dikenal sebagai polarisasi konsentrasi. Indeks modulasi (ma) dari inverter PWM dapat dikontrol untuk mengatur penurunan tegangan FC dengan peningkatan arus yang ditarik (daya keluaran) sambil menjaga laju aliran hidrogen konstan, seperti yang ditunjukkan oleh

$$V_{ac} = m_a \cdot V_{dc} < \delta \qquad (4.1)$$

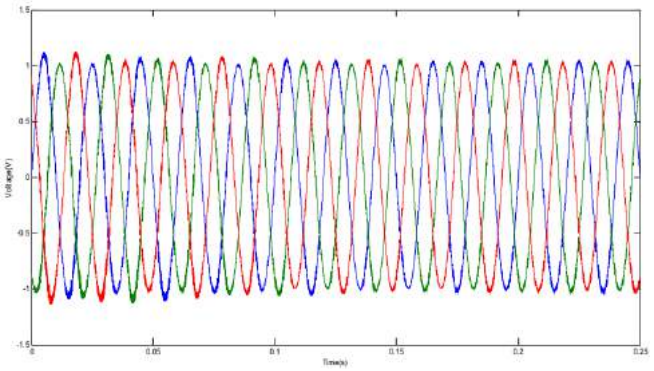
Tegangan keluaran ac adalah V_{ac}, tegangan keluaran FC adalah V_{dc}, indeks modulasi inverter adalah ma, dan sudut fasa inverter adalah.

Karena mengendalikan amplitudo tegangan keluaran saja tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan daya operasional beban, sudut fasa inverter juga diatur. Kedua variabel ini mempengaruhi penyesuaian daya transien (ma dan). Untuk mengatur daya kondisi tunak perlu, laju aliran hidrogen harus diubah. Indeks modulasi "ma" dikendalikan dengan membandingkan tegangan keluaran dengan perintah tegangan referensi, yang mengatur tegangan keluaran inverter dan aliran daya reaktif. Tegangan dibandingkan dengan tegangan referensi dan diproses dalam pengontrol proporsional-integral (PI), PID, dan Kontroler Logika Fuzzy untuk mengontrol tegangan keluaran inverter di lingkungan yang terhubung ke jaringan untuk mempertahankan aliran daya reaktif.

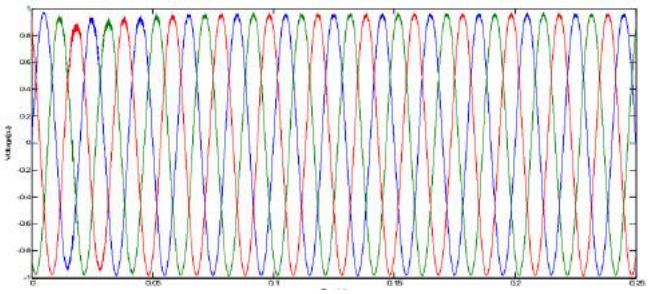
VI. Hasil Simulasi

Sebuah model simulasi untuk mengatur parameter konverter (ma dan) dalam loop tertutup dibangun di lingkungan MATLAB. Tegangan FC diterapkan ke inverter MOSFET melalui kapasitor dc-link. SPWM mengontrol inverter MOSFET pada frekuensi pembawa 4,86 kHz. Pada waktu sampling satu detik, rangkaian diskritisasi. Setelah penyaringan, output inverter PWM diterapkan ke transformator step-up. Tegangan beban diatur pada satu pu. (415 Vrms) memanfaatkan transformasi ABC-ke-dq dan dq-ke-abc oleh PI, PID, dan pengatur tegangan fuzzy. Tiga sinyal modulasi yang digunakan oleh generator PWM untuk

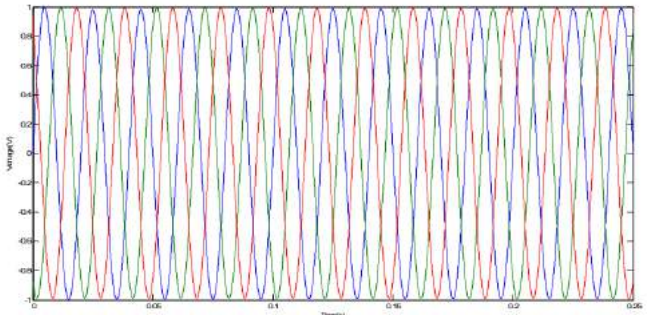
menghasilkan pulsa pengapian dihasilkan dengan mengalikan output regulator tegangan dengan vektor sinus referensi.



Gambar 5: Tegangan keluaran tiga fasa yang difilter menggunakan pengontrol PI.



Gambar 6: Tegangan keluaran tiga fasa yang difilter menggunakan kontroler PID.



Gambar 7: Tegangan keluaran tiga fasa yang difilter menggunakan Fuzzy Logic Controller.

VII. Kesimpulan

Dengan mengubah indeks modulasi dan sudut fasa, antarmuka elektronik daya satu tahap yang diusulkan mengelola variasi tegangan FC untuk perubahan beban yang sepadan. Sistem ini cocok untuk antarmuka jaringan/aplikasi mandiri karena nilai THD dari tegangan keluaran dijaga pada 0,47 persen menggunakan pengontrol logika fuzzy. Menurut simulasi, indeks modulasi menyesuaikan untuk memperhitungkan fitur penurunan FC untuk setiap fluktuasi beban dengan respons transien yang sangat baik. Selain itu, tegangan keluaran inverter disinkronkan dengan tegangan jaringan, membuat sistem siap jaringan. Karena THD dapat diturunkan dari nilai tinggi ke nilai rendah setelah penyaringan dan waktu penyelesaian minimal, pengontrol logika fuzzy adalah pengontrol optimal untuk sistem.

Referensi

[1] Shailendra Jain, Jin Jiang, Xinhong Huang, Member and Srdjan Stevandic, "Modeling of Fuel-Cell-Based Power Supply System for Grid Interface"Proc. IEEE, vol.48, no.4,pp. 1142- 1153, july/august 2012

[2] M. Farooque and H. C. Maru, "Fuel cell the clean and efficient power generators," Proc. IEEE, vol. 89, no. 12, pp. 1819–1829, Dec. 2001.

[3] M. L. Perry and S. Kotso, "A back-up power solution with no batteries," in Proc. IEEE IEEE Telecommun. Energy Conf., Sep. 19–23, 2004, pp. 210–217.

[4] M. W. Ellis, M. R. Von Spakovsky, and D. J. Nelson, "Fuel cell systems:Efficient,flexible energy conversion for the 21st century," Proc. IEEE, vol. 89, no. 12, pp. 1808–1818, Dec. 2001.

[5] M. C. Williams, "Fuel cells and the world energy future," in Proc. IEEE-PES Summer Meeting, Vancouver, BC, Canada, Jul. 15–19, 2001, pp. 725–730.

[6] J. Anzicek and M. Thompson, "DC–DC boost converter design for Kettering University's gem fuel cell vehicle," in Proc. IEEE Elect. Insul. Conf., 2005, pp. 307–316.

[7] W. Gao, "Performance comparison of a fuel cell-battery hybrid powertrain and a fuel cell-ultracapacitor hybrid powertrain," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 54, no. 3, pp. 846–855, May 2005.

[8] K. Rajashekara, "Power conversion and control strategies for fuel cell vehicles," in Proc. IEEE IECON, Nov. 2–6, 2003, vol. 3, pp. 2865–2870.

[9] G. K. Andersen, C. Klumpner, S. B. Kjter, and F. Blaabjerg, "A newgreen power inverter for fuel cells," in Proc. PESC, Jun. 23–27, 2002, pp. 727–733.

[10] T. A. Nergaard, J. F. Ferrell, L. G. Leslie, and J.-S. Lai, "Design considerations for a 48 V fuel cell to split single phase inverter system with ultracapacitor energy storage," in Proc. IEEE PESC, Jun. 23–27, 2002, vol. 2, pp. 2007–2012.

DOI: https://doi.org/10.52436/1.jpmi.20

Sosialisasi Pemanfaatan Energi Terbarukan Dan Pelatihan Teknologi Tepat Guna Berbasis Solarcell Untuk Pelajar SMPIT Ibnu Sina Merauke

Muhamad Rusdi*[1], Hariyanto[2], Cipto[3]
[1]Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Musamus, Indonesia
[2,3]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Musamus, Indonesia
*e-mail: rusdi_ft@unmus.ac.id[1], hariyanto_ft@unmus.ac.id[2], cipto@unmus.ac.id[3]

Abstrak

Konservasi energi merupakan langkah pemerintah untuk melestarikan sumber daya energi. Mengingat kebutuhan energi saat ini sebagian besar masih ditopang oleh energi fosil. Energi fosil adalah sumber daya alam seperti gas alam, batu bara dan minyak bumi yang semakin berkurang jumlahnya. Penggunaan energi fosil juga dapat menimbulkan polusi dan kerusakan alam yang signifikan. Energi terbarukan adalah energi ramah lingkungan yang menjadi topik bahasan belakang ini sebagai pengganti energi fosil. Namun, pemanfaatan energi terbarukan masih belum banyak diketahui masyarakat. Kesadaran dan perilaku hemat energi pada masyarakat juga masih kurang. Perlunya sosialisasi dan penyuluhan sejak dini kepada masyarakat sebagai sarana untuk mendukung langkah pemerintah dalam konservasi energi dan pemanfaatan energi terbarukan. Dengan program pengabdian kepada masyarakat dana hibah lembaga LP2M Universitas Musamus, kami sebagai bagian dari Civitas akademik kampus Universitas Musamus melakukan program Pengabdian Kemitraan Masyarakat (PKM) sebagai sarana dalam membantu permasalahan tersebut. Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilakukan di SMPIT Ibnu Sina Merauke sebagai mitra dan langkah awal sosialisasi masyarakat sejak dini. Adapun teknis kegiatan ini dilakukan dengan memberikan sosialisasi dan penyuluhan tentang pentingnya konservasi energi dan pemanfaatan energi terbarukan. Selain itu, kegiatan ini juga meliputi pelatihan Teknologi tepat guna berbasis solar cell guna meningkatkan minat dan softskill peserta. Hasil evaluasi yang dilakukan mencapai 53% dari akurasi evaluasi tingkat pemahaman peserta mengenai perilaku hemat energi dan teknologi tepat guna berbasis energi terbarukan.

***Kata kunci**: Energi Terbarukan, Konservasi Energi, Solar Cell, Teknologi Tepat Guna.*

Abstract

Energy conservation is a government step to conserve energy resources. Current energy needs are still largely supported by fossil energy. Fossil energy refers to natural resources such as natural gas, coal and petroleum, which have fewer errors. The use of fossil energy can also cause significant pollution and natural damage. Renewable energy is environmentally friendly energy which is the topic of discussion as fossil energy. However, the use of renewable energy is still unknown to the public. There is also a lack of awareness and energy-saving behavior in the community. The need for early socialization and outreach to the community as a means to support government steps in energy conservation and utilization of renewable energy. With a community service program with a grant from the Musamus University LP2M institution, we as part of the Musamus University campus academic community carry out the Community Partnership Service (PKM) program as a means of helping these problems. This community service activity was carried out at SMPIT Ibnu Sina Merauke as a partner and the first step in community socialization from an early age. The technical technicalities of this activity are carried out by providing socialization and counseling on the importance of energy conservation and the use of renewable energy. In addition, this activity also includes training on appropriate technology based on solar cells to increase interest and soft skills participants. The results of the evaluation reached 53% of the evaluation of the level of understanding of the participants regarding the behavior of energy and appropriate technology based on energy.

***Keywords**: Appropriate Technology, Energy Conservation, Renewable Energy, Solar Cell.*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi fosil masih menjadi pemasok utama pembangkit listrik ataupun transportasi yang digunakan untuk saat ini dikarenakan meningkatnya aktifitas dan kebutuhan manusia. Namun, energi fosil juga berperan dalam meningkatkan polusi udara dan mengakibat kerusakan alam yang cukup besar. Permasalahan yang ditimbulkan karena penggunaan energi

DOI: https://doi.org/10.52436/1.jpmi.20

fosil mendorong negara-negara berkembang untuk melakukan penelitian mengenai sumber energi yang lebih ramah lingkungan. Pemanfaatan energi terbarukan saat ini berkembang pesat sebagai pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi surya, angin, air dan panas bumi [1]. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang banyak digunakan dan sesuai dengan potensi di Kabupaten Merauke yaitu angin dan surya. Khususnya energi surya, Kabupaten Merauke memiliki 800 – 2000 W/m2 rata-rata radiasi energi matahari yang dihasilkan dengan 10-14 W daya listrik konstan [2]. Pemanfaatan energi surya dapat dilakukan dengan menggunakan solar cell yang berfungsi sebagai piranti yang mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atau sebagai pembangkit energi listrik tenaga surya (PLTS) [3][4][5]. Dimana PLTS banyak diaplikasikan pada skala rumah sebagai pemasok utama energi listrik atau mode terhubung jaringan PLN [3][6]. Pada skala yang lebih kecil Solar Cell juga dapat diterapkan sebagai pengisi daya baterai *Handphone* [7][8][9].

Persoalan diatas menunjukkan bagaimana perlunya kesadaran masyarakat tentang perilaku hemat energi dan meningkatkan wawasan masyarakat mengenai peran penting energi terbarukan dalam penghematan energi dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Peralihan energi bukan hal yang mustahil dilakukan untuk membangun desa ataupun kota mandiri energi. Terlebih lagi didukung dengan adanya kebijakan pemerintah tentang pemanfaatan energi terbarukan. Hal tersebut perlu didorong dengan melakukan sosialisasi dan pelatihan kepada masyarakat[10]. Selain itu, pemerintah melalui Kementerian ESDM telah melakukan sosialisasi mengenai konservasi energi dilingkungan sekolah guna menanamkan paradigma berperilaku hemat energi sejak dini [11].

Pengabdian kemitraan masyarakat dengan mengadakan sosialisasi tentang peran energi terbarukan dalam mewujudkan desa ataupun kota mandiri energi serta memberikan pelatihan atau *workshop* yaitu pemanfaatan energi terbarukan berbasis solar cell sebagai media *charger handphone*. Kegiatan ini dilaksanakan disekolah SMPIT IBNU SINA Merauke dalam upaya atau langkah yang dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan menanamkan kesadaran perilaku hemat energi sejak dini.

2. METODE

Metode pelaksanaan yang digunakan pada pengabdian ini terdiri dari 3 tahapan yaitu : Diskusi dan Observasi, Sosialisasi dan penyuluhan, Pelatihan dan Perancangan produk. Adapun uraian dari tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut :

1) Metode Diskusi dan Observasi : Pengabdian ini diawali dengan proses komunikasi dengan kepala sekolah dari SMPIT Ibnu Sina Merauke untuk memperoleh informasi dan perijinan dari mitra untuk melakukan peninjauan lokasi.
2) Metode Sosialisasi dan penyuluhan : Memberikan sosialisasi kegiatan dengan menjelaskan tahapan-tahapan dari kegiatan yang dilakukan. Memberikan penyuluhan tentang pentingnya perilaku hemat energi dan pemanfaatan energi terbarukan.
3) Metode Praktik dan *Drill* : Setelah penyuluhan, pemberian materi dan demonstrasi diberikan peserta diberikan pelatihan dengan mempraktekkan langsung sesuai dengan materi dan demonstrasi yang diberikan. Hal tersebut dilakukan untuk membantu peserta dalam memahami materi. Kegiatan pelatihan meliputi pengenalan bahan dan peralatan yang digunakan dalam melakukan perancangan produk (Teknologi tepat guna berbasis solar cell).

Tabel 1. Jadwal Pelaksanaan Pengabdian

Jenis Kegiatan	Waktu
Survei dan analisis situasi	28 September 2020
Sosialisasi Pemanfaatan energi terbarukan	14 Oktober 2020
Pelatihan Pemanfaatan energi surya berbasis solar cell	15 Oktober 2020
Evaluasi & Monitoring	19 Oktober 2020

DOI: https://doi.org/10.52436/1.jpmi.20

Adapun kegiatan pengabdian ini dilaksanakan selama 2 bulan yaitu dari bulan September sampai Oktober 2020 bertempat di SMPIT Ibnu Sina Merauke. Tabel 1 menunjukkan jadwal kegiatan pengabdian kepada masyarakat (PKM).

Kegiatan pengabdian dilaksanakan dalam beberapa tahapan pelaksanaan dimulai pada tanggal 28 September 2020 dengan kegiatan yaitu survei dan analisis situsi yang berupa proses komunikasi dengan mitra khususnya kepala sekolah SMPIT Ibnu Sina Merauke guna memperoleh informasi baik itu berupa kebutuhan mitra maupun permasalahan mitra dan perizinan untuk melaksanakan kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Selanjutnya, pelaksanaan kegiatan yang dilakukan yaitu sosialisasi pemanfaatan energi terbarukan pada tanggal 14 Oktober 2020 dan dilanjutkan dengan pelatihan pemanfaatan energi surya berbasis solar cell pada tanggal 15 Oktober 2020. Evaluasi dan monitoring kegiatan pengabdian dilaksanakan pada tanggal 19 Oktober 2020 berupa pemberian kuis atau soal mengenai pemanfaatan energi terbarukan dan konservasi energi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pelaksanaan Kegiatan

Tahapan Pelaksanaan ini dibagi dalam beberapa tahapan yang disusun berdasarkan urutan kegiatan pengabdian yang telah dilakukan. Adapun tahapan pelaksanaan yaitu :

- Sosialisasi Pemanfaatan Energi Terbarukan

Sosialisasi Pemanfaatan Energi Terbarukan dilakukan dengan menggunakan media online (Seminar Online) melalui Google meet seperti yang di tunjukkan pada gambar 2. Hal tersebut untuk sebisa mungkin menghindari kerumunan atau kontak langsung akibat mewabahnya Covid-19 yang melanda Indonesia. Kegiatan ini diikuti oleh Guru dan Murid SMPIT Ibnu Sina Merauke. Materi Sosialisasi menyangkut tentang krisis energi, pengenalan sumber energi terbarukan, pemanfaatan energi terbarukan dan konservasi energi.



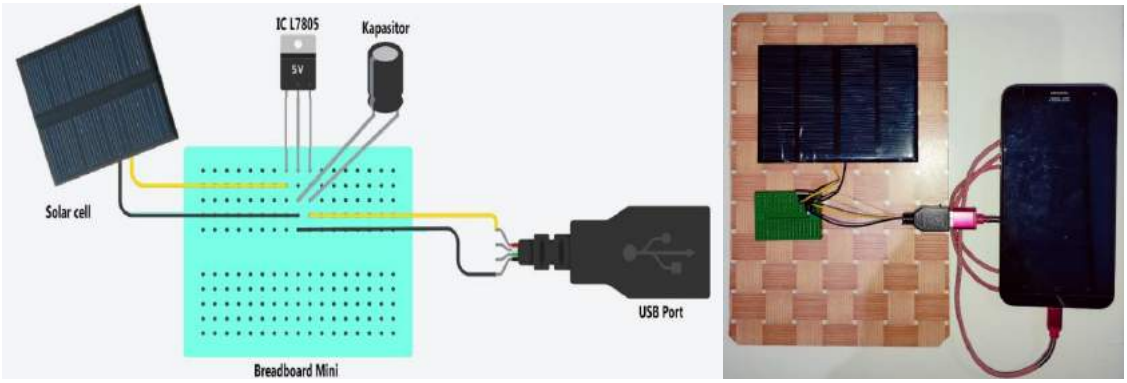
Gambar 2. Kegiatan Sosialisasi Pemanfaatan Energi Terbarukan (Seminar Online).

- Pelatihan Pemanfaatan Energi Terbarukan Berbasis Solar Cell

Modul training solar cell sebagai media *charger handphone* merupakan produk Teknologi Tepat Guna (TTG) yang dapat digunakan sebagai bahan praktek bagi siswa-siswi atau peserta pada program pengadian ini. Diharapkan dengan adanya sosialisasi dan pelatihan ini dapat meningkatkan perilaku hemat energi dan mengenalkan mereka tentang pemanfaatan energi terbarukan khusus energi matahari.

Vol. 1, No. 3 Juni 2021, Hal. 79-84
DOI: https://doi.org/10.52436/1.jpmi.20

Gambar 3 menunjukkan skematik dan prinsip kerja dari modul training solar cell sebagai media *charger handphone* yaitu memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan solar cell. Energi listrik yang dihasilkan solar cell kemudian melalui komponen IC 7805 untuk membatasi tegangan yang keluar sesuai dengan spesifikasi tegangan pada *handphone*.



Gambar 3. Skematik & Instalasi Modul training solar cell sebagai media *charger handphone.*

Pada Pelatihan ini Peserta Dibagi menjadi 5 Kelompok yang terdiri dari 5 orang seperti yang diperlihatkan pada gambar 4. Tentunya Kegiatan Pelatihan ini disesuaikan dengan standar pencegahan covid-19. Dimana peserta diwajibkan untuk menggunakan masker handsanitizer/mencuci tangan sebelum memasuki ruangan. Hasil dari perakitan modul training kemudian diuji coba oleh peserta seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 4. Perakitan Modul training solar cell sebagai media *charger handphone.*

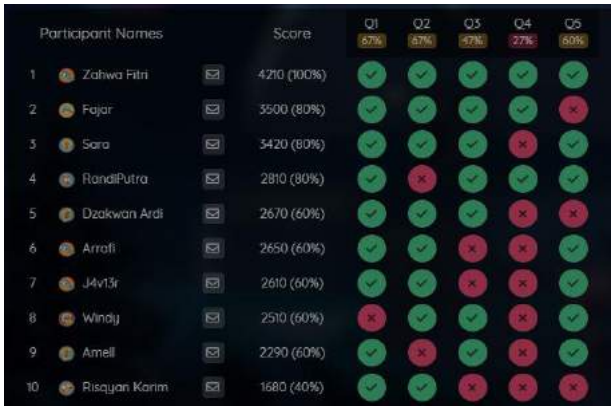


Gambar 5. Pengujian Modul training solar cell sebagai media *charger handphone.*

DOI: https://doi.org/10.52436/1.jpmi.20

b. Monitoring & Evaluasi

Pada Tahapan ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil dari kegiatan pengabdian yang telah dilakukan. Evaluasi tingkat pemahaman peserta mengenai pemanfaatan energi terbarukan dengan melakukan uji/kuis yang dilakukan secara online melalui Quizizz.com. Penilaian di lakukan pada 15 peserta yang mengikuti evaluasi dengan hasil yang di peroleh sebesar 53 % akurasi peserta menjawab soal dengan benar 3 dari 5 soal yang diberikan seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Daftar 10 Besar Peserta yang mengikuti Kuis.

4. KESIMPULAN

Simpulan Sosialisasi dan pelatihan pemanfaatan energy terbarukan di SMPIT Ibnu Sina Merauke telah terlaksana. Peserta Sosialisasi dan pelatihan memahami dan mampu dalam menerapkan pemanfaatan energy terbarukan. Selain itu, menambah kesadaran peserta dalam berperilaku hemat energi dengan hasil 53% dari akurasi evaluasi pemahaman peserta. Adanya Teknologi Tepat Guna berbasis solar cell sebagai luaran yang dapat menjadi bahan pembelajaran mengenai pemanfaatan energy terbarukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah berkontribusi dalam terlaksananya program pengabdian kepada masyarakat ini. Khususnya kepada pihak dari SMPIT IBNU SINA Merauke sebagai mitra pengabdian dan Universitas Musamus Merauke melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) dalam hal pendanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] IESR, “Energi kita,” *Institute for Essential Services Reform (IESR)*, no. November, 2019.

[2] D. Hardiantono and F. H. Sumbung, “Rancang Bangun Unit Pembangkitan Dan Modul Pengukurannya Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Angin Dan Matahari),” *Mustek Anim Ha*, vol. 5, no. 3, pp. 231–245, 2016, doi: 10.35724/mustek.v5i3.629.

[3] M. Rusdi, F. A. Samman, and R. S. Sadjad, “FPGA-based electronic pulse generator for single-phase DC/AC inverter,” in *2019 International Conference on Information and Communications Technology, ICOIACT 2019*, pp. 756–760, 2019, doi: 10.1109/ICOIACT46704.2019.8938571.

[4] W. H. Piarah, Z. Djafar, Hariyanto, and Mustofa, “A new simulation of photovoltaic and

DOI: https://doi.org/10.52436/1.jpmi.20

thermoelectric generator hybrid system with a beam splitter cold and hot mirror for low intensity," *Int. Rev. Mech. Eng.*, vol. 13, no. 9, pp. 559–567, 2019, doi: 10.15866/ireme.v13i9.17884.

[5] M. Rusdi, F. A. Samman, R. S. Sadjad, A. E. Umraeni Salam, and C. Machbub, "Standalone Single Phase DC-AC Inverter with FPGA-based Pulse Modulated Generator Unit," in *2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, pp. 7–12, Jul. 2020, doi: 10.1109/ISITIA49792.2020.9163770.

[6] Z. Fuadi, M. Ashari, F. A. P, and A. Photovoltaic, "Perancangan dan Simulasi Full Bridge Inverter Lima Tingkat dengan Dual Buck Converter Terhubung Jaringan Satu Fasa," *J. Tek. Pomits*, vol. 3, no. 1, pp. 2337-3539 (2301-9271), 2014.

[7] W. Rotib, "Aplikasi Sel Surya Sebagai Energi Alternatif," *Inst. Sci. Technol. Stud.*, vol. 4 no.1, pp. 1–8, 2001.

[8] G. R. F. S. Sugeng Haryadi, "Rancang Bangun Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Charger Handphone Di Tempat Umum," *Tek. mesin UNISKA*, vol. 02, no. 02, pp. 114–120, 2016.

[9] S. Hidayat, "Pengisi Baterai Portable Dengan Menggunakan Sel Surya," *J. Energi Kelistrikan*, vol. 7, no. 2, pp. 137–143, 2015.

[10] H. Prasetijo, A. Fadli, P. B. Santoso, and W. H. Purnomo, "Workshop Penggunaan Microsoft Office Sebagai Penunjang Keterampilan Hard Skill Siswa Pendidikan Dasar," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Indonesia (JPMI)*, vol. 1, no. 1, pp. 7–15, 2021.

[11] I. D. Kosambi, R. A. Diantari, T. Darmana, and S. Hidayat, "Sosialisasi Energi Baru Terbarukan Untuk Pelajar SMP Annida Al," *Terang*, vol. 1, no. 2, pp. 105–112, 2019.

Jurnal Gema Ngabdi
Available online http:// gemangabdi.unram.ac.id
p-ISSN : 2656-6516, e-ISSN : 2656-8098

Vol. 1 No.1 pp:22-26
Maret 2019
DOI: https://doi.org/10.29303/jgn.v1i1.13

SOSIALISASI POTENSI ENERGI TERBARUKAN ANGIN (BAYU) ANTARA UNIVERSITAS MATARAM (UNRAM) BEKERSAMA DENGAN UVERSITAS TEKNOLOGI SUMBAWA (UTS) DI PULAU SUMBAWA

Made Sutha Yadnya[1], Teti Zubaidah[2], Abdullah Zainuddin[3], Bulkis Kanata[4], Paniran[5]
[1]Electrical Enginnering, PUI Geomagnetic Laboratory, the University of Mataram, Lombok , Indonesia.
[12345]Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram, NTB, Indonesia

Article history
Received: 12 Maret 2019
Revised: 15 Maret 2019
Accepted: 20 Maret 2019

*Corresponding Author:
Made Sutha Yadnya,
Electrical Enginnering, PUI Geomagnetic Laboratory, the University of Mataram, Lombok , Indonesia;
Email: msyadnya@unram.ac.id

Abstract: National Energy Policy, is to increase energy diversification through efforts to use renewable energy such as renewable non-fossil fuels, especially wind energy until 2025. By utilizing renewable energy, the dependence on fossil fuels on the national energy supply system can decrease. Sumbawa Island has the potential for wind energy around 220 KW (assuming each location is built 10 units)
Keywords: energy, wind, renewable.

Abtrak: Kebijakan Energi Nasional, adalah meningkatkan diversifikasi energi melalui upaya pemanfaatan energi terbarukan seperti terbarukan non fosil terutama energi angin (bayu) sampai tahun 2025. Dengan memanfaatkan energi terbarukan ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil pada sistem penyediaan energi nasional dapat menurun.. Pulau Sumbawa potensi energi angin sekitar 220 KW (dengan asumsi masing-masing lokasi dibangun 10 unit)
Kata kunci: energi, angin, terbarukan

PENDAHULUAN

Energi merupakan kekuatan serta ketahanan bagi suatu negara. Indonesia memiliki sejarah energi yang dimulai pada akhir abad ke-19, ketika beberapa perusahaan Belanda mendirikan pembangkit tenaga listrik untuk keperluan sendiri. Pengusahaan tenaga listrik tersebut berkembang menjadi untuk kepentingan umum, diawali dengan perusahaan swasta Belanda yaitu NV. Kincir angin yang pertama dibangun pada masa pemerintahan. Kincir angin kuno itu memiliki 8 sirip yang berputar secara vertical mirip putaran gasing. Fungsi kincir angin untuk menggiling jagung, gandum, tebu, serta memompa air. Lalu Kincir angin digunakan kembali untuk membangkitkan listrik dibangun di Denmark diahir abad ke-19. Setelah perang dunia (PD I) , layar dengan penampang melintang menyerupai sudut propeler pesawat sekarang disebut kincir angin type *propeler' atau turbin.* Untuk cuaca ekstrim yang terjadi di Indonesia sering terjadi namun dapat diatasi dengan memgklasifikasikan yang stabil (stasioner) dan non sttabil (non stasioner) Yadnya (2008).

Pada jaman kemerdekaan salah satu langkah awal yang pemerintah lakukan adalah dengan membuat blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006 – 2025 (Keputusan Presiden RI nomer 5 tahun 2006). Secara garis besar, dalam blueprint tersebut ada dua macam solusi yang dilakukan secara bertahap hingga tahun 2025, yaitu peningkatan efisiensi penggunaan energi (penghematan) dan pemanfaatan sumber-sumber energi baru (diversifikasi energi). Mengingat rasio elektrifikasi yang masih relatif rendah, yaitu 63 % pada tahun 2005, sedangkan Indonesia menargetkan rasio elektrifikasi

95 % pada tahun 2025. Tenaga listrik kini merupakan landasan bagi kehidupan modern, dan tersedianya dalam jumlah dan mutu yang cukup menjadi syarat bagi suatu masyarakat yang memiliki taraf kehidupan yang baik dan perkembangan industri yang maju. Dalam merencanakan suatu sistem penyediaan tenaga listrik, lokasi fisik pusat tenaga listrik, saluran transmisi dan gardu induk perlu ditentukan dengan tepat, agar dapat diperoleh suatu sistem yang baik, ekonomis dan dapat diterima masyarakat. Berikut adalah skematis Prinsip Penyediaan Tenaga Listrik Casindo(2011).

Sosialisasi potensi PLTB di daerah Pulau Sumbawa untuk ketersediaan energi listrik di NTB belum sepenuhnya merata, khususnya bagi warga yang kurang mampu dan tinggal di atas perbukitan. Kondisi jalan yang gelap gulita di malam hari menyebabkan tingginya tingkat kriminalitas dan kurang optimalnya jam belajar siswa di rumah. Sebuah kincir angin berkapasitas 1000 Wp (Hibah dari KemenRistek) telah dipasang dan akan dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan penerangan serta menjalankan pompa air di sumur umum warga. Ini perlu disosialisasi bahwa sebenarnya NTB mempunyai potensi PLTB yang baik, serta cukup berlimpah agin yang melintas pada daerah NTB.

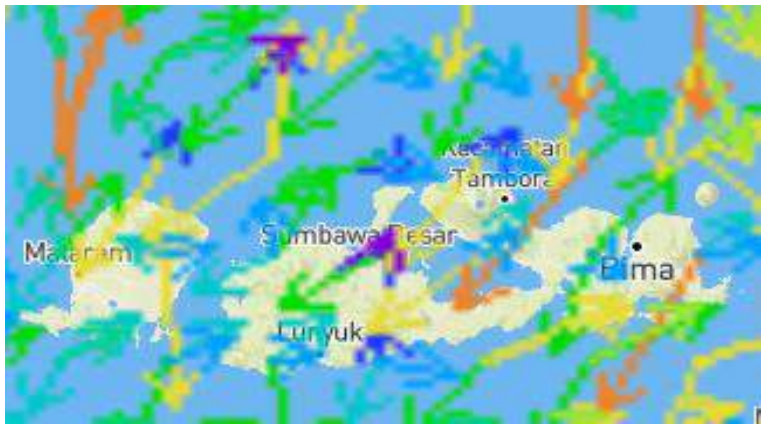
METODE

Dalam Kebijakan Energi Nasional, salah satu kebijakan utama pengembangan energi nasional adalah meningkatkan diversifikasi energi melalui upaya pemanfaatan energi terbarukan seperti panas bumi, tenaga air, energi surya, energi angin dan biomassa minimal sebesar 17 % dari total energy mix pada tahun 2025. Dengan memanfaatkan energi terbarukan ketergan tungan penggunaan bahan bakar fosil pada sistem penyediaan energi nasional dapat menurun. Selain itu, isu pemanasan global yang dikaitkan dengan konsumsi bahan bakar fosil menjadi salah satu alasan untuk mengurangi tingkat penggunaan bahan bakar fosil.Mengingat peran energy terbarukan yang sangat penting dalam system penyediaan energi nasional, diperlukan kebijakan yang mendukung keberlanjutan pelaksanaannya Casindo (2010).

Tampilan citra satelit Himawari, satelit yang memberikan infornasi angin utamanaya pada daerah Nusa Tenggara Barat dapat dilihat pada gambar 1. Adapun Derah Pulau Sumbawa mempunyai karakteristik dengan arah timur-barat dan ada beberapa lembah yang berarah utama timur laut – barat daya dan bara tlaut - tenggara. Di Teluk Saleh merupakan lekuk terbesar potensial terhadap energi terbarukan agin (bayu) Pulau Sumbawa ini menjadi dua bagian, yaitu Sumbawa Barat dan Timur. Bagian utara pulau terdiri atas jalur gunungapi Kuarter dengan puncak tertinggi 2851 m yakni Gunung Tambora. Bagian selatan terdiri dari punggungan-punggungan yang kasar dan tidak beraturan, tersayat oleh sistem perlembahan berarah utama timur laut - barat daya. Ketinggian perbukitan berkisar antara 800 – 1400 m di atas permukaan laut. Lugra (2003).

Untuk melaksankan sosilisasi dalam rangka menjalankan Tri Dharma Perguruan Tinggi yakni pengabdian, maka kecil Tim PUI membagikan pengalamana dalam pemasangan tower kincir angin dan pemanfaatan yang telalah dapat dipergunakan di Desa Sade, Rembitan, Lombok Tengah yang berdekatan dengan Observatorium milik Universitas Mataram. Pemasangan turbin tersebut pada tahun 2016 menggunakan Hibah Iptek Bagi Mayarakat Zubaidah et all(2017).

Contoh pemasangan turbin dapat dilihat pada gambar. 2 yang telah dilaksanakan. PUI Geomagnetikyang cikal bakalnya dari Lombok Observatorium yang meneliti tentang anomaly magnet bumi sebagi precursor gempa. Pengurusnya merupakan sebagian besar dari Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram. PUI mempunyai data serta analisis data untuk informasi yang berintegrasi dengan BMKG, Lapan, GFZ, secara mendunia Zubaidah et all(2018).



Gambar. 1 Cirta Satelit Potensi Angin Nusa Tenggara Barat 2018

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perjalanan ke Sumbawa memakan waktu 2 hari serta transportasi yang cukup lama. Dari Mataram ke Pelabuhan Kayangan 3 jam, serta dari Pototano ke Sumbawa Besar 2 jam. Ternyata Universitas Teknologi Sumbawa (UTS) berada di hutan yang sangat asri dan mempunyai nilai edukasi yang tinggi. Potensi sangat besar untuk pengembangan energi alternate. Namun semua itu akan hilang apabila terjadi bencana gempa bumi. Adapun bahaya yang mengancam ini pertu di mitigasi dengan baik. Potensi energi bumi dengan lempeng yang bergerak menyebabkan terjadinya gempa. Sosialisasi kegempaan yang dilakukan.

Dari hasil studi pemetaan angin yang akan disimulasikan dipasang di Pulau Sumbawa mengacu dari hasil yang telah dilakukan di Pulau Lombok terdapat potensi energi angin kurang lebih 60 KW (dengan asumsi masing-masing lokasi dibangun 10 unit), sedangkan Pulau Sumbawa potensi energi angin sekitar 220 KW (dengan asumsi masing-masing lokasi dibangun 10 unit) lokasi yang berbeda. Pengabdian ini mengingatkan bahwa ada potensi angin di Pulau Sumbawa yang belum termanfaatkan. Potensi ini baru terelisasi apabila ada investor baik dalam maupun luar negeri yamg mau menanamkan modal dan sebagai institusi perguruan tinggi bekerjasama antara Universitas Mataram dan Universitas Teknlologi Sumbawa.



Gambar 2 Pemasangan Turbin

Pelaksanaan dilaksanakan langsung di Universitas Teknologi Sumbawa di Pulau Sumbawa dengan dengan dilengkapai peningkatan kemampuan dari masing-masing individu dan perancangan survai:

- ✓ Diskusi dengan warga dan tokoh masyarakat.
- ✓ Survey lokasi dan pemilihan lokasi kegiatan bersama masyarakat setempat. Pengukuran kecepatan angin dan energi listrik yang dihasilkan.
- ✓ Penyiapan alat dan bahan, serta pengujian di Lab. EBT.
- ✓ Analisa generator yang akan digunakan di lokasi, merencananak instalasi listrik dari turbin angin sampai ke beban.
- ✓ Sosialisasi penggunaan dan perawatan fasilitas pembangkit listrik tenaga angin bagi warga di sekitar lokasi. Monitoring dan evaluasi (administratif dan di lokasi) dapat dilihat pada gambar. 3 dan gambar. 4.
- ✓ Publikasi hasil-hasil pengabdian masyarakat



Gambar 3. Teti Zubaidah sedang Sosialisasi Energi Angin (Bayu)

Gambar 3 menjelaskan bahwa ada potensi angin(bayu yang belum dieksekusi di Pulau Sumbawa dengan menampilkan data data yang tersedia. Pada Gambar 4 peserta dan pembicara dengan menampilkan software untuk menghitung potensi angin pada setiap titik tujuan, Tujuan yang dihitung barulah posisi kincir di tepi pantai (garis pantai)



Gambar. 4 Peserta Sosialisasi Angin di Universitas Teknologi Sumbawa.

KESIMPULAN

Setelah melaksanakan pengabdian di Universitas Teknologi Sumbawa (UTS) khusus pada Jurusan Teknik Elektro, memberikan gambaran dan UTS dan Universitas Mataram (Unram) siap membantu jika ada pekerjaan dan instalasi pemasangan tower dan turbin pembangkit listrik tenaga agin (bayu0 di Pulau Sumbawa oleh Pemerintah Pusat atau Daerah, ataupun lembangan non pemerintahan untuk menambah daya catuan di Pulau Sumbawa yang saat ini masih mengandalkan enrgi fosil.

Enirgi terbarukan dengan memanfaatkan agin (bayu0 yang perlu diperhatikan asupan angin yang konstan dan baterai yang dipakai menyimpan dilihat umur atau waktu (*life time*). Dalam invertasi energi terbarukan membutuhkan bianya yang cukup besar dan pemeliharaan yang effektif serta effisien.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada PUI Geomagnetik Dosen, Laboran, Asisten dan Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas yang telah membantu dan menfasilitasi dalam menyelesaikan makalah ini. Pembiayaan untuk publikasi ini sepenuhnya menggunakan dana mandiri yang dikumpukan dari setoran setiap anggota Pengabdian pada Masyarakat. Semoga makalah ini dapat inspirassi dari kegiatan-kegiatan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Casindo (2011) ‘ Rencana Aksi Energi Terbarukan Provinsi Nusa Tenggara Barat Tahun 2010-2025’ Laporan Jurnal Agustus 2011 D-25

Lugra I.W, Wahib A., Zuraida R., (2003) Peluang Pengembangan Wilayah Pesisir Pantai Sumbawa Barat, Nusa Tenggara Barat Ditinjau dari Aspek Karakteristik dan Gejala Perubahan Garis Pantai Jurnal Geologi Kelautan, vol. 1, no. 2, September 2003 : 1 – 12.

Yadnya M.S.,(2008) , “***Akaike Information Criteria Application to Stationary and Nonstationary Rainfalls for Wireless Communication Channel in Surabaya***” 1858-1633 , ICTS 2008 Surabaya

Zubaidah T., Kanata B., Yadnya M.S.,(2017) “***Engaging Community in Develoving Elektrical Wind Power in Rembitan Village Central Lombok”*** .International Conference QiR University of Indonesia volume 1.

Zubaidah T.., Kanata B.., Yadnya M.S., Riskia S., (2018) “***Earth Magnetic Fields Evolution over Nusa Tenggara Region from Declination and Inclination Changes on Lombok Geomagnetic Observatory”*** .International Conference AEMT, IEEE Explore : 2018 2nd International Conference on Applied Electromagnetic Technology.

.

Jurnal Pengembangan Energi Nuklir
Laman Jurnal: jurnal.batan.go.id/index.php/jpen

Status Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan dan Opsi Nuklir Dalam Bauran Energi Nasional

Ruslan*
Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN), Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta-Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Diterima:
15 Desember 2020
Diterima dalam bentuk revisi:
21 Mei 2021
Disetujui:
14 Juni 2021

Kata kunci:
EBT
KEN
nuklir
gas rumah kaca

ABSTRAK

STATUS PEMANFAATAN ENERGI BARU TERBARUKAN DAN OPSI NUKLIR DALAM BAURAN ENERGI NASIONAL. Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) mentargetkan pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan paling sedikit 31% pada tahun 2050. Pada tahun 2019 realisasi pemanfaatan EBT baru mencapai 9,15% atau baru mencapai 39,8% dibandingkan dengan target pada tahun 2025. Sementara itu di dalam KEN energi nuklir ditetapkan sebagai pilihan terakhir dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui status pengembangan EBT di Indonesia dikaitkan dengan pencapain target yang telah ditetapkan dalam KEN dan opsi pemanfaatan energi nuklir dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah studi referensi atas data sekunder dari bahan pustaka/publikasi/dokumentasi, untuk selanjutnya dilakukan komparasi terkait studi yang dilakukan tersebut dan dilakukan analisa kuantitatif dan kualitatif atas beberapa indikator atau parameter yang ditetapkan. Hasil penelitian menunjukkan realisasi penyediaan energi primer, pemanfaatan EBT dan penyediaan pembangkit tenaga listrik sampai dengan tahun 2019 masih lebih rendah daripada yang ditargetkan. Untuk mencapai target yang ditetapkan dalam KEN pada tahun 2025 dan 2050 perlu ada perbaikan arah kebijakan dan konsistensi dalam pelaksanaannya. Energi nuklir diperkirakan bisa dimanfaatkan setelah tahun 2030 untuk memenuhi kebutuhan energi nasional dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

ABSTRACT

STATUS OF NEW RENEWABLE ENERGY UTILIZATION AND NUCLEAR OPTIONS IN THE NATIONAL ENERGY MIX. Government Regulation Number 79 of 2014 concerning National Energy Policy (NEP) targets the use of New and Renewable Energy (NRE) in the national energy mix of at least 23% in 2025 and at least 31% in 2050. In 2019 the realization of the use of new and renewable energy only reached 9.15% or it has only reached 39.8% compared to the target in 2025. Meanwhile in NEP, nuclear energy is set as the last option in meeting national energy needs. This study is intended to determine the status of renewable energy development in Indonesia in relation to achieving the targets set in the NEP and options for using nuclear energy in meeting national energy needs. The method used in this research is a reference study of secondary data from library materials / publications / documentation, for subsequent comparisons between the various sources of literature and quantitative and qualitative analysis of several determined indicators or parameters. The results showed that the realization of primary energy supply, utilization of NRE and provision of power plants by 2019 was still lower than targeted. To achieve the targets set in the NEP in 2025 and 2050 there needs to be an improvement in policy direction and consistency in its implementation. Nuclear energy is estimated to be utilized after 2030 to meet national energy needs and reduce greenhouse gas emissions.
Keywords: NRE, NEP, nuclear, greenhouse gas

© 2016 Jurnal Pengembangan Energi Nuklir. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Pasokan energi primer di Indonesia masih didominasi oleh sumber energi fosil seperti minyak bumi, batubara, dan gas, sedangkan pasokan dari Energi Baru Terbarukan (EBT) masih rendah. Mengingat cadangan energi fosil Indonesia yang terbatas maka dipandang perlu untuk segera mengoptimalkan pemanfaatan sumber EBT [1] [2].

Sementara itu Indonesia memiliki berbagai jenis energi baru terbarukan yang belum dimanfaatkan secara optimal. Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) mengamanatkan pengurangan secara bertahap penggunaan energi fosil dan mendorong pemanfaatan EBT. Pada tahun 2025 peran EBT

*Penulis korespondensi.
E-mail: ruslan23@batan.go.id

dalam bauran energi nasional ditargetkan paling sedikit 23% dan pada tahun 2050 paling sedikit 31% [3]. Pada tahun 2019 realisasi pemanfaatan EBT baru mencapai 9,15%, atau baru mencapai 39,8% dibandingkan dengan target pada tahun 2025 [4].

Masih minimnya porsi pemanfaatan EBT dalam bauran energi nasional disebabkan oleh beberapa kendala yang dihadapi diantaranya adalah kesenjangan geografis antara lokasi sumber energi dengan lokasi kebutuhan energi serta biaya investasi teknologi energi berbasis EBT yang masih mahal. Selain itu ada juga faktor lainnya yaitu tidak adanya konsistensi arah kebijakan dalam perencanaan energi dan ketenagalistrikan antara berbagai peraturan perundangan yang berlaku [5] [6].

Berdasarkan beberapa studi diketahui bahwa ketergantungan terhadap energi fosil secara terus menerus akan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dalam bentuk pencemaran lingkungan, perubahan iklim, dan pemanasan global [7] [8]. Perlunya peningkatan pemanfaatan EBT dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional salah satunya adalah untuk mengurangi dampak gas rumah kaca (GRK) yang disebabkan oleh pembangkit bahan bakar fosil. Apalagi berdasarkan UU Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change (Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim), pemerintah Indonesia berkomitmen menurunkan GRK sebesar 29% (tanpa bantuan) dan 41% (dengan bantuan internasional) dari total seluruh sektor pada tahun 2030 [4] [9].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui status pengembangan EBT di Indonesia sampai dengan tahun 2019 dalam kaitannya dengan pemenuhan target yang telah ditetapkan dengan mengacu pada beberapa dokumen perencanan energi dan ketenagalistrikan serta mengetahui capaian realisasi komitmen Pemerintah untuk menurunkan emisi gas rumah kaca di Indonesia.

Selain status pengembangan EBT yang sudah banyak dilakukan studi sebelumnya juga akan dibahas bagaimana kedudukan energi nuklir dalam bauran energi nasional, apakah tetap menjadi pilihan terakhir sebagaimana disebutkan dalam KEN atau sudah mulai harus dipertimbangkan pemanfaatannya. Juga bagaimana peran energi nuklir dalam mendukung penurunan emisi gas rumah kaca.

2. POKOK BAHASAN

2.1. Kerangka hukum pengembangan EBT

Peraturan Presiden (PP) Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) menetapkan politik bauran energi nasional sampai tahun 2025 dan tahun 2050. Peran EBT dalam bauran energi primer pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan pada tahun 2050 paling sedikit 31%. Sementara porsi energi fosil, khususnya minyak bumi dan batubara, secara bertahap akan dikurangi. Sasara-sasaran yang diamanatkan dalam KEN dijabarkan secara lintas sektoral dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dapat dilihat pada Tabel 1 [10]. RUEN disusun oleh Pemerintah dan ditetapkan oleh Dewan Energi Nasional (DEN).

Tabel 1. Sasaran yang diamanatkan dalam KEN Tahun 2015-2050 [10].

No.	Sasaran KEN	Satuan	2015	2020	2025	2050
1	Penyediaan energi primer	MTOE			> 400	> 1.000
2	Target bauran energi:					
	a. EBT	%			> 23	> 31
	b. Minyak bumi	%			< 25	< 20
	c. Batubara	%			> 30	< 25
	d. Gas bumi	%			> 22	> 24
3	Penyediaan pembangkit tenaga listrik	GW			> 115	> 430
4	Rasio elektrifikasi	%	85	100		
5	Pemanfaatan energi primer per kapita	TOE			1,4	3,2
6	Pemanfaatan listrik per kapita	KWh			2.500	7.000
7	Elastisitas energi				< 1	
8	Penurunan intensitas energi final	%		1% per tahun		
9	Rasio penggunaan gas rumah tangga	%	85			

Selain melalui KEN dan RUEN, target bauran EBT juga dijabarkan dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan (RUKN) 2019-2038. RUKN disusun berdasarkan KEN dan merujuk pada RUEN, serta ditetapkan oleh Pemerintah setelah berkonsultasi dengan DPR dengan melibatkan Pemerintah Daerah. Jika RUEN memuat rencana pengelolaan energi tingkat nasional, maka RUKN memuat kebijakan ketenagalistrikan nasional dan rencana pengembangan sistem penyediaan sistem tenaga listrik. Dalam RUKN 2019-2038 pada tahun 2025 ditargetkan bauran EBT minimum 23%, gas sekitar 22%, batubara sekitar 55%, dan BBM sekitar 0,4%. Sementara pada tahun 2038, ditargetkan bauran EBT minimum 28%, gas sekitar 25%, batubara sekitar 47%, dan BBM sekitar 0,1% [11].

Selanjutnya di dalam dokumen Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020-2024 ditetapkan target bauran EBT pada tahun 2020 sebesar 13,4% dan pada tahun 2024 sebesar 20%. Target tersebut mengharuskan Indonesia meningkatkan 4,25% bauran EBT untuk mencapai target di tahun 2020 (pada tahun 2019 bauran EBT sebesar 9,15%) dan peningkatan sebesar 3% pada tahun 2025 untuk memenuhi target KEN jika berpatokan pada target RPJMN 2020-2024

Indonesia memiliki berbagai potensi EBT yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi target bauran energi primer. Sebagian besar EBT dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dan sisanya untuk sektor transportasi, industri, komersial, dan sektor lainnya sebagai bahan baku campuran biodiesel dan bioetanol. Total potensi EBT ekuivalen 417,8 GW, yang baru dimanfaatkan sekitar 10,4 GW (2,5%) [12].

2.2 Berbagai permasalahan dalam pencapaian target EBT

2.2.1 Dominasi energi fosil

Untuk mencapai sasaran bauran EBT dalam KEN, maka kapasitas penyediaan pembangkit listrik EBT tahun 2025 harus sekitar 45,2 GW dan pada tahun 2050 sekitar 167,7 GW. Kapasitas terpasang pembangkit listrik nasional sampai akhir tahun 2019 adalah sebesar 69,6 GW. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) masih mendominasi kapasitas nasional yaitu sebesar 34,7 GW (49,9%), disusul Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) sebesar 19,9 GW (28,6%). Sementara kapasitas pembangkit listrik EBT sekitar 10,4 GW (14,8%) dan Pembangkit Listrik Tenaga Disel (PLTD) sebesar 4,6 GW (6,7%) [13].

Kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik nasional mengalami penambahan rata-rata sekitar 4,9% per tahun selama 5 tahun terakhir. Apabila dilihat per tahun, kapasitas pembangkit tumbuh sekitar 3,5% pada tahun 2014, 4,6% pada tahun 2015, 7,4% pada tahun 2016, 4,3% pada tahun 2017, dan 4,4% pada tahun 2018. Penambahan kapasitas pembangkit secara total sekilas relatif besar namun sebarannya kurang proporsional, dimana daerah di Jawa Bali memiliki kecukupan pasokan sementara sebagian daerah di luar Jawa Bali mengalami keterbatasan [10].

Dalam Rencana Umum Pembangkit Tenaga Listrik (RUPTL) 2019-2028 tambahan kapasitas pembangkit selama 10 tahun mendatang untuk seluruh Indonesia adalah 56,6 GW atau pertambahan kapasitas rata-rata mencapai 5,6 GW per tahun. PLTU Batubara akan mendominasi pembangkit yang akan dibangun yaitu mencapai 27,1 GW (48,0%), PLTGU dengan kapasitas 9,1 GW (16,2%), PLTG/MG sebesar 3,3 GW (5,8%). Sisa sebesar 16,9 GW berasal dari EBT dimana yang terbesar adalah PLTA/PLTM sebesar 9,7 GW (17,2%) dari kapasitas total, disusul PLTP sebesar 4,6 GW (8,2%) [14].

Dengan melihat kondisi kapasitas pembangkit tenaga listrik saat ini sebesar 69,6 GW dan penambahan kapasitas pembangkit tenaga listrik nasional rata-rata sekitar 4,9% per tahun, apakah target pada tahun 2025 yaitu minimal 115 GW dan pada tahun 2050 minimal 400 GW bisa tercapai?

2.2.2. Komitmen internasional

Selain target peningkatan pemanfaatan EBT dalam bauran energi nasional, Pemerintah Indonesia juga telah berkomitmen untuk ikut berkontribusi dalam menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK). Berdasarkan dokumen Nationally Determine Contribution (NDC) yang disampaikan kepada United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) target emisi sektor energi pada tahun 2030 sebesar 1.355 juta ton CO_2 untuk skenario CM1 (tanpa bantuan internasional) dengan target penurunan

emisi 29% dari kondisi skenario dasar tahun 2010 sebesar 453 juta CO_2 eq. Sedangkan target emisi untuk skenario CM2 (dengan bantuan internasional) sebesar 1.271 juta ton CO_2 eq dengan target penurunan emisi 41% dari kondisi skenario dasar. Target penurunan emisi CO_2 per sektor dapat dilihat pada Tabel 2 [12].

2.2.3. Belum dimanfaatkannya energi nuklir

Energi nuklir merupakan bagian dari EBT yang belum dimanfaatkan sampai dengan saat ini. Walaupun peran energi nuklir untuk pembangkit listrik sebenarnya sudah diatur dalam berbagai peraturan perundangan. Dimulai dengan Undang-undang Nomor 7 Tahun 2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) tahun 2005 – 2025 dimana pada Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) ke-3 tahun 2015-2019 disebutkan "……terpenuhinya pasokan listrik yang handal dan efisien sesuai kebutuhan sehingga elektrifikasi rumah tangga dan elektrifikasi pedesaan dapat tercapai, serta mulai dimanfaatkannya tenaga nuklir untuk pembangkit listrik dengan mempertimbangkan faktor keselamatan secara ketat;…."[15].

Selanjutnya dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), disebutkan bahwa energi nuklir yang dimanfaatkan dengan mempertimbangkan keamanan pasokan energi nasional dalam skala besar, mengurangi emisi karbon dan tetap mendahulukan potensi Energi Baru dan Energi Terbarukan sesuai nilai keekonomiannya, serta mempertimbangkannya sebagai pilihan terakhir dengan memperhatikan faktor keselamatan secara ketat [3][10]

Walaupun energi nuklir dianggap sebagai pilihan terakhir tapi dalam bagian Penjelasan Peraturan Pemerintah tersebut disebutkan bahwa dalam hal telah dilakukan kajian yang mendalam mengenai adanya teknologi pengembangan energi nuklir untuk tujuan damai, pemenuhan kebutuhan energi yang semakin meningkat, penyediaan energi nasional dalam skala besar, mengurangi emisi karbon, serta adanya kepentingan nasional yang mendesak maka pada dasarnya energi nuklir dapat dimanfaatkan [3].

Namun demikian dalam Penjelasan atas Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) Tahun 2015-2035, disebutkan bahwa kelangkaan energi telah mulai dirasakan dan untuk menjamin keberlangsungan pembangunan industri diperlukan kebijakan penghematan dan diversifikasi energi serta perhatian yang lebih besar terhadap pengembangan sumber energi terbarukan dan energi nuklir yang murah dan aman [16].

Berdasarkan pentahapan pembangunan industri dan penetapan industri prioritas dalam RIPIN, disebutkan bahwa industri Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) akan dikembangkan pada tahun 2020-2024 dan 2025-2035. Teknologi rekayasa nuklir (fisi) akan dikembangkan pada tahun 2015-2019 dan 2020-2024, sedangkan teknologi rekayasa nuklir (fisi & fusi) akan dikembangkan pada tahun 2025-2035.

Tabel 2 Target Penurunan Emisi CO_2 per Sektor(Sumber: Outlook Energi Indonesia 2019[12]).

No	Sektor	Tingkat Emisi GRK 2010 (Mton CO_2 eq.)	Tingkat Emisi GRK 2030 (Mton CO_2 eq)			Penurunan Emisi GRK (Mton $CO_{2\,eq}$)		% Total BaU		Rerata Pertumbuhan Tahunan BaU	Rerata Pertumbuhan Tahun 2000-2012*
			BaU	CM1	CM2	CM1	CM2	CM1	CM2		
1	Energi*	453.2	1,669	1.355	1.271	314	398	11%	14%	6.70%	4.50%
2	Limbah	88	296	285	270	11	26	0.38%	1%	6.30%	4.00%
3	IPPU	36	69.6	66.85	66.35	2.75	3.25	0.10%	0.11%	3.40%	0.10%
4	Pertanian	110.5	119.66	110.39	115.86	9	4	0.32%	0.13%	0.40%	1.30%
5	Kehutanan**	647	714	217	64	497	650	17.20%	23%	0.50%	2.70%
	Total	1,334	2.869	2.034	1.787	834		29%	38%	3.90%	3.20%

* Termasuk *fugitive* ** Termasuk kebakaran gambut

Notes CM1 = *Counter Measure* 1 (kondisi tanpa persyaratan mitigasi-*unconditional*)

CM2 = *Counter Measure* 2 (kondisi dengan persyaratan mitigasi-*unconditional*)

Pernyataan yang sama dengan KEN dan RUEN tentang pemanfaatan energi nuklir juga ditemui dalam dokumen RUKN 2019-2038 yaitu mempertimbangkannya sebagai pilihan terakhir. Namun pernyataan yang agak berbeda terdapat dalam RUPTL 2019-2028 yang menyebutkan bahwa PLTN masih merupakan opsi yang dimunculkan untuk mencapai target bauran energi dari EBT sekitar 23% yang implementasinya memerlukan program pembangunan PLTN yang diputuskan oleh Pemerintah. Untuk itu perlu dilakukan langkah nyata persiapan proyek pembangunan PLTN mengingat sumber energi fosil yang semakin langka dan mempertimbangkan masa pembangunan PLTN yang sangat lama [14].

Desakan untuk peningkatan pemanfaatan EBT di Indonesia semakin kuat dengan adanya Rancangan Undang-undang (RUU) EBT yang pada saat ini masih dalam tahap pembahasan di DPR-RI. UU EBT tersebut diperlukan sebagai payung hukum yang kuat untuk mengakselerasi pengembangan EBT di Indonesia. Opsi tentang energi nuklir juga menjadi bahan diskusi yang hangat. Sebagian berpendapat bahwa pemanfaatan energi nuklir sebaiknya tidak dimasukkan dalam materi RUU EBT karena sudah ada UU Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Tapi sebagian yang lainnya berpendapat agar opsi nuklir tetap dimasukkan dalam materi RUU EBT, karena UU No.10 Tahun 1997 lebih banyak mengatur tentang kegiatan penelitian dan pengembangan, bukan untuk kepentingan komersial

Melihat realisasi pemanfaatan EBT pada saat ini dan target yang dicapai pada tahun 2025 dan 2050 apakah pemanfaatan energi nuklir akan dipertimbangkan setelah pemanfaatan sumber EBT dimaksimalkan atau memang sudah saatnya energi nuklir dipertimbangkan untuk mulai direalisasikan guna mendukung penyediaan energi yang handal dan ramah lingkungan.

3. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa studi referensi atas data sekunder yang diperoleh dari berbagai bahan pustaka, publikasi, dan dokumentasi. Berdasarkan data yang diperoleh selanjutnya dilakukan komparasi antara berbagai sumber pustaka tersebut dan dilakukan analisa kuantitatif dan kualitatif atas beberapa indikator atau parameter (antara lain target penyediaan energi primer, pemanfaatan EBT, dan penyediaan pembangkit tenaga listrik) yang telah ditetapkan oleh peraturan perundangan dan ketentuan lainnya yang berlaku.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pencapaian sasaran penyediaan energi primer dalam 5 tahun terakhir adalah sebagai berikut: 182,42 MTOE (2015), 173,55 MTOE (2016), 188,11 MTOE (2017), 205,25 MTOE (2018), 219,08 MTOE (2019). Selain tahun 2016 tampak ada peningkatan penyediaan energi primer dari tahun ke tahun. Tetapi peningkatannya tidak terlalu signifikan. Jika realisasi tahun 2019 dibandingkan dengan target tahun 2025 sebesar 400 MTOE maka capaiannya baru sekitar 54,77%. Realisasi penyediaan dan pemanfaatan energi nasional yang masih di bawah target tersebut disebabkan karena pertumbuhan ekonomi saat ini tidak tumbuh seperti yang diproyeksiakan sebesar 7% sampai dengan 8%, di mana pertumbuhan ekonomi rata-rata hanya mencapai 5%. Sangat berat untuk mencapai target penyediaan energi primer sesuai amanat KEN pada tahun 2025 jika masih terpaku pada skema *Business as Usual* (BaU) seperti yang berjalan selama ini [4].

Dari target penyediaan energi primer sebanyak 400 MTOE pada tahun 2025, sebesar 23% atau 92,2 MTOE diharapkan dapat dipasok EBT. Pada tahun 2019 penyediaan energi primer sebanyak 219,08 MTOE, dimana EBT menyumbang 20,4 MTOE atau baru sekitar 9,15%, masih di bawah target RUEN sebesar 12,2% [4].

Untuk mencapai target pemanfaatan EBT yang ditetapkan dalam KEN, RUEN, RUKN dan RPJMN dirasakan sangat berat mengingat perkembangan porsi EBT dalam bauran energi primer nasional tidak terlalu signifikan.

Pada tahun 2019 realisasi EBT baru mencapai 9,15%, yang terbesar batubara

37,15%, selanjutnya minyak bumi 33,58%, dan gas bumi 20,12%. Jika dihitung berdasarkan realisasi EBT pada tahun 2019 sebesar 9,15% maka untuk mencapai target 23% EBT pada tahun 2025 berarti diperlukan tambahan 13,85% atau perlu kenaikan rata-rata 2,31% per tahun.

Demikian juga jika melihat kapasitas terpasang pembangkit listrik nasional dalam 5 tahun terakhir yaitu 54,7 GW (2015), 58,4 GW (2016), 62,2 GW (2017), 64,9 GW (2018) dan 69,1 GW (2019). Artinya peningkatan kapsitas terpasang tiap tahunnya antara 2,7 GW – 4,2 GW. Sementara target pada tahun 2025 sebesar 115 GW, berarti perlu tambahan kapasitas pembangkit listrik sebesar 45,4 GW atau 7,56 GW per tahun. Sedangkan pada RUPTL 2019-2028 tambahan kapasitas pembangkit selama 10 tahun mendatang untuk seluruh Indonesia direncanakan sebesar 56,6 GW atau pertambahan kapasitas rata-rata mencapai 5,6 GW per tahun. Jika target RUPTL tersebut terealisasi maka kapasitas terpasang pembangkit listrik pada tahun 2025 adalah sebesar 102,7 GW masih lebih rendah dari target KEN sebesar 115 GW.

Perkembangan pembangkit listrik yang memanfaatkan EBT dalam 5 tahun terakhir adalah sebesar 500 MW per tahun. Kapasitas pembangkit listrik EBT pada tahun 2014 sebesar 10.081 MW, selanjutnya 10.541 MW (2015), 11.031 MW (2016), 11.425 MW (2017), 11.828 MW (2018), dan 10.300 MW* (2019). Realisasi pembangkit listrik EBT pada tahun 2019 masih di bawah target RUEN sebesar 13,9 GW. Untuk mencapai target PLT EBT 23% seperti yang ditetapkan RUEN pada tahun 2025 yaitu sebesar 45,2 GW MW akan sangat sulit dicapai jika penambahan PLT EBT hanya sebesar 500 MW per tahun sebagaimana yang terjadi dalam 5 tahun terakhir.

Belum tercapainya target penyediaan energi primer, masih rendahnya realisasi EBT dalam bauran energi nasional dan belum tercapainya target kapasitas terpasang pembangkit listrik disebabkan oleh banyak faktor. Salah satu diantarnya adalah tidak adanya konsistensi arah kebijakan dalam perencanaan energi dan ketenagalistrikan antara berbagai peraturan perundangan yang berlaku.

Sebagaimana diketahui ada 4 (empat) dokumen perencanaan yang digunakan dalam pengembangan energi dan ketenagalistrikan di Indonesia, yaitu : KEN, RUEN, RUKN, dan RUPTL. KEN merupakan dokumen perencanaan yang tertinggi yang mengatur arah kebijakan pengelolaan energi nasional. KEN selanjutnya dijabarkan lebih rinci dalam RUEN. Untuk penyusunan rencana penyediaan tenaga listrik maka disusun RUKN dan RUPTL dengan mempertimbangkan dokumen induknya maupun potensi yang ada di masing-masing daerah. Pada kenyataannya antara keempat dokumen tersebut dalam penyusunan dan implementasinya tidak sejalan satu dengan lainnya.

Sebagai contoh misalnya di dalam dokumen KEN disebutkan bahwa target penyediaan pembangkit listrik pada tahun 2025 adalah sebesar 115 GW. Sementara RUEN menargetkan 135 GW dan RUKN menargetkan 122 GW. Dari total target kapasitas pembangkit listrik tersebut, terdapat perbedaan dalam menentukan porsi 23% EBT dalam dokumen RUEN dan RUKN. Porsi pembangkit listrik EBT dalam RUEN dihitung berdasarkan 23% dari penyediaan energi primer pada tahun 2025 sebesar 400 MTOE sehingga porsi EBT adalah sebesar 92,2 MTOE dimana 69,2 MTOE digunakan sebagai pembangkit listrik 45,2 GW dan 23,0 MTOE digunakan sebagai bahan bakar. Sementara dalam RUKN porsi pembangkit listrik EBT dihitung berdasarkan 23% dari target kapasitas pembangkit listrik terpasang pada tahun 2025 sebesar 122 GW dimana porsi pembangkit listrik EBT sebesar 28,06 GW. Sedangkan dalam RUPTL target kapasitas pembangkit listrik EBT pada tahun 2025 adalah sebesar 27,69 GW. Perbedaan target kapasitas pembangkit listrik EBT dalam RUEN sebesar 45,2 GW, dalam RUKN sebesar 28,06 GW dan dalam RUPTL sebesar 27,69 GW menunjukkan bahwa antara dokumen perencanaan satu dengan yang lainnya belum sejalan.

Contoh lainnya dalam dokumen RUEN disebutkan bahwa potensi sumber daya terbesar yang bisa dikembangkan di daerah Jawa dan Bali adalah PLT Panas Bumi. RUKN menetapkan potensi sumber daya setempat yang bisa dikembangkan di provinsi Jawa

Barat adalah PLT Panas Bumi karena cadangannya yang sangat besar dan PLT Surya di provinsi Yogyakarta dengan cadangan lebih besar dari 11.000 MW. Akan tetapi dalam dokumen RUPTL disebutkan bahwa tumpuan pembangkit listrik di daerah Jawa dan Bali hingga 2025 adalah PLTU Batubara dengan penambahan jumlah kapasitas 12.386 MW hingga 2025. Adapun untuk panas bumi menjadi tumpuan kedua dengan penambahan kapasitas sebesar 2.500 MW. Hal ini juga terjadi di beberapa daerah lainnya. Tampaknya RUPTL belum didesain untuk menggunakan potensi energi setempat sebagai tumpuan pembangkit listrik di daerah tersebut.

Selain itu RUPTL juga belum didesain untuk memenuhi target total kapasitas pembangkit listrik sebesar 115 GW pada tahun 2025 dan 430 GW pada tahun 2025. Sampai dengan tahun 2019 kapasitas pembangkit listrik terpasang baru sekitar 69,6 GW. Apabila keseluruhan jumlah rencana penambahan pembangkit listrik sampai dengan tahun 2025 yang ada dalam RUPTL yaitu sebesar 37,3 GW dijumlahkan dengan kapasitas pembangkit yang terpasang maka totalnya baru sekitar 106,9 GW, artinya masih ada kekurangan sekitar 8,1 GW [4].

Tabel 3. Perbandingan perencanaan pembangunan pembangkit listrik berbasis EBT antara RUEN dan RUPTL hingga 2025[6].

Jenis Pembangkit	Rencana pembangunan dalam RUEN	Rencana pembangunan dalam RUPTL
Panas Bumi	7.241,5 MW	6.184,7 MW
Air	13.986,7 MW	10.847,9 MW
Minihidro dan Mikrohidro	1.572,1 MW	986,5 MW
Bioenergi	2.006 MW	187,5 MW
Surya	540,5 MW	149,81 MW
Angin	913,9 M	1.030,75 MW
EBT lainnya	372 MW	320,5 MW
Total	**26.632,7 MW**	**19.697,66 MW**

Demikian juga dengan target untuk memenuhi rencana pengembangan EBT sebanyak 23% atau sekitar 26 GW pada tahun 2025, perencanaan dalam RUPTL belum didesain untuk mencapai target tersebut. Tabel 3 memperlihatkan perbandingan perencanaan pembangunan pembangkit listrik berbasis EBT antara RUEN dan RUPTL hingga 2025 [6].

Berdasarkan data tersebut tergambar bahwa perencanaan dalam RUPTL belum didesain untuk mencapai target 23% bauran EBT. Jika seluruh kapasitas pembangkit yang sudah ada per provinsi ditambahkan dengan rencana pembangunan pembangkit listrik hingga 2025, maka kapasitas maksimum dari pengembangan listrik berbasis EBT tersebut hanya sekitar 17%.

Disadari bahwa pengembangan EBT bukan hal yang murah dan mudah untuk diterapkan di Indonesia, karena saat ini teknologi pengembangan EBT masih dikuasai pasar asing dan Indonesia masih ada di posisi sebagai importir teknologi EBT. Sehingga perlu biaya dan investasi yang cukup besar untuk beralih ke EBT sebagai sumber energi bersih masa depan. Hal tersebut yang menyebabkan kurang maksimalnya porsi pemanfaatan EBT untuk elektrifikasi karena terkendala dengan harga jual listrik EBT yang masih sulit bersaing dengan energi fosil. Selain itu ada permasalahan tumpang tindih dalam pemanfaatan hutan dalam pengembangan PLTP dan PLTA. Sementara pembangkit listrik EBT skala kecil umumnya berada di lokasi yang terpencil dan jauh dari infrastruktur pendukung jaringan listrik baik transmisi ataupun distribusi, sehingga untuk menyalurkan produksi tenaga listrik dari pembangkit melalui jaringan listrik membutuhkan investasi besar yang akan dibebankan kepada pengembang.

Jika melihat kondisi terkini dari perkembangan EBT di Indonesia, seluruh target EBT khususnya pada tahun 2025 hampir dipastikan tidak akan tercapai. Demi mendorong pemanfaatan EBT yang lebih masif, perlu ada perbaikan kebijakan, implementasi, kelembagaan, dan platform yang mewadahi informasi terkait perkembangan EBT. Diperlukan juga *roadmap* dan kepastian kebijakan untuk transisi energi fosil menuju EBT. Bila Indonesia masih terpaku pada skema *business as usual* (BAU) yang berjalan selama ini, maka Indonesia tidak akan siap menghadapi krisis energi karena terlalu bergantung pada bahan bakar fosil yang akan habis.

Salah satu upaya untuk mengakselerasi pemanfaatan EBT di Indonesia adalah dengan membuat Undang-

undang khusus tentang Energi Baru Terbarukan. Pada saat ini Rancangan Undang-undang (RUU) EBT masih dalam tahap pembahasan di DPR-RI. RUU EBT diharapkan dapat mengisi kekosongan peran energi terbarukan yang belum secara jelas diuraikan dalam UU Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi. RUU EBT dapat menjadi payung hukum nasional yang kuat, sebab selama ini pengaturan mengenai energi terbarukan ada di tingkat aturan yang lebih rendah sehingga rentan terhadap perubahan dan preferensi menteri sektoral. RUU EBT tersebut juga diharapkan dapat menjadi rujukan yang lebih detail terkait pengelolaan EBT meliputi penguasaan sumber daya, penyediaan dan pemanfaatan, pengusahaan, hak dan kewajiban, kemudahan dan insentif, harga energi, penelitian dan pengembangan, hingga pembinaan dan pengawasan.

Perlunya peningkatan pemanfaatan EBT dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional salah satunya adalah untuk mengurangi dampak gas rumah kaca (GRK) yang disebabkan oleh pembangkit bahan bakar fosil. Apalagi berdasarkan UU Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim), pemerintah Indonesia berkomitmen menurunkan GRK sebesar 29% (tanpa bantuan) dan 41% (dengan bantuan internasional) dari total seluruh sektor pada tahun 2030.

Pada tahun 2017 kontribusi penurunan emisi GRK secara nasional mencapai 709 juta ton CO_2 atau 24,7% dari target penurunan emisi sebesar 834 juta ton CO_2 atau 29% pada tahun 2030. Pada Tabel 4 dapat dilihat kontribusi pencapaian target Nationally Determine Contribution (NDC) pada tahun 2010-2017 [9].

Terlihat bahwa tingkat emisi GRK mengalami fluktuasi, bahkan pada tahun 2015 tingkat emisi jauh lebih tinggi dari BAU NDC. Pada tahun 2017 emisi aktual berada pada level 709 juta ton CO_2 di bawah tingkat emisi baseline pada tahun 2017. Akan tetapi penurunan emisi pada tahun 2017 sebesar 24,7% apabila dibandingkan dengan skenario CM1 dan CM2 maka masih diperlukan usaha lebih besar dari seluruh sektor untuk memenuhi target yang ditetapkan dalam NDC.

Menurut laporan World Resources Institute (WRI) tahun 2018, Indonesia menduduki peringkat keenam sebagai negara penghasil emisi CO_2 tertinggi di dunia di bawah China, Amerika Serikat, Uni Eropa, India, dan Rusia. Total emisi karbon yang dihasilkan Indonesia mencapai 1.053 juta ton CO_2.

Sektor energi merupakan salah satu sektor penyumbang emisi GRK terbesar di Indonesia. Apalagi kebutuhan energi sampai saat ini banyak dipasok oleh bahan bakar fosil. Ada peningkatan emisi CO_2 sebesar 18% sepanjang 2012-2017 yang disebabkan karena meningkatnya emisi dari pembangkit listrik, sektor industri dan sektor transportasi. Untuk sektor energi, sebagaimana telah ditetapkan dalam dokumen NDC Indonesia pemerintah menargetkan penurunan GRK sebesar 11% pada tahun 2030.

Di sektor energi, pemerintah telah mencanangkan target penurunan emisi GRK sebesar 314 juta ton CO_2 pada tahun 2030. Sementara realiasi penurunan GRK di sektor energi dalam 6 tahun terakhir adalah 23,38 juta ton CO_2 (2014), 29,64 juta ton CO_2 (2015), 31,60 juta ton CO_2 (2016), 33,90 juta ton CO_2 (2017), 43,8 juta ton CO_2 (2018), dan 54,80 juta ton CO_2 (2019). Jika melihat capain penurunan GRK tersebut perlu upaya keras untuk mencapai target tahun 2030.

Tabel 4. Kontribusi Pencapaian Target NDC pada Tahun 2010-2017[9].

	Target 2030	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tingkat Emisi Aktual (Mton CO_2)		1116	1354	1478	1340	1767	2372	1457	1151
BAU NDC (Mton CO_2)	2869	1334	1521	1570	1610	1670	1703	1768	1860
Penurunan Emisi (Mton CO_2)	834	218	167	92	261	-97	-669	311	709
Kontribusi Pencapai Target NDC (%)	**29**	**7.6**	**5.8**	**3.2**	**9.1**	**-3.4**	**-23.3**	**10.8**	**24.7**

Pemerintah telah menyusun estimasi kebutuhan investasi sebesar Rp 3.500 trilyun untuk mencapai target penurunan GRK sebesar 314 juta ton CO_2 pada tahun 2030. Pembangkit listrik EBT ditargetkan dapat berkontribusi menurunkan emisi GRK sebesar 156,6 juta ton CO_2 (atau 49,8% dari total aksi mitigasi sektor energi) dengan kebutuhan investasi sebesar Rp 1.690 trilyun [17].

Untuk mencapai realisasi target yang telah ditetapkan dalam KEN dan penurunan GRK seharusnya semua potensi energi dimanfaatkan termasuk energi nuklir sebagai salah satu bagian dari EBT. Dalam KEN disebutkan ada beberapa syarat yang harus dipenuhi agar energi nuklir dapat dimanfaatkan yaitu antara lain mempertimbangkan keamanan pasokan energi nasional/pemenuhan kebutuhan energi yang meningkat, keselamatan/dampak radiasi terhadap lingkungan, mengurangi emisi karbon, dan nilai keekonomiannya kompetitif.

Dalam RUEN memang tidak disebutkan opsi nuklir untuk memenuhi kebutuhan energi pada tahun 2025-2050. EBT masih mengandalkan PLT panas bumi, PLT air, PLT minihidro & mikrohidro, PLT bioenergi, PLT surya, PLT angin, dan PLT EBT lainnya sebagai sumber energi. Yang dimaksud PLT EBT lainnya antara lain PLTD dengan campuran bioenergi, PLT arus laut, PLT gelombang laut, PLT energi panas laut. Pengembangan EBT lainnya diproyeksikan sebesar 3,1 GW (2025), 3,7 GW (2030), 4,9 GW (2040) dan 6,1 GW (2050). Jika PLT EBT lainnya yang disebutkan dalam RUEN tersebut tidak dapat memenuhi kebutuhan energi pada tahun 2030-2050, seharusnya energi nuklir diberi peran untuk memenuhinya. Mengapa pada tahun 2030 bukan pada tahun 2025? Karena pembangunan suatu PLTN membutuhkan waktu selama 8-10 tahun maka PLTN diperkirakan baru dapat beroperasi setelah tahun 2030. Hal tersebut sejalan dengan kajian yang dilakukan oleh Badan Pengkajian Penerapan Teknologi (BPPT) bahwa PLTN diperkirakan akan masuk dalam sistem ketenagalistrikan Jawa-Bali pada tahun 2030 sebesar 2 GW dan bertambah menjadi 8 GW pada tahun 2050 [5].

Teknologi keselamatan PLTN telah berkembang sedemikian pesat, khususnya pasca kecelakaan PLTN Fukushima. Pada saat ini tengah dikembangkan PLTN Generasi III+ dengan desain passive system yaitu suatu sistem keselamatan yang mengandalkan pada perilaku alamiah (tidak memerlukan tindakan operator atau catu daya dalam pengoperasiannya) yang dapat meningkatkan derajat keselamatan PLTN. Dengan derajat keselamatan PLTN yang meningkat diharapkan dapat menjamin keselamatan masyarakat dan lingkungan dari potensi dampak beroperasinya PLTN. PLTN Generasi III+ menjadi suatu pilihan untuk pembangunan PLTN yang dilakukan dari sekarang hingga tahun 2030.

Salah satu teknologi PLTN yang dapat dipertimbangkan di Indonesia sebagai negara kepulauan adalah PLTN SMR (Small Modular Reactor). Kelebihan PLTN SMR adalah dayanya lebih kecil, investasi lebih kecil, produk pabrik, beberapa modular unit dalam satu area, bisa hybrid dengan EBT lain (termasuk inovasi dalam hybrid seperti untuk desalinasi, *load-following*, hybrid dengan *off-shore wind)*. Namun perlu dikaji lebih lanjut terkait keekonomiannya karena PLTN SMR belum tersedia secara komersial. PLTN SMR sangat cocok dimanfaatkan di kepulauan Indonesia yang kebutuhan listriknya masih relatif kecil.

Pemanfaatan energi nuklir terbukti dapat mengurangi emisi GRK karena PLTN tidak melepaskan emisi GRK ketika beroperasi. Emisi GRK hanya dilepaskan dalam proses tidak langsung, yaitu pada saat proses konstruksi (berasal dari produksi semen, baja, pembuatan komponen), siklus bahan bakar, dan dekomisioning. Emisi spesifik energi nuklir sangat rendah, yaitu hanya 12 gram CO_2 ekivalen per kWh. Sebagai perbandingan, batubara tipe pulverised coal memiliki emisi spesifik 820 gram CO_2 ekivalen per kWh dan gas alam sebesar 490 gram CO_2 ekivalen per kWh.

Negara-negara Eropa yang tergabung dalam Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) berhasil mencegah pelepasan 23 Gigaton CO_2 ekivalen dengan penggunaan energi nuklir. Sementara di Amerika Serikat pelepasan 20 Gigaton CO_2 ekivalen berhasil dihindari

dengan menggunakan energi nuklir. Sedangkan di Jepang dapat dicegah 6,2 Gigaton CO_2 ekivalen dan di Rusia sebesar 6,1 Gigaton CO_2 ekivalen. Sebagai catatan, 64 Gigaton CO_2 ekivalen setara dengan emisi pembakaran batubara kumulatif di Amerika Serikat selama 35 tahun, atau di Cina selama 17 tahun [18].

Dari aspek ekonomi, biaya pembangkitan listrik nuklir ditentukan oleh tiga komponen utama yaitu biaya modal, biaya bahan bakar, dan biaya operasional dan pemeliharaan. Komponen biaya modal mencapai ¾ biaya total sehingga biaya pembangunan PLTN lebih mahal daripada biaya pembangunan PLT lainnya tetapi relatif murah biaya operasionalnya. Di banyak tempat, energi nuklir bersaing dengan bahan bakar fosil sebagai pembangkit listrik.

Dengan biaya modal yang tinggi, biaya pembangkitan listrik PLTN banyak dipengaruhi oleh faktor tingkat diskonto. Untuk tingkat diskonto 5%, biaya pembangkitan listrik PLTN lebih murah dibanding dengan batubara dan gas di beberapa negara. Sedangkan untuk diskonto 10%, nuklir lebih mahal dari batubara dan gas, kecuali di Korea nuklir masih lebih murah yaitu 4,2 – 4,8 sen $/kWh sementara PLT batubara sebesar 7,1–7,4 sen $/kWh.

Berdasarkan hasil studi kelayakan pembangunan PLTN di Babel tahun 2013, biaya pembangkitan listrik PLTN besar berkisar 6–8 sen $/kWh. Dengan biaya pembangkitan sebesar itu, PLTN baru akan layak jika harga jual listriknya 10 sen $/kWh. Harga jual listrik sebesar itu memang di atas BPP (Biaya Pokok Penyediaan) listrik nasional yang sebesar 7 sen $/kWh, namun angka tersebut masih di bawah tarif listrik rata-rata di Indonesia yaitu sebesar 11 sen $/kWh [19].

Energy Innovation Reform Project (EIRP) mengeluarkan laporan hasil studi nilai keekonomian jenis teknologi reaktor maju. Laporan itu mengungkapkan bahwa estimasi BPP listrik dari berbagai teknologi reaktor maju berkisar antara 30–90 sen $/MWh atau 3–9 sen $/kWh.

Pada akhirnya pengambilan keputusan untuk membangun PLTN tidak semata-mata didasarkan pada pertimbangan keekonomian dan profitability, namun juga pertimbangan lain seperti aspek politik, target penggunaan EBT sesuai KEN, penerimaan sosial, budaya, perubahan iklim dan perlindungan lingkungan. Dengan adanya berbagai aspek yang multi dimensional tersebut, program pembangunan PLTN hanya dapat diputuskan oleh Pemerintah.

5. KESIMPULAN

Realisasi penyediaan energi primer, pemanfaatan EBT dan penyediaan pembangkit tenaga listrik sampai dengan tahun 2019 masih lebih rendah daripada yang ditargetkan. Untuk mencapai target yang ditetapkan dalam KEN pada tahun 2025 dan 2050 perlu ada perbaikan kebijakan, implementasi, kelembagaan, dan platform yang mewadahi informasi terkait perkembangan EBT. Arah kebijakan dalam perencanaan energi dan ketenagalistrikan harus sinergis dan harus dilakukan secara konsisten antara berbagai peraturan perundangan yang berlaku.

Kontribusi penurunan emisi GRK secara nasional pada tahun 2017 sebesar 24,7%. Apabila dibandingkan dengan skenario CM1 dan CM2 masih diperlukan usaha lebih besar dari seluruh sektor untuk memenuhi target yang ditetapkan oleh NDC pada tahun 2030. Di sektor energi, EBT ditargetkan dapat berkontribusi sebesar 49,8% dari total aksi mitigasi sektor energi.

Untuk memenuhi kebutuhan energi yang meningkat dan mengurangi emisi GRK, energi nuklir sebagai bagian dari EBT mulai dapat dimanfaatkan setelah tahun 2030. Akan tetapi pembangunan PLTN tidak hanya berdasarkan pada aspek keekonomian dan aspek keselamatan saja tetapi juga berbagai aspek multi dimensi lainnya yang keputusan pembangunannya hanya bisa ditetapkan oleh Pemerintah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada kepada semua pihak, khususnya di lingkungan Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, yang telah membantu dalam penyelesaian makalah kami

DAFTAR ACUAN

[1] Partahi H. Lumbangaol. Energi Terbarukan untuk Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia, Jurnal Fakultas Teknik Volume II Nomor 2 Tahun 2017, Universitas HKBP Nommensen, Medan, 2017.

[2] Lubis, Abubakar. Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan, *Jurnal Teknologi Lingkungan* Vol. 8 No. 2 Tahun 2007 Halaman 155-162, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta, 2007.

[3] Kementerian Sekretariat Negara RI, Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014, Oktober 2014, Kebijakan Energi Nasional, Jakarta.

[4] Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, Agustus 2020, Bauran Energi Nasional 2020, Jakarta.

[5] Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, , Outlook Energy Indonesia 2019, Jakarta November 2019.

[6] Grita Anindarini Widyaningsih, Membedah Kebijakan Perencanaan Ketenagalistrikan di Indonesia, *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, Vol. 5 No. 1 Tahun 2018 Halaman 131-132, Jakarta, 2018

[7] Nur Tri Harjanto, Dampak Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil dan Prospek PLTN sebagai Sumber Energi Listrik Nasional, *Jurnal BATAN* Vol. 1 No. 1 Tahun I Halaman 39-50, Pusat Pengelolaan Instalasi Nuklir, Jakarta, 2008.

[8] Sulistyono Sulistyono. Pemanasan Global (Global Warming) dan Hubungannya dengan Penggunaan Bahan Bakar Fosil, *Majalah Swara Patra* Vol. 2 No. 2 Tahun 2012 Halaman 47-56, Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi, Blora, 2012.

[9] Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Maret 2019, Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Monitoring, Pelaporan Verifikasi Tahun 2018, Direktorat Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan MPV, Jakarta, 2018.

[10] Sekretariat Kabinet RI, Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017, Maret 2017, Rencana Umum Energi Nasional, Jakarta, 2017.

[11] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 143K/20/MEM/2019, Agustus 2019, Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2019 – 2038, Jakarta/

[12] Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, September 2019, Outlook Energi Indonesia 2019, Jakarta/

[13] Ditjen Ketenagalistrikan Kementerian ESDM, Februari 2020, https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan/kapasitas-pembangkit-listrik-meningkat-15-gw-dalam-lima-tahun diakses pada 4 Oktober 2020/

[14] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 39K/20/MEM/2019, Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2019 sampai dengan Tahun 2028, Jakarta, Februari 2019.

[15] Sekretariat Negara RI, Undang-undang Nomor 7 Tahun 2007, Februari 2007, Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) tahun 2005 – 2025, Jakarta

[16] Kementerian Sekretariat Negara RI, Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2015, Maret 2015, Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) Tahun 2015-2035, Jakarta

[17] Iman Rahman Cahyadi. September 2020, Emisi Gas Rumah Kaca Ditargetkan Menurun 314 Juta Ton CO_2 Hingga 2030, Berita Satu, https://www.beritasatu.com/iman-rahman-cahyadi/nasional/680233/ emisi-gas-rumah-kaca-ditargetkan-menurun-314-juta-ton-CO_2-hingga-2030 diakses 23 Oktober 2020

[18] R. Andika Putra Dwijayanto, Mengukur Dampak Iklim dari Pemanfaatan Energi Nuklir, Warung Sains Teknologi, https://warstek.com/nukliriklim diakses pada 25 Oktober 2020.

[19] Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Agustus 2019, Kajian Teknologi dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir, Jakarta.

STRATEGI PENGEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN: STUDI PADA BIODIESEL, BIOETHANOL, BIOMASSA, DAN BIOGAS DI INDONESIA

Eduardo Heyko
Jurusan Manajemen
Fakultas Ekonomi dan Bisnis
Universitas Brawijaya Malang
Jl. Rotan Pulut No. 2, Samarinda 65123, Indonesia
Email: edho_cemplux@yahoo.co.id; edho.cemplux@gmail.com

Abstrak

Keamanan energi di Indonesia berada di ambang batas dan akan menghadapi krisis energi dalam waktu dekat. Salah satu upaya untuk meningkatkan keamanan energi nasional jangka panjang adalah melalui pengurangan ketergantungan terhadap energi fosil yang tidak terbarukan, khususnya minyak dan gas bumi, dengan mensubstitusinya ke sumber energi baru dan terbarukan (EBT), khususnya bahan bakar nabati (biodiesel, bioethanol, biomassa, dan biogas). Latar belakang penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bauran energi nasional tahun 2050 setelah mengoptimalkan energi terbarukan (biodiesel, bioethanol, biomassa, dan biogas) dengan menerapkan strategi pengembangan yang tepat. Penelitian ini didasarkan pada pengolahan data sekunder yang diambil pada rentang waktu tahun 2000-2010 yang diperoleh dari lembaga resmi, baik nasional maupun internasional. Analisis strategi pengembangan energi terbarukan dilakukan dengan menggunakan analisis lingkungan internal dan eksternal, yaitu matriks IFE dan EFE serta matriks SWOT. Sedangkan, analisis proyeksi kebutuhan energi hingga tahun 2050 dilakukan dengan menggunakan peramalan deret waktu berdasarkan metode *trend analysis plot*, *smoothing plot*, dan *decomposition plot*. Perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan peramalan adalah Minitab Versi 15 (2007). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2050 diprediksikan mencapai 359,37 juta jiwa. Konsumsi energi pada tahun 2050 mencapai 3.289,44 juta SBM. Jika kebutuhan bahan bakar fosil pada tahun 2050 digantikan oleh biodiesel sebanyak 15%, bioethanol 15%, biomassa 100% dari potensinya, dan biogas 100% dari potensinya, maka energi fosil yang dapat dihemat mencapai 982,29 juta SBM/tahun. Kenaikan kebutuhan energi sebesar tiga kali lipat pada tahun 2050 ini jika dipenuhi dengan cara pengembangan *biofuel* memerlukan lahan perkebunan seluas 5,49-6,52 juta hektar untuk memproduksi bahan biodiesel dan 4,34-7,56 juta hektar untuk memproduksi bahan bioethanol. Dari sektor perkebunan ini akan diciptakan lapangan pekerjaan bagi 10,98-13,04 juta orang untuk perkebunan sawit dan jarak pagar dan 4,34-15,12 juta orang untuk perkebunan singkong dan tebu. Sementara itu, di sektor industri energi diperlukan sekitar 54.511-54.346 unit pabrik penghasil biodiesel dengan jumlah tenaga kerja 543.460-545.110 orang dan 60.556-60.727 unit pabrik penghasil bioethanol dengan jumlah tenaga kerja 605.560-607.270 orang. Sedangkan, pemanfaatan biogas sebagai pengganti minyak tanah rumah tangga dapat membantu 10,40 juta rumah tangga miskin. Biaya pokok produksi biodiesel dari kelapa sawit sebesar Rp 6.281/liter dan dari jarak pagar sebesar Rp 6.966/liter masih tidak menguntungkan jika diproduksi untuk menggantikan minyak diesel bersubsidi yang harganya Rp 5.500/liter. Sementara itu, biaya pokok produksi bioethanol dari tebu sebesar Rp 6.214/liter sudah layak menggantikan premium bersubsidi yang harganya Rp 6.500/liter dengan margin keuntungan sebesar 4,6%. Sedangkan, harga pokok produksi bioethanol dari singkong sebesar Rp 6.963/liter masih belum layak menggantikan premium besubsidi. Walaupun demikian, semua *biofuel* tesebut sudah sangat layak untuk menggantikan minyak fosil yang tidak disubsidi dengan harga Rp 9.800/liter. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa program mensubstitusi sebagian kebutuhan minyak bumi dengan *biofuel* dan memanfaatkan sebesar-besarnya potensi biomassa dan biogas dapat menghemat energi fosil, menciptakan lapangan kerja baru, serta membantu mengentaskan kemiskinan.

Kata Kunci: Bioenergi, Energi Terbarukan, Strategi Pengembangan

Abstract

Safety of energy in Indonesia at the door of boundary and will face crisis of energy during near by. One of the effort to increase national long range safety of energy is through reduction depended to fossil energy which not newly, specially gas and oil, with substitute it to new and newly source of energy, specially vegetation fuel (biodiesel, bioethanol, biomassa, and biogas). This research have purpose to know national hotchpotch of energy in 2050 after optimize new energy (biodiesel, bioethanol, biomassa, and biogas) by applying correct development strategy. This research based on processing of secondary data which taken at span of year 2000-2010 which obtained from national and international formal institute. Analysis of new energy development strategy done by using internal and external environment analysis, that is IFE and EFE matrix and also SWOT matrix. While, analysis of necessity of energy 'till year 2050 projection done by using time series forecasting pursuant to trend analysis, smoothing, and decomposition method. Software used to forecast is Minitab Version 15 (2007). Result of research indicate that the amount of resident of Indonesia in 2050 estimated 359,37 million head. Energy consumption in 2050 reach 3.289,44 million BOE. If necessity of fossil fuel in 2050 replaced by biodiesel as much as 15%, bioethanol 15%, biomassa 100% from its potency, and biogas 100% from its potency, so fossil energy be able to economized reach 982,29 million BOE/year. This increase of necessity of energy in the amount of treble in 2050 if chockablock the way of development of biofuel need plantation farm for the width of 5,49-6,52 million hectare to produce raw materials of biodiesel and 4,34-7,56 million hectare to produce raw materials of bioethanol. From this plantation sector will be created work field to 10,98-13,04 million people for the plantation of elais and castor and 4,34-15,12 million people for the plantation of sugar cane and cassava. Meanwhile, in industrial sector of energy needed about 54.511-54.346 factory unit producer of biodiesel with amount of labour 543.460-545.110 people and 60.556-60.727 factory unit producer of bioethanol with amount of labour 605.560-607.270 people. While, utilization of biogas in the place of household kerosene can help 10,40 million impecunious household. Biodiesel prime cost produce of elais in the amount of Rp 6.281/litre and from castor in the amount of Rp 6.966/litre still not profitable if produced to replace diesel fuel subsidized which its price Rp 5.500/litre. Meanwhile, bioethanol prime cost produce of sugar cane in the amount of Rp 6.214/litre have proper to replace gasoline subsidized which its price Rp 6.500/litre with profit margin in the amount of 4,6%. While, bioethanol prime cost produce of cassava in the amount of Rp 6.963/litre still not yet proper to replace gasoline subsidized. Even though, all of this biofuel have very proper to replace fossil oil which not subsidized at the price of Rp 9.800/litre. Thereby, can be said that substitute program some of necessity of petroleum with biofuel and utilization potency of biomassa and biogas can economize fossil energy, creating new work field, and also help substract poverty.

Keywords: Bioenergy, New Energy, Development Strategy

Pendahuluan

Keamanan energi di Indonesia berada di ambang batas dan akan menghadapi krisis energi dalam waktu dekat. Salah satu upaya untuk meningkatkan keamanan energi nasional jangka panjang adalah melalui pengurangan ketergantungan terhadap energi fosil yang tidak terbarukan, khususnya minyak dan gas bumi, dengan mensubstitusinya ke sumber energi baru dan terbarukan (EBT), khususnya bahan bakar nabati (biodiesel, bioethanol, biomassa, dan biogas). Oleh karena itu, diperlukan paradigma baru dalam pengelolaan energi dengan mengedepankan diversifikasi, intensifikasi, konservasi, dan budaya hemat energi. Sebagai dasar untuk mensubstitusi penggunaan energi ke sumber energi yang baru, dapat dilihat bahwa cadangan terbukti minyak bumi nasional pada tahun 2010 hanya sekitar 7,99 miliar barel dan dengan tingkat produksi minyak sekitar 346 juta barel per tahun, maka cadangan tersebut akan habis dalam waktu 23 tahun. Sedangkan, cadangan terbukti gas bumi hanya sekitar 159,64 TSCF (*Trillion Standard Cubic Feet*) dengan tingkat produksi pada tahun 2010 sebesar 2,9 TSCF, maka cadangan tersebut akan habis dalam waktu 55 tahun. Hal ini berbanding terbalik dengan penggunaan bahan bakar nabati, dimana potensi lahan perkebunan yang dapat dimanfaatkan untuk tanaman sumber bahan bakar nabati mencapai 83,06 juta hektar dan baru dimanfaatkan sekitar tujuh juta hektar. Selama kurun waktu 40 tahun ke depan (2010-2050), kebutuhan energi nasional diprediksikan meningkat sebesar

3,21% per tahun dari 1.082,33 juta SBM (Setara Barel Minyak) pada tahun 2010 menjadi 3.289,44 juta SBM pada tahun 2050. Agar kebutuhan energi yang selalu meningkat tersebut dapat terpenuhi, sementara cadangan energi berbahan fosil dipastikan menurun, maka dibutuhkan adanya strategi substitusi ke sumber energi baru dan terbarukan yang potensinya sangat besar di Indonesia. Oleh karena itu, peningkatan investasi di bidang energi baru dan terbarukan sangat diperlukan sesegera mungkin agar tidak ketinggalan langkah dalam mengantisipasi krisis energi berbahan fosil.

Biomassa padat adalah limbah yang dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar yang memanaskan air untuk menggerakkan turbin listrik. Biomassa padat dapat berupa limbah kayu, *bagasse* (ampas batang tebu), sekam (kulit padi), bonggol jagung, pupuk kandang, dan limbah rumah tangga. Sedangkan, biogas adalah hasil dekomposisi bahan-bahan organik dalam bentuk gas yang berupa gas *methane* dan karbondioksida. *Biomass liquefaction* adalah proses pengubahan biomassa menjadi bahan energi cair melalui proses konversi secara *biokimia* untuk menghasilkan bioethanol (alkohol) dan proses konversi secara *thermo-kimia* untuk menghasilkan biodiesel. Konversi secara *biokimia* biasanya menggunakan bahan nabati yang banyak mengandung karbohidrat, seperti pati, kentang, gula, dan lain sebagainya. Sedangkan, konversi secara *thermo-kimia* menggunakan bahan nabati yang mengandung minyak-lemak, baik yang bersifat alami pangan, seperti sawit, kelapa, kacang tanah, dan kemiri, maupun yang non-pangan, seperti jarak pagar, randu, dan nyamplung (IPB, 2008).

International Energy Agency (lEA) mendefinisikan keamanan energi sebagai ketersediaan pasokan energi dalam kuantitas yang cukup, harga terjangkau, berkelanjutan, serta aman dalam memperoleh sumberdaya energi. Diversifikasi merupakan upaya penganekaragaman penggunaan energi melalui pengurangan penggunaan sumber energi minyak bumi dan mensubstitusinya dengan sumber energi lainnya termasuk energi baru-terbarukan. Intensifikasi adalah meningkatkan dan mengembangkan eksplorasi sumber energi yang tersedia. Konversi didefinisikan sebagai upaya mensubstitusi suatu produk ke produk lain yang sejenis tetapi dengan kelebihan-kelebihan tertentu. Konservasi energi adalah upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumberdaya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya.

Strategi adalah suatu rangkaian rencana-rencana yang disusun untuk pencapaian obyektif dengan melihat potensi-potensi yang sesuai dengan visi misi. Terdapat tiga konsep dasar dalam strategi, yaitu formulasi, implementasi, dan evaluasi. Sedangkan, peramalan (*forecasting*) adalah seni dan ilmu untuk memperkirakan kejadian di masa depan. Peramalan dapat dilakukan dengan melibatkan pengambilan data historis dan memproyeksikannya ke masa mendatang dengan suatu bentuk model matematis. Peramalan juga dapat berupa prediksi intuisi yang bersifat subyektif maupun kombinasi dari keduanya.

Sasaran yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah memproyeksikan pertumbuhan penduduk pada tahun 2050 berdasarkan data historis dari tahun 2000-2010, memproyeksikan produksi energi menurut jenis energi pada tahun 2050 berdasarkan data historis dari tahun 2000-2010 dengan asumsi pertumbuhan produksi energi mengikuti kecenderungan alaminya, memproyeksikan konsumsi energi menurut jenis energi dan menurut sektor pengguna energi pada tahun 2050 berdasarkan data historis dari tahun 2000-2010 dengan asumsi pertumbuhan konsumsi energi mengikuti kecenderungan alaminya, mensubstitusi minyak solar dengan biodiesel (dari kelapa sawit atau jarak pagar) sebesar 15% dari kebutuhan minyak nasional tahun 2050, mensubstitusi minyak bensin dengan bioethanol (dari singkong atau tebu) sebesar 15% dari kebutuhan minyak nasional tahun 2050, memetakan penggunaan limbah biomassa padat sebagai sumber energi pembangkit listrik dengan pemanfaatan sebesar 100% dari potensinya pada tahun 2050, mengoptimalkan limbah rumah tangga dan limbah peternakan menjadi biogas sebagai pengganti energi rumah tangga sebesar 100% dari potensi produksi biogas asal limbah tersebut pada tahun 2050,memetakan potensi penghematan energi dari sektor industri, transportasi, komersial, rumah tangga, dan sektor lain-lain, memproyeksikan sediaan bauran energi nasional pada tahun 2050 sebelum dan setelah mempertimbangkan pemanfaatan sumber energi berbahan nabati (*biofuel*, biomassa, dan biogas) dan penghematan energi.

Metode Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian pengkajian (*exploratory*), yaitu penelitian yang dilakukan dengan mengkaji suatu data dengan tujuan untuk menghasilkan suatu penemuan yang berkaitan dengan data yang dikaji. Data kuantitatif dalam penelitian ini berupa

luas perkebunan dan jumlah produksi tanaman kelapa sawit, jarak pagar, singkong, dan tebu; populasi ternak; populasi penduduk dan jumlah rumah tangga; PDB nominal; total produksi dan konsumsi energi; serta intensitas dan elastisitas penggunaan energi tahun 2000-2010. Data kualitatif dalam penelitian ini berupa data lingkungan internal dan eksternal yang mempengaruhi dinamika energi baru-terbarukan, khususnya energi yang berbasis nabati (bio-energi). Teknik pegumpulan data dilakukan dengan cara dokumentasi, yaitu pengumpulan data yang dilakukan dengan mempelajari dokumen dan data-data yang berkaitan dengan keperluan penelitian.

Perumusan pilihan strategi pengembangan energi terbarukan berbasis nabati dilakukan dengan menggunakan rangkaian analisis SWOT. Proses tersebut dilakukan dalam tiga tahap, yaitu pengumpulan data (*input stage*), analisis (*matcing stage*), dan pengambilan keputusan (*decision stage*). Pada tahap pengumpulan data, dilakukan evaluasi faktor lingkungan internal dan eksternal dengan menggunakan matriks IFE dan EFE. Pada tahap analisis, dilakukan penempatan posisi strategi dengan menggunakan IFE & EFE *Score*, diagram analisis SWOT, dan matriks SWOT. Pada tahap pengambilan keputusan, dilakukan pembentukan program-program pengembangan berdasarkan hasil analisis SWOT. Analisis proyeksi kebutuhan energi hingga tahun 2050 dilakukan dengan menggunakan peramalan model deret waktu berdasarkan metode *trend analysis plot*, *smoothing plot*, dan *decomposition plot*. Pilihan peramalan pada model deret waktu didasarkan pada data historis bahwa kebutuhan energi selalu meningkat selaras dengan pertumbuhan penduduk dan perekonomian. Perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan peramalan adalah Minitab Versi 15 (2007).

Hasil Penelitian

Analisis SWOT dilakukan dalam tiga tahap, yaitu pengumpulan data (*input stage*), analisis (*matching stage*), dan pengambilan keputusan (*decision stage*). Pada tahap pengumpulan data, dilakukan evaluasi faktor lingkungan internal dan eksternal dengan menggunakan matriks IFE dan EFE. Pada tahap analisis, dilakukan penempatan posisi strategi dengan menggunakan IFE & EFE *Score*, diagram analisis SWOT, dan matriks SWOT. Pada tahap pengambilan keputusan, dilakukan pembentukan program-program pengembangan berdasarkan hasil analisis SWOT.

Matriks IFE

Faktor Internal	Bobot	Peringkat	Skor
Kekuatan			
1. Komitmen perusahaan industri energi di Indonesia terhadap kebijakan tata kelola yang baik.	0,05	3	0,15
2. Sebagian besar teknologi biofuel dan biogas telah dikuasai.	0,11	3	0,33
3. Litbang terhadap teknologi biofuel dan biogas terus dikembangkan.	0,07	3	0,21
4. Litbang terhadap bibit unggul tanaman bahan baku biofuel terus dikembangkan.	0,07	3	0,21
5. Industri biofuel dan biogas dapat dikembangkan dalam skala kecil hingga skala besar.	0,10	4	0,40
Sub Total	**0,40**		**1,30**
Kelemahan			
1. Adanya inefisiensi dalam pengelolaan industri migas.	0,08	4	0,32
2. Penyerapan sumberdaya manusia untuk industri energi skala kecil belum maksimal.	0,06	3	0,18
3. Teknologi untuk energi fosil masih bergantung pada teknologi dari negara maju.	0,11	4	0,44
4. Distribusi energi untuk daerah terpencil belum optimal.	0,05	3	0,15
5. Pelaksanaan swasembada energi daerah belum optimal.	0,05	3	0,15
6. Keterbatasan infrastruktur (kilang minyak dan jalur distribusi) energi di Indonesia.	0,10	4	0,40
7. Produk biofuel belum dikembangkan untuk industri petrokimia.	0,04	3	0,12
8. Subsidi pemerintah untuk migas fosil masih tinggi.	0,11	4	0,44
Sub Total	**0,60**		**2,20**
Total	**1**		**3,50**
Selisih			**0,90**

Sumber: Data primer diolah (2013)

Matriks EFE

Faktor Eksternal	Bobot	Peringkat	Skor
Peluang			
1. Pertumbuhan ekonomi Indonesia meningkat.	0,05	3	0,15
2. Pendapatan per kapita dan daya beli masyarakat meningkat.	0,05	3	0,15
3. Pertumbuhan penduduk meningkat.	0,02	3	0,06
4. Kebutuhan energi untuk transportasi meningkat.	0,05	4	0,20
5. Animo dan kesadaran masyarakat terhadap energi ramah lingkungan meningkat.	0,04	2	0,08
6. Potensi biofuel dan biogas sebagai sumber energi alternatif pengganti migas fosil.	0,09	4	0,36
7. Pangsa pasar biofuel dan biogas meningkat.	0,07	3	0,21
8. Kebijakan pemerintah yang mengamanahkan penyediaan energi yang ramah lingkungan.	0,07	2	0,14
9. Potensi lahan dan jenis tanaman perkebunan untuk pengembangan biofuel masih banyak.	0,07	3	0,21
10. Potensi limbah rumah tangga dan peternakan untuk pengembangan biogas sangat banyak.	0,07	3	0,21
Sub Total	**0,58**		**1,77**
Ancaman			
1. Cadangan migas Indonesia semakin terbatas (di bawah 1% dari cadangan dunia).	0,09	4	0,36
2. Ketergantungan sektor transportasi pada BBM masih tinggi.	0,04	4	0,16
3. Kepentingan negara-negara maju atas sumber energi fosil mempengaruhi stabilitas minyak bumi dalam negeri.	0,07	3	0,21
4. Sebesar 75% sumber energi fosil Indonesia dikuasai oleh perusahaan asing karena kurangnya keberpihakan negara.	0,07	3	0,21
5. Keamanan nasional yang tidak stabil akibat gejolak politik dan sosial.	0,02	3	0,06
6. Sebaran penduduk Indonesia yang tidak merata.	0,01	3	0,03
7. Pola hidup konsumtif dan budaya tidak hemat energi pada masyarakat.	0,07	3	0,21
8. Pembangunan yang tidak merata.	0,05	3	0,15
Sub Total	**0,42**		**1,39**
Total	**1**		**3,16**
Selisih			**0,38**

Sumber: Data primer diolah (2013)

IFE & EFE Score

Nilai Internal	Nilai Eksternal	Strategi
S>W (+)	O>T (+)	Berkembang (Agresif)
S<W (-)	O<T (-)	Bertahan (Defensif)
S>W (+)	O<T (-)	Diversifikasi (Kompetitif)
S<W (-) 1,30 < 2,20	O>T (+) 1,77 > 1,39	Berbenah Diri (Konservatif)

Sumber: Data primer diolah (2013)

Diagram Analisis SWOT



Sumber: Data primer diolah (2013)

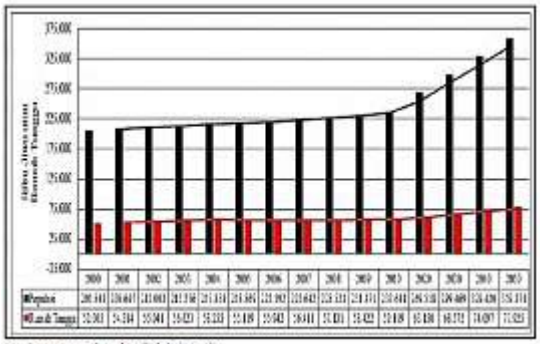
Matriks SWOT

Internal / Eksternal	Kekuatan (S)	Kelemahan (W)
	1. Komitmen perusahaan industri energi di Indonesia terhadap kebijakan/tata kelola yang baik. 2. Sebagian besar teknologi biofuel dan biogas telah dikuasai. 3. Litbang terhadap teknologi biofuel dan biogas terus dikembangkan. 4. Litbang terhadap bibit unggul tanaman bahan baku biofuel terus dikembangkan. 5. Industri biofuel dan biogas dapat dikembangkan dalam skala kecil hingga skala besar.	1. Adanya inefisiensi dalam pengelolaan industri migas. 2. Penyerapan sumberdaya manusia untuk industri energi skala kecil belum maksimal. 3. Teknologi untuk energi fosil masih bergantung pada teknologi dan negara maju. 4. Distribusi untuk daerah terpencil belum optimal. 5. Pelaksanaan swasembada energi daerah belum optimal. 6. Keterbatasan infrastruktur energi di Indonesia. 7. Produk biofuel belum dikembangkan untuk industri petrokimia. 8. Subsidi pemerintah untuk migas fosil masih tinggi.
Peluang (O) 1. Pertumbuhan ekonomi Indonesia meningkat. 2. Pendapatan per kapita dan daya beli masyarakat meningkat. 3. Pertumbuhan penduduk meningkat. 4. Kebutuhan energi untuk transportasi meningkat. 5. Animo dan kesadaran masyarakat terhadap energi ramah lingkungan meningkat. 6. Potensi biofuel dan biogas sebagai sumber energi alternatif pengganti migas fosil. 7. Pangsa pasar biofuel dan biogas meningkat. 8. Kebijakan pemerintah yang mengamanahkan penyediaan energi yang ramah lingkungan. 9. Potensi lahan dan jenis tanaman perkebunan untuk pengembangan biofuel masih banyak.		**Strategi WO** 1. Mengembangkan produk energi alternatif (biofuel dan biogas) untuk transportasi, rumah tangga, dan industri. 2. Pengembangan pemanfaatan kendaraan berbahan bakar energi alternatif (biofuel). 3. Mengembangkan Desa Mandiri Energi. 4. Rasionalisasi harga migas fosil dengan memindahkan subsidi untuk migas fosil ke subsidi untuk biofuel dan biogas. 5. Penerapan pajak BBM dan pajak karbon untuk peralatan yang masih menggunakan bahan bakar fosil. 6. Meningkatkan kapasitas produksi energi dengan memanfaatkan teknologi pembuatan biofuel dan biogas yang telah dikuasai.
10. Potensi limbah rumah tangga dan peternakan untuk pengembangan biogas sangat banyak.		7. Meningkatkan kapasitas produksi energi dengan membangun infrastruktur (kilang pemurnian dan jalur distribusi) minyak fosil. 8. Mengembangkan teknologi petrokimia berbahan baku campuran biofuel. 9. Meningkatkan litbang terhadap teknologi pembuatan biofuel dan biogas. 10. Meningkatkan efisiensi melalui konservasi energi.
Ancaman (T) 1. Cadangan migas Indonesia semakin terbatas (di bawah 1% dari cadangan dunia). 2. Ketergantungan sektor transportasi pada BBM masih tinggi. 3. Kepentingan negara-negara maju atas sumber energi fosil mempengaruhi stabilitas minyak bumi dalam negeri. 4. Sebesar 76% sumber energi fosil Indonesia dikuasai oleh perusahaan asing karena kurangnya kebergihakan negara. 5. Kesamaan nasional yang tidak stabil akibat gejolak politik dan sosial. 6. Sebaran penduduk Indonesia yang tidak merata. 7. Pola hidup konsumtif dan budaya tidak hemat energi pada masyarakat. 8. Pembangunan yang tidak merata.		

Sumber: Data primer diolah (2013)

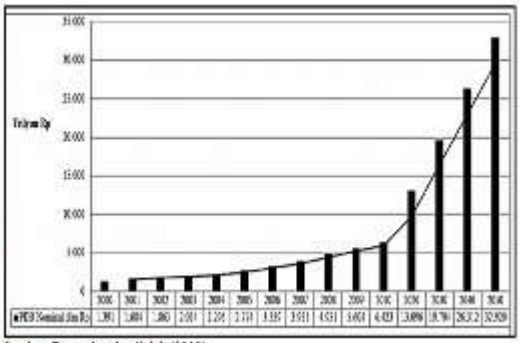
Analisis proyeksi kebutuhan energi hingga tahun 2050 dilakukan dengan menggunakan peramalan model deret waktu berdasarkan metode *trend analysis plot*, *smoothing plot*, dan *decomposition plot*.

Proyeksi Populasi Penduduk dan Jumlah Rumah Tangga Hingga Tahun 2050



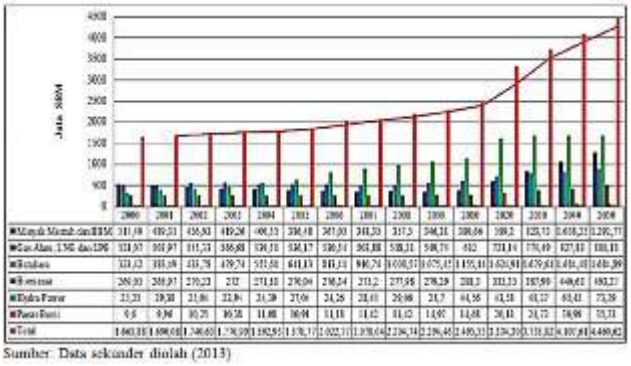
Sumber: Data sekunder diolah (2013)

Proyeksi PDB Nominal Hingga Tahun 2050



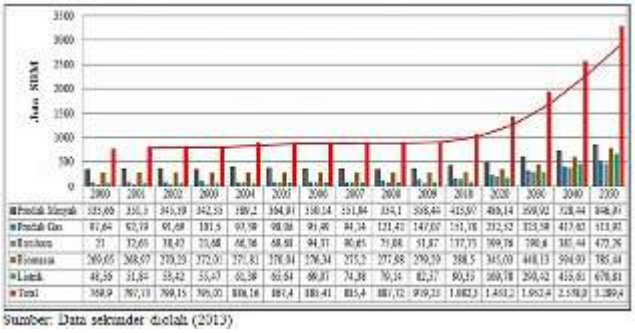
Sumber: Data sekunder diolah (2013)

Proyeksi Produksi Energi Menurut Jenis Energi Hingga Tahun 2050



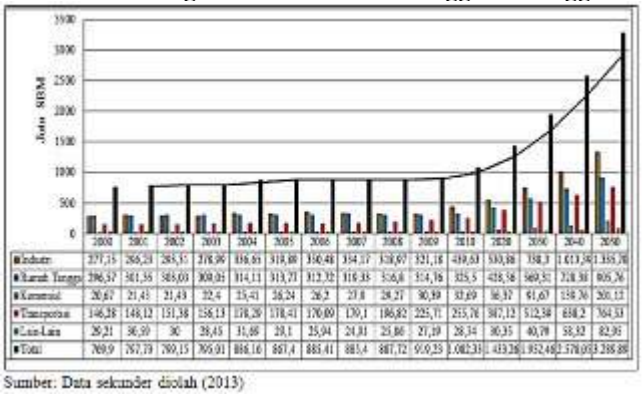
Sumber: Data sekunder diolah (2013)

Proyeksi Konsumsi Energi Menurut Jenis Energi Hingga Tahun 2050



Sumber: Data sekunder diolah (2013)

Proyeksi Konsumsi Energi Menurut Sektor Pengguna Hingga Tahun 2050



Sumber: Data sekunder diolah (2013)

Analisis ekonomi pengembangan biodiesel dari kelapa sawit dan jarak pagar, bioethanol dari singkong dan tebu, serta energi biomassa dan biogas.

Kebutuhan Lahan Produksi Tanaman Kelapa Sawit dan/atau Jarak Pagar, Kebutuhan Bahan Baku Pabrik Biodiesel Skala Kecil Kapasitas 30.000 Liter/Bulan, dan Peluang Penciptaan Lapangan Kerja untuk Memenuhi Kebutuhan Substitusi Minyak Fosil pada Tahun 2050

No.	Uraian	Satuan	Pilihan Sumber Biodiesel	
			Kelapa Sawit	Jarak Pagar
1.	**Asumsi Dasar**			
a.	Hasil produksi tanaman (buah sawit atau biji kupas jarak pagar)	Ton/Ha/Tahun	17	10
b.	Produktifitas biodiesel			
		Liter/Ton	210	300
		SBM/Ton	1,36	1,95
c.	Tenaga kerja kebun	Orang/Ha	2	2
d.	Kebutuhan tenaga kerja per unit pabrik	Orang/unit	10	10
2.	**Proyeksi Kebutuhan Lahan dan Tenaga Kerja Hingga Tahun 2050**			
a.	Proyeksi kebutuhan minyak	Juta SBM	846,97	
b.	Jumlah minyak yang disubstitusi dari biodiesel sebesar 15% (15% x point 2.a)	Juta SBM	127,04	
c.	Kebutuhan bahan baku BBN (point 2.b : point 1.b2)	Juta Ton/Tahun	93,41	65,15
d.	Kebutuhan lahan (point 2.c : point 1.a)	Juta Ha	5,49	6,52
e.	Penciptaan lapangan kerja untuk kebun (point 2.d x point 1.c)	Juta Orang	10,98	13,04
3.	**Proyeksi Kebutuhan Pabrik BBN Kapasitas 1.000 Liter/Hari dan Jumlah Tenaga Kerja Hingga Tahun 2050**			
a.	Kebutuhan bahan baku per unit pabrik			
	Kebutuhan per hari (1.000 : point 1.b1)	Ton	1.000/210 = 4,76	1.000/300 = 3,33
	Kebutuhan per tahun (1.000 : point 1.b1 x 360 hari)	Ton	1.713,6	1.198,8
b.	Kebutuhan unit pabrik (point 2.c : point 3.a2)	Unit	54.511	54.346
c.	Penciptaan lapangan kerja untuk pabrik (point 3.b x point 1.d)	Orang	545.110	543.460

Sumber: Data primer diolah (2013)

Biaya Pokok Produksi Biodiesel Kapasitas 30.000 Liter/Bulan

No.	Uraian	Total Biaya/Bulan (Rpx1000)
1.	**Investasi**	
	Biaya investasi Rp 933.250.000	
	Modal kerja dua bulan Rp 415.000.000	
	Total Biaya Investasi Rp 1.348.250.000	
2.	**Biaya Tetap**	**13.600**
3.	**Biaya Variabel**	
	Total biaya variabel untuk biodiesel sawit	**160.961**
	Total biaya variabel untuk biodiesel jarak	**180.611**
4.	***Miscelanous, Overhead dan penyusutan***	
	Total biaya *miscelanous* dan *overhead* biodiesel sawit	**13.870**
	Total biaya *miscelanous* dan *overhead* biodiesel jarak	**14.754**
	Total biaya operasional per bulan untuk biodiesel sawit	**188.431**
	Total biaya operasional per bulan untuk biodiesel jarak	**208.965**
	Biaya pokok produksi (Rp/liter) biodiesel sawit	**6.281**
	Biaya pokok produksi (Rp/liter) biodiesel jarak	**6.966**
	Total penjualan per bulan untuk biodiesel asal sawit	**225.000**
	Total penjualan per bulan untuk biodiesel asal jarak pagar	**225.000**
	Total biaya produksi per bulan untuk biodiesel asal sawit	**188.430**
	Total biaya produksi per bulan untuk biodiesel asal jarak pagar	**208.980**
	Keuntungan per bulan untuk biodiesel asal sawit	**36.570**
	Keuntungan per bulan untuk biodiesel asal jarak pagar	**16.020**
	IRR per bulan untuk biodiesel asal sawit (keuntungan : investasi x 100%)	**2,73%**
	IRR per bulan untuk biodiesel asal jarak pagar (keuntungan : investasi x 100%)	**1,20%**
	Periode Balik Modal untuk biodiesel asal sawit	**36,60 bulan**
	Periode Balik Modal untuk biodiesel asal jarak pagar	**83,64 bulan**

Sumber: Data primer diolah (2013)
Catatan: Diasumsikan seluruh hasil produksi dibeli oleh pemerintah dengan harga Rp 7.500/liter

Kebutuhan Lahan Produksi Tanaman Singkong dan/atau Tebu, Kebutuhan Bahan Baku Pabrik Bioethanol Skala Kecil Kapasitas 30.000 Liter/Bulan, dan Peluang Penciptaan Lapangan Kerja untuk Memenuhi Kebutuhan Substitusi Minyak Fosil pada Tahun 2050

No.	Uraian	Satuan	Pilihan Sumber Bioethanol	
			Singkong	Tebu
1.	**Asumsi Dasar**			
a.	Hasil produksi tanaman (umbi basah singkong atau batang basah tebu)	Ton/Ha/Tahun	16	75
b.	Produktifitas bioethanol			
		Liter/Ton	180	67
		SBM/Ton	1,05	0,39
c.	Tenaga kerja kebun	Orang/Ha	2	1
d.	Kebutuhan tenaga kerja per unit pabrik	Orang/unit	10	10
2.	**Proyeksi Kebutuhan Lahan dan Tenaga Kerja Hingga Tahun 2050**			
a.	Proyeksi kebutuhan minyak	Juta SBM	846,97	
b.	Jumlah minyak yang disubstitusi dari bioethanol sebesar 15% (15% x point 2.a)	Juta SBM	127,04	
c.	Kebutuhan bahan baku BBN (point 2.b : point 1.b2)	Juta Ton/Tahun	120,99	325,74
d.	Kebutuhan lahan (point 2.c : point 1.a)	Juta Ha	7,56	4,34
e.	Penciptaan lapangan kerja untuk kebun (point 2.d x point 1.c)	Juta Orang	15,12	4,34
3.	**Proyeksi Kebutuhan Pabrik BBN Kapasitas 1.000 Liter/Hari dan Jumlah Tenaga Kerja Hingga Tahun 2050**			
a.	Kebutuhan bahan baku per unit pabrik			
	Kebutuhan per hari (1.000 : point 1.b1)	Ton	1.000/180 = 5,55	1.000/67 = 14,9
	Kebutuhan per tahun (1.000 : point 1.b1 x 360 hari)	Ton	1.998	5.364
b.	Kebutuhan unit pabrik (point 2.c : point 3.a2)	Unit	60.556	60.727
c.	Penciptaan lapangan kerja untuk pabrik (point 3.b x point 1.d)	Orang	605.560	607.270

Sumber: Data primer diolah (2013)

Biaya Pokok Produksi Bioethanol Kapasitas 30.000 Liter/Bulan

No.	Uraian	Total Biaya/Bulan (Rpx1000)
1.	**Investasi**	
	Biaya investasi Rp 801.855.000	
	Modal kerja dua bulan Rp 415.000.000	
	Total Biaya Investasi Rp 1.216.855.000	
2.	**Biaya Tetap**	**13.600**
3.	**Biaya Variabel**	
	Total biaya variabel untuk bioethanol singkong	**181.591**
	Total biaya variabel untuk bioethanol tebu	**160.091**
4.	***Miscelanous, Overhead dan penyusutan***	
	Total biaya *miscelanous* dan *overhead* bioethanol singkong	**13.704**
	Total biaya *miscelanous* dan *overhead* bioethanol tebu	**12.736**
	Total biaya operasional per bulan untuk bioethanol singkong	**208.895**
	Total biaya operasional per bulan untuk bioethanol tebu	**186.427**
	Biaya pokok produksi (Rp/liter) bioethanol singkong	**6.963**
	Biaya pokok produksi (Rp/liter) bioethanol tebu	**6.214**
	Total penjualan per bulan untuk bioethanol asal singkong	**225.000**
	Total penjualan per bulan untuk bioethanol asal tebu	**225.000**
	Total biaya produksi per bulan untuk bioethanol asal singkong	**208.840**
	Total biaya produksi per bulan untuk bioethanol asal tebu	**186.420**
	Keuntungan per bulan untuk bioethanol asal singkong	**16.110**
	Keuntungan per bulan untuk bioethanol asal tebu	**38.580**
	IRR per bulan untuk bioethanol asal singkong (keuntungan : investasi x 100%)	**1,33%**
	IRR per bulan untuk bioethanol asal tebu (keuntungan : investasi x 100%)	**3,19%**
	Periode Balik Modal untuk bioethanol asal singkong	**75,12 bulan**
	Periode Balik Modal untuk bioethanol asal tebu	**31,36 bulan**

Sumber: Data primer diolah (2013)
Catatan: Diasumsikan seluruh hasil produksi dibeli oleh pemerintah dengan harga Rp 7.500/liter.

Kelayakan Ekonomi Instalasi *Biodigester* dengan Kapasitas Produksi 6m³/Hari untuk Mencukupi Kebutuhan Dua Rumah Tangga

No.	Bahan	Satuan	Total Biaya
1.	**Investasi**	**Rp**	**18.899.500**
2.	**Nilai penyusutan alat dan biaya operasional/bulan**	**Rp**	**340.975**
3.	**Nilai penggunaan biogas yang disetarakan dengan minyak tanah**		
a.	6 m³/hari setara 3,73 liter minyak tanah dengan harga Rp 7.000/liter	Rp	26.110
b.	180 m³/bulan setara 111,9 liter minyak tanah dengan harga Rp 7.000/liter	Rp	783.300
c.	2.160 m³/tahun setara 1342,8 liter minyak tanah dengan harga Rp 7.000/liter	Rp	9.399.600
4.	**Keuntungan dari pemanfaatan biogas (sebagai nilai penghematan jika tidak menggunakan minyak tanah)**		
a.	Satu bulan, Rp 783.300 – Rp 340.975	Rp	442.325
b.	Satu tahun, Rp 9.399.600 – Rp 4.091.700	Rp	5.307.900
	***Internal Rate Return* (IRR)** (keuntungan : investasi x 100%)	**% per tahun**	**28,08**
	Periode balik modal	**tahun**	**3,56**

Sumber: Data primer diolah (2013)
Catatan: Analisis ini tidak memperhitungkan hasil sampingan dalam bentuk pupuk organik padat yang potensinya sebesar 40-60% dari total limbah, dimana harga pupuk organik padat sebesar Rp 700/kg.

Pembahasan

Jika mengacu pada target pemanfaatan biodiesel pada tahun 2050 sebesar 15% dari minyak bumi, dimana produksi biodiesel dari kelapa sawit atau jarak pagar masing-masing mencapai 127,04 juta SBM, maka kebutuhan lahan perkebunan kelapa sawit yang diperlukan seluas 5,49 juta hektar, sedangkan untuk perkebunan jarak pagar seluas 6,52 juta hektar dengan serapan tenaga kerja antara 10,98 juta hingga 13,04 juta orang. Industri biodiesel yang berasal dari kelapa sawit maupun jarak pagar hanya layak diproduksi sebagai pengganti solar industri (solar non subsidi) yang harganya Rp 9.000/liter, tetapi tidak memberikan keuntungan sebagai pengganti solar bersubsidi yang harganya hanya Rp 5.500/liter. Penggunaan *biofuel* di Indonesia telah dimulai sejak tahun 2007. Biodiesel (B-5) telah dipasarkan di 201 unit SPBU di Jakarta dan 12 unit SPBU di Surabaya.

Jika mengacu pada target pemanfaatan bioethanol pada tahun 2050 sebesar 15% dari minyak bumi, dimana produksi bioethanol dari singkong atau tebu masing-masing sebesar 127,04 juta SBM, maka kebutuhan lahan perkebunan singkong seluas 7,56 juta hektar, sedangkan kebutuhan lahan tebu seluas 4,34 juta hektar dengan serapan tenaga kerja antara 4,34 juta hingga 15,12 juta orang. Industri bioethanol yang berasal dari singkong hanya layak diproduksi sebagai pengganti premium non subsidi yang harganya Rp 9.800/liter, tetapi tidak memberikan keuntungan sebagai pengganti premium bersubsidi yang harganya hanya Rp 6.500/liter. Sedangkan, bioethanol yang berasal dari tebu sudah layak menggantikan premium bersubsidi dengan harga pokok produksi Rp 6.214/liter dengan margin keuntungan 4,6%, walaupun tingkat keuntungan ini belum menarik bagi pengusaha untuk memulai industri bioethanol. Penggunaan bioethanol di Indonesia telah dimulai sejak tahun 2007, dimana bioethanol kategori E-5 yang juga dikenal dengan sebutan biopremium telah dijual di Malang dan Jakarta.

Potensi limbah biomassa padat di seluruh Indonesia mencapai 272,79 juta ton per tahun atau setara dengan 626,84 juta SBM yang dapat dipakai sebagai bahan bakar pembangkit listrik dengan kapasitas 49.807,43 MWh. Namun, sumber energi limbah biomassa padat tersebut baru termanfaatkan sebesar 288,50 juta SBM dengan porsi dalam sediaan bauran energi nasional sebesar 11,56%.

Sementara itu, jika mengacu pada kasus biogas, maka potensi biogas yang dapat dimanfaatkan sebesar 12.052,80 juta m³ per tahun atau setara 7.473,60 juta liter minyak tanah atau setara 42,35 juta SBM. Jika diasumsikan setiap rumah tangga memerlukan dua liter minyak tanah per hari, dimana satu liter minyak tanah setara dengan 1,61 m³ biogas, maka kebutuhan biogas setiap rumah tangga sebesar 3,22 m³/hari atau 6,44m³/hari untuk setiap dua rumah tangga (Salundik, 2008). Jika setiap dua rumah tangga miskin yang memerlukan biogas sebanyak 2.318,4 m³/tahun akan dibantu oleh pemerintah sebanyak satu unit instalasi biogas, maka kebutuhan unit instalasi biogas yang harus dibangun pemerintah untuk memanfaatkan potensi biogas adalah 5.198.758 unit. Dengan demikian, potensi biogas nasional dapat membantu penduduk miskin

sebanyak 10,40 juta rumah tangga, dimana jumlah penduduk miskin pada tahun 2011 mencapai 30,02 juta jiwa atau 7,50 juta rumah tangga (12,6%). Jika satu unit instalasi biogas berkapasitas produksi 2.318,4 m^3/tahun membutuhkan biaya Rp 18.899.500, maka subsidi pemerintah dalam bentuk instalasi biogas pada tahun-tahun awal memerlukan anggaran sebesar 98,25 trilyun rupiah. Jika diasumsikan jumlah penduduk miskin pada tahun 2050 tetap sebesar 12,6% dari seluruh penduduk Indonesia, maka jumlah penduduk miskin tersebut mencapai 45,40 juta jiwa atau 11,35 juta rumah tangga. Sehingga untuk mencukupi kekurangan fasilitas instalasi biogas bagi penduduk miskin dapat dilakukan dengan cara bantuan pemerintah dalam bentuk ternak sapi sebanyak (11,35 juta – 10,40 juta) x 3,22m^3/hari : 0,051m^3 = 59,98 juta ekor sapi.

Permasalahan sektor migas sangat mendasar ketika kapasitas kilang pemurnian sudah tidak memadai lagi, dimana pada tahun 2010 kapasitas pengilangan minyak Indonesia hanya sebesar 404,99 juta barel/tahun. Jika diasumsikan kapasitas penyulingan minyak tetap seperti saat ini, dan konsumsi minyak fosil pada tahun 2050 sebesar 846,97 juta SBM, maka pada tahun 2050 defisit bahan bakar akan mencapai 441,98 juta barel/tahun atau sebesar 109,13% dari kebutuhan minyak dalam negeri. Dengan demikian, untuk menyelesaikan masalah ini tidak ada cara lain selain membangun infrastruktur energi (kilang pemurnian dan jalur distribusinya) agar dapat mengatasi kebutuhan energi minyak di tahun 2050.

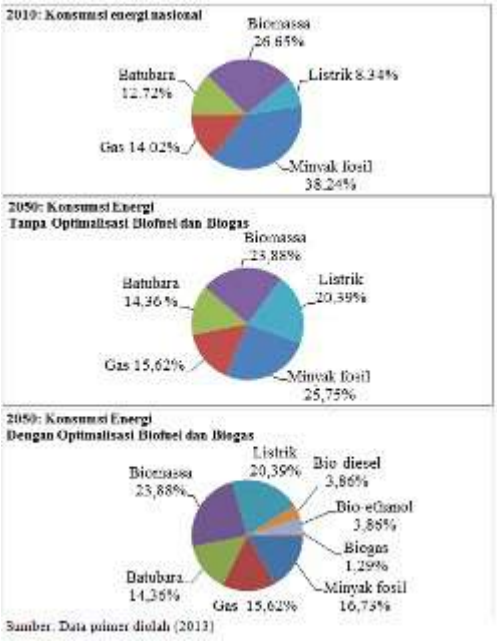
Selain itu, untuk membantu mengatasi kelangkaan minyak fosil di masa mendatang, maka pemerintah harus segera melakukan diversifikasi produksi energi dari sumber energi non-fosil yang potensinya sangat banyak di Indonesia terutama melalui pogram Desa Mandiri Energi. Oleh karena itu, pembangunan infrastruktur *biofuel* dan biogas rumah tangga yang potensi produksinya mencapai 296,43 juta SBM/tahun akan sangat membantu mengurangi laju pemakaian minyak fosil tersebut. Pengembangan *biofuel* dan biogas di Indonesia sebagai salah satu program diversifikasi energi sebaiknya dilakukan melalui pendekatan Desa Mandiri Energi (DME) bagi daerah-daerah yang tidak terjangkau oleh infrastruktur energi dengan tujuan untuk mengurangi ketergantungan masyarakat desa terhadap bahan bakar minyak dalam keperluan sehari-hari. Program DME merupakan alternatif pemecahan masalah penyediaan energi melalui pemanfaatan potensi energi setempat yang dapat mengurangi tingkat kemiskinan, memperkuat ekonomi nasional, dan memperbaiki lingkungan. Dengan mempertimbangkan penggunaan *biofuel*, biomassa, dan biogas, serta dengan melakukan penghematan energi yang intensif, maka porsi minyak fosil pada profil bauran energi nasional tahun 2050 berubah seperti ditunjukkan di bawah ini.

Kondisi Ekonomi Energi pada Tahun 2010 dan Proyeksi Kebutuhan Energi pada Tahun 2050 (Dengan Optimalisasi Sumber Energi *Biofuel*, Biomassa, dan Biogas)

No.	Uraian	Satuan	Tahun 2010	Proyeksi Tahun 2050	
				Sebelum Optimalisasi	Setelah Optimalisasi
1.	**Ekonomi Makro**				
a.	Populasi	Ribu Orang	237.641	359.371	359.371
b.	Rumah tangga	Ribu Rumah Tangga	59.119	77.925	77.925
c.	Area rasio listrik	%	67,20	90	90
d.	PDB-nominal	Triyun Rupiah	6.423	32.920	32.920
		Milyar USD	713,41 pada kurs Rp 9.900/USD	3.698,88 pada kurs Rp 9.900/USD	3.698,88 Pada Kurs Rp 9.900/USD
e.	PDB nominal per kapita	Juta Rupiah/Tahun	27,03	91,60	91,60
2.	**Pasokan Energi Menurut Jenis Energi**	Juta SBM	1.147,67	4.480,67	4.480,67
a.	Produk-produk minyak				
	1) Minyak fosil	Juta SBM	414,82	1.292,77	996,34
	2) Biodiesel	Juta SBM	26,91	-	127,04
	3) Bioethanol	Juta SBM		-	127,04
	4) Biogas penggantii minyak fosil	Juta SBM	-	-	42,35
b.	Produk-produk gas	Juta SBM	189,36	881,18	881,18
c.	Batubara	Juta SBM	137,73	1.684,89	1.684,89
d.	Biomassa	Juta SBM	288,30	493,27	493,27
e.	*Hydropower* (non bahan bakar)	Juta SBM	44,36	73,29	73,29
f.	Panas bumi (non bahan bakar)	Juta SBM	14,68	33,23	33,23
3.	**Konsumsi Energi Menurut Jenis Energi**	Juta SBM	1.087,33	3.289,44	3.289,44
a.	Produk-produk minyak				
	1) Minyak fosil	Juta SBM	387,06	846,97	550,34
	2) Biodiesel	Juta SBM	26,91	-	127,04
	3) Bioethanol	Juta SBM		-	127,04
	4) Biogas penggantii minyak fosil	Juta SBM			42,35
b.	Produk-produk gas	Juta SBM	151,78	513,92	513,92
c.	Batubara	Juta SBM	137,73	472,29	472,29
d.	Biomassa	Juta SBM	288,30	783,84	783,84
e.	Listrik	Juta SBM	90,35	670,81	670,81
4.	**Laju Pertumbuhan Konsumsi Energi Rata-rata per Tahun**	%	3,62	3,21	3,21%
5.	**Intensitas dan Elastisitas Energi Total**				
a.	Intensitas energi	SBM/Kapita	4,55	9,15	9,15
b	Elastisitas energi	SBM/1.000 USD PDB	1,51	0,89	0,89
6.	**Intensitas dan Elastisitas Energi Listrik**				
a.	Konsumsi listrik	MWh	147.380.000	1.084.305.769	1.084.305.769
b	Intensitas listrik	KWh/Kapita	620,20	3.042	3.042
c	Elastisitas listrik	KWh/1.000 USD PDB	206,01	295,92	295,92

Sumber: Data primer diolah (2013)

Bauran Konsumsi Energi Nasional pada Tahun 2010 dan Tahun 2050 (Dengan dan Tanpa Optimalisasi Sumber Energi *Biofuel* dan Biogas)



Kesimpulan

1. Laju pertumbuhan penduduk 1,45% per tahun pada tahun 2010 dan rata-rata 0,98% per tahun selama 40 tahun ke depan serta pertumbuhan PDB yang meningkat lima kali lipat dibadingkan tahun 2010, menyebabkan kebutuhan energi di Indonesia naik tiga kali lipat.
2. Kekurangan energi tahun 2050 tidak dapat dipenuhi hanya dengan penghematan karena posisi ekonomi Indonesia yang masih harus tumbuh, maka usaha pemenuhan energi melalui intensifikasi dan diversifikasi sumber-sumber energi yang ada serta penambahan infrastruktur kilang-kilang baru menjadi satu-satunya jalan untuk pembangunan ekonomi nasional.
3. Berdasarkan kenaikan kebutuhan energi sebesar tiga kali lipat pada tahun 2050, jika sebagian kebutuhan minyak dipenuhi dengan cara pengembangan energi berbahan nabati masing-masing 15% dari biodiesel dan 15% dari bioethanol, maka diperlukan lahan perkebunan seluas 5,49-6,52 juta hektar kebun sawit dan/atau jarak pagar untuk memproduksi bahan baku biodiesel dan seluas 4,34-7,56 juta hektar kebun singkong dan/atau tebu untuk memproduksi bahan baku bioethanol. Sektor perkebunan ini akan menciptakan lapangan pekerjaan bagi 10,98-13,04 juta orang untuk perkebunan sawit dan jarak pagar dan 4,34-15,12 juta orang untuk perkebunan singkong dan tebu. Sementara itu, di sektor industri diperlukan sekitar 54.511-54.346 unit pabrik penghasil biodiesel dengan jumlah tenaga kerja 543.460-545.110 orang serta 60.556-60.727 unit pabrik penghasil bioethanol dengan jumlah tenaga kerja 605.560-607.270 orang. Sedangkan, pemanfaatan biogas sebagai pengganti minyak tanah rumah tangga dapat membantu 10,40 juta rumah tangga miskin.
4. Penggunaan biodiesel, bioethanol, limbah biomassa, dan biogas serta peningkatan efisiensi dari mesin-mesin pembangkit listrik dapat menghemat minyak fosil sebesar 982,29 juta SBM per tahun.
5. Biaya pokok produksi biodiesel dari kelapa sawit sebesar Rp 6.281/liter dan dari jarak pagar sebesar Rp 6.966/liter masih tidak menguntungkan jika diproduksi untuk menggantikan minyak diesel bersubsidi yang harganya Rp 5.500/liter. Sementara itu, biaya pokok produksi bioethanol dari tebu sebesar Rp 6.214/liter sudah layak menggantikan premium bersubsidi yang harganya Rp 6.500/liter dengan margin keuntungan sebesar 4,6%, walaupun tingkat keuntungan ini masih belum menarik bagi para pengusaha untuk memulai usaha industri bioethanol. Sedangkan, harga pokok produksi bioethanol dari singkong sebesar Rp 6.963/liter masih belum layak

menggantikan premium bersubsidi. Walaupun demikian, semua *biofuel* tesebut sudah sangat layak untuk menggantikan minyak fosil yang tidak disubsidi dengan harga Rp 9.800/liter.

Saran

1. Pengembangan energi terbarukan hendaknya difokuskan pada energi panas bumi, energi biomassa, tenaga air skala kecil, energi angin, dan *biofuel*.
2. Menasionalisasikan penggunaan teknologi biogas bagi rumah tangga.
3. Memperluas lahan perkebunan yang hasil produksinya khusus untuk bahan baku pembuatan *biofuel*.
4. Peningkatan pengembangan industri peralatan produksi energi terbarukan dalam negeri (peralatan penyulingan *biofuel*) yang menggunakan produksi dalam negeri.
5. Memberikan peran yang lebih besar pada investasi kecil dan menengah dalam produksi biodiesel dan bioethanol.
6. Menciptakan lebih banyak Desa Mandiri Energi yang diprioritaskan pada daerah-daerah terpencil yang tidak terjangkau infrastruktur energi.
7. Pembangunan industri *biofuel* hendaknya dapat dilaksanakan secara terpadu dengan industri hilirnya agar dapat diperoleh nilai tambah yang lebih besar dengan cara memberdayakan potensi peruntukan lahan penghasil biofuel yang luasnya sekitar 83 juta hektar.
8. Pengurangan subsidi terhadap minyak fosil dan memberikan subsidi untuk faktor-faktor penunjang industri *biofuel*.

Daftar Pustaka

Anonimous, 2011. *Berbagi Ilmu Tentang Teknologi Nuklir*, (Online), (www.setiyabudiutomo.weebly.com/8/post/2011/10/berbagi ilmu tentang teknologi nuklir.html, diakses 11/3/2012).

Anonimous, *Biodiesel*, (Online), (www.jurnalinsinyurmesin.com/index.php? option= com_content&view= artile&id=50, diakses 12/4/2012).

Anonimous, 2009. *Cadangan Panas Bumi di Indonesia Dapat Menghasilkan 27.000 Megawatt*, (Online), (www.bppt.go.id//index.php/lpnk/58-teknologi-material/279-cadangan panas bumi di indonesia dapat menghasilkan 27.000 megawatt.html, diakses 12/3/2012).

Anonimous, 2010. *Energi Nuklir di Indonesia: Ayo Berpaling ke Tenaga Nuklir*, (Online), (www.theglobal-review.com/content_detail.php?lang=id-energi-nuklir-Indonesia-ayo-berpaling-ketenaga-nuklir.html, diakses 10/3/2012).

Anonimous, *Energi Surya*, (Online), (www.jurnalinsinyurmesin.com/index.php? option=com_content&view=article&id=51 energi surya, diakses 12/3/2012).

Anonimous. *Indonesia Kuasai 24% Batubara Dunia*, (Online), (www.duniaindustri.com/ world/586-indonesia-kuasai-24%-batubara-dunia. html, diakses 12/3/2012).

Anonimous, *Kapasitas Energi Laut*, (Online), (www.alpensteel.com/article/51-113-energi-lain-lain/2331-kapasitas-energi-laut.html, diakses 12/3/2012).

Anonimous, *Kebijakan Energi untuk Penyediaan Tenaga Listrik*, (Online), (www.alpensteel.com/ article/ 51-113-energi-lain-lain/ 2334-Kebijakan-Energi-Nasional-Terhadap-Kapasitas-Listrik.html, diakses 12/3/2012).

Anonimous, 2011. *Mengenal gas Alam Padat*, (Online), (www.agussuwasono. com/artikel/oil-knowledge/511-mengenal gas alam padat. html, diakses 21/2/2012).

Anonimous, *Pemanfaatan Energi Nuklir Kian Menghangat*, (Online), (www.alpensteel.com/article/ 54-111-energi-nuklir-pltn/1869-Pemanfaatan Energi Nuklir Kian Menghangat.html, diakses 11/3/2012).

Anonimous, *Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Indonesia*, (Online), (www.alpensteel.com/ article/ 47 - 103-energi-angin-wind-turbine-win- d-mill/2071-pembangkit-listrik tenaga-angin-di-Indonesia.html, diakses 9/4/2012).

Anonimous, *Pengembangan Energi Angin Memungkinkan*, (Online), (www.alpensteel.com/ article/ 47-103- energi- angin- wind-turbine-win-d-mill/556-pengembangan energi angin memungkinkan. Html, diakses 12/3/2012).

Anonimous, *Potensi Kebocoran Radiasi Pada PLTN*, (Online), (www.alpensteel.com/ article/ 54-111 -energi- nuklir-pltn/ 1878- Potensi Kebocoran Radiasi Pada PLTN.html, diakses 11/3/2012).

Anonimous, *SWOT Analisis*. (Online). (http://www.slideshare.net/wicaksana/ swot-analysis-3332735, diakses 25/11/2012).

Anonimous, *Teknologi Dan Teknik Penggunaan Nuklir*. (Online). (www.alpensteel.com/ article/ 54-111-energi-nuklir-pltn/ 1866-Teknologi Dan Teknik Penggunaan Nuklir.html, diakses11/3/2012).

Achdiat Atmawinata. 2011. *Kedalaman Struktur Industri yang Mempunyai Daya Saing di Pasar Global : Penguatan Struktur Industri dalam Pengembangan Klaster Industri berbasis Biomaterial*. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.

Agus Sugiyono. 2005. Pemanfaatan Biofuel Dalam Penyediaan Energi Nasional Jangka Panjang. *Laporan Hasil Penelitian*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Konversi dan Konservasi Energi. BPPT. BPPT Press, Jakarta.

Agus Sugiyono. 2008. Peluang Pemanfaatan Biodiesel Dari Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Minyak Solar di Indonesia. *Laporan Hasil Penelitian*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, BPPT.

Anny Mulyani. dan Irsal Las., 2008. *Potensi Sumberdaya Lahan dan Optimalisasi Pengembangan Komoditas Penghasil Bio-energi di Indonesia.* Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Departemen Kementerian. Jakarta.

Asia Pacific Economic Cooperation, 2010. *Biofuel Costs, Technologies and Economics in APEC Economies*. Final Report. APEC working group. 35 Heng Mui Keng Terrace Singapore.

Armi Susandi dan Yan Firdaus, 2007. *Analisis HPP Biodiesel. Kajian Keekonomian Energi Terbarukan dan Potensi CDM : Studi Kasus Energi Biodiesel dan Energi Angin.* Disampaikan dalam Procedings Joint Convention di Bali. Science Atmosphere Research Group. ITB. Bandung.

Badan Pusat Statistik, Republik Indonesia, 2010. *IHK- dan Inflasi Di 66 Kota indonesia 2011,* (Online). (www.bps.go.id/tab_sub/excel.php? id_subyek = 03&notab=4, diakses 2/3/2012).

Badan Pusat Statistik, Republik Indonesia, 2010. *Jumlah dan Persentase Penduduk Miskin, Garis Kemiskinan, Indeks Kedalaman Kemiskinan (P1), dan Indeks Keparahan Kemiskinan (P2) Menurut Provinsi, 2011*. (Online). (www.bps.go.id/ tab_sub/excel_php? id_subyek=23&notab=1, diakses 28/8/2013)

Badan Pusat Statistik, Republik Indonesia, 2010. *PDB-Atas Dasar Harga Konstan 2000 Menurut Lapangan Usaha (Miliar Rupiah) 2004-2009, (Online).* (www.bps.go.id/tab_sub/excel.php?id_subyek=11&notab=3, diakses 12/4/2012).

Badan Pusat Statistik, Republik Indonesia, 2010. *Luas Panen- Produktivitas- Produksi Tanaman Ubi Kayu Seluruh Indonesia*, (Online). (http://www.bps.go.id/tnmn_pgn.php?kat=3, diakses 25/11/2012).

Badan Pusat Statistik, Republik Indonesia, 2010. *Luas Tanaman dan Produksi Perkebunan Besar Menurut Jenis Tanaman, Indonesia, 1995–2010*, (Online). (http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php? kat=3&tabel=1&daftar= 1&id_ subyek= 54&notab=1 dan 2. diakses 25/11/2012).

Badan Pusat Statistik, Republik Indonesia, 2010. *Populasi Ternak Indonesia, 2000-2010.* (Online). (http://www.bps.go.id/ tab_sub/ view.php? kat= 3&tabel=1&daftar= 1&id_ subyek= 59&notab=5. diakses 25/11/2012).

Badan Tenaga Nuklir Nasional, Republik Indonesia. 2003. *Energi Nuklir Sebagai Bagian dari Sistem Energi Nasional Jangka Panjang.* Jakarta.

Bambang Pramudono. 2007. *Pemberdayaan Energi Alternatif Berbasis Biomassa Sebagai Upaya Mengamankan Pasokan Energi Nasional.* Pidato pengukuhan Guru Besar Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2009. *Bidang Energi Fosil: pencairan batubara sbg bahan bakar.* Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi. BPPT. (Online). (www.ptpse.net/fosil.html, diakses 4/6/2012).

David, F.R. 2009. *Manajemen Strategis : Konsep*. Buku 1, Edisi 12. Pearson Prentice Hall. Terjemahan oleh Sunardi, D. Salemba Empat, Jakarta.

Dedi Rosadi, 2011. *Analisis Ekonometrika dan Runtun Waktu Terapan dengan R*. Aplikasi untuk Bidang Ekonomi, Bisnis dan Keuangan. Penerbit ANDI. Yogyakarta.

Didit Waskito. 2011. *Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi Di Kawasan Usaha Peternakan Sapi.* Tesis. Fakultas Teknik. Program Magister Teknik Manajemen Energi dan Ketenagalistrikan. Universitas Indonesia.

Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2008. *Konsepsi Energi Hijau. Inisiatif Energi Hijau* . Jakarta.

Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2009. *Statistik Perkebunan Jarak Pagar Tahun 3007 – 2009*. Jakarta.

Endang Suarna, 2005. *Prospek dan Tantangan Pemanfaatan Biofuel Sebagai Sumber Energi Alternatif Pengganti Minyak di Indonesia.* Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, BPPT. BPPT Press, Jakarta.

Harsono Soepardjo. A., 2011. *Energi Baru dan Terbarukan. Pusat Studi Kelautan FMIPA-UI, dan Pusat Studi Energi UI.* (Online), (www.rustandi-gallery.blogspot.com/ 2011/06/ energi-baru-dan-terbarukan.html, diakses 12/4/2012).

Institut Pertanian Bogor, 2008. *Perspektif Baru Pembangunan untuk Menanggulangi Krisis Pangan dan Energi*. Bogor.

International Energy Agency (IEA), 2005. *Manual Statistik Energi.* 9 rue de la Fédération, 75739 Paris Cedex 15, France. Terjemahan Bahasa Indonesia : Publikasi Energy Statistics Manual © OECD/IEA, (Online) (http://www.iea.org/about/copyright.asp, diakses 17/2/2012).

Jay Heizer dan Barry Render, 2009. *Manajemen Operasi*. Buku 1, Edisi 9. Pearson Education, Inc. Terjemahan oleh Chriswan Sungkono. : Salemba Empat, Jakarta.

Joko Santosa. dan Yudiartono, 2005. Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Nasional Jangka Panjang di Indonesia, dalam *Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, Dan Energi Terbarukan*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, BPPT. BPPT Press, Jakarta.

Jumina dan Karna Wijaya., 2010. *Prospek dan Potensi Renewable Energy Resources (RES) di Indonesia,* Pusat Studi Energi. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. (Online). (www.pse.ugm.ac.id/ Prospek-dan-Potensi-Renewable-Energy-Resources (RES)-di-Indonesia.html, diakses 12/4/2012).

Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. 2011. *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia.* Center for Data and Information on Energy and Mineral Resources. Editor : Ego Syahrial, dkk. Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia.

Kementerian Keuangan, 2010. *Data Pokok APBN 2005-2010*. Departemen Keuangan Republik Indonesia.

Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, 2006. *Buku Putih Indonesia 2005 – 2025. Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025.* Jakarta.

Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, 2006. *Buku Putih Indonesia, 2005– 2025. Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Teknologi dan Manajemen Transportasi.* Jakarta.

Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, 2011. *Perspektif Pengelolaan Energi yang Ramah Lingkungan Guna Mewujudkan Ketahanan Energi Nasional.* Disampaikan dalam kuliah umum di Unsoed Purwokerto.

La Ode M. Abdul Wahid. 2005. Pemanfaatan Bio-ethanol Sebagai Bahan Bakar Kendaraan Berbahan Bakar Premium. *Laporan Hasil Penelitian*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, BPPT. BPPT Press, Jakarta.

Luluk Sumiarso. 2011. *Kebijakan Energi Baru, Energi Terbarukan, dan Konservasi Energi.* Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia.

Nur Tri Harjanto., 2008. Dampak Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil dan Prospek PLTN Sebagai Sumber Energi Listrik Nasional. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN. *ISSN 1979-2409. No. 01/Tahun I, April 2008.*

Pearce, John A. dan Robinson, Richard B. 1997. *Manajemen Strategik : Formulasi, Implementasi, dan Pengendalian.* Jilid I. Terjemahan oleh Yanivi Bachtiar dan Christine. Salemba Empat, Jakarta.

Riefqi Muna. M, Adriana Elisabeth, dan Nanto Sriyanto., 2010. *Strategi Pengelolaan Keamanan Energi Nasional : Perspektif Keamanan Non-Militer.* Kedeputian : IPSK ©2010 Tim Kajian Keamanan Energi. Laporan Tahap 2. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta.

Riefqi Muna.M., 2011. *Tinjauan Atas Kebijakan Nasional Untuk Keamanan Energi : Upaya Menciptakan Energi Hijau dan Pemanfaatan EBT*. Makalah disajikan dalam Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional (KIPNAS) ke X,. Bidang Politik Internasional, Pusat Penelitian Politik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta.

Sri Yati Prawitasari, 2010. *Analisis Swot Sebagai Dasar Perumusan Strategi Pemasaran Berdaya Saing (Studi pada Dealer Honda Tunggul Sakti di Semarang)*. Skripsi. Fakultas Ekonomi, Universitas Diponegoro Semarang. (Online). (http://www.slideshare.net/RinggaArie/skripsi-analisis-swot-sebagai-dasar-perumusan-strategi-pemasaran, diakses 12/1/2013)

Salundik. 2010. *AplikasiTeknologi Biogas dari Kotoran Manusia*. Bidang Ilmu: Pengelolaan dan Pengolahan Limbah Peternakan. Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi PeternakanFakultas Peternakan. Institut Pertanian Bogor.

Siti Mutmainah, 2012, *Aplikasi Metode Dekomposisi Deret Berkala untuk Meramalkan Jumlah Pelapor SPT Masa PPh Pasal 21/26 Tahun 2012 di Kantor Pelayanan Pajak Pratama Kediri (Studi Kasus di KPP Pratama Kediri)*, Laporan PKL, Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.

Sri Komarayati dan Gusmalina. 2010. Prospek Bioetanol Sebagai Pengganti Minyak Tanah. Laporan *Hasil Penelitian.* Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor

Supadi Pujo Utomo. 2010. *Format dan Wujud Keberpihakan Negara Dalam Pengelolaan Migas di Berbagai Negara*. Makalah disajikan dalam Seminar Formulasikan Kebijakan Peran dan Keberpihakan Pemerintah Kepada Perusahaan Migas Nasional Dalam Pengelolaan Migas, 13 Oktober 2010 Jakarta.

Teguh Wikan Widodo, A.Asari, dan Ana N., 2007. *Biogas dari kotoran sapi, Mesin Pengolahan Jarak Pagar dan Tungku Sekam. Teori dan Konstruksi Instalasi Biogas.* Makalah disajikan dalam Seminar Tanggal 21-25 Mei 2007 di Serpong. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian. Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian.

Universitas Indonesia. 2010. *Analisis Industri Minyak dan Gas di Indonesia : Masukan Bagi Pengelola BUMN*. Fakultas Ekonomi, UI. Jakarta.

Wahyudi Citrosiswoyo. 2008. *Geothermal: Dapat mengurangi ketergantungan bahan bakar fosil dalam menyediakan listrik negara.* Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Jurusan Teknik Kelautan FTK- dan Pusat Studi Kebumian dan Bencana LPPM, Institut Teknologi Surabaya.

Wijajono Partowidagdo., Dicky E.H., Asclepias R.S.I., dan Arsegianto., 2000. *Agenda 21 Sektor Energi : Meningkatkan Kualitas Hidup Manusia Indonesia Melalui Pembangunan Sektor Energi yang Berkelanjutan*. Jakarta.

Studi Awal Pengolahan Sampah kota Sebagai Energi Baru Terbarukan Dengan Anaerobic Biodigester

Caturwati , Mekro, Angga
Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jend. Sudirman Km.3 Cilegon, 42435
Email : n4wati@yahoo.co.id

Abstrak

Sampah merupakan hasil samping kegiatan manusia yang sering kali dikesampingkan karena dianggap tidak berguna dan menjadi sumber pencemaran lingkungan. Sebaliknya dunia saat ini mengalami krisis energi akibat cadangan energi fosil yang semakin menipis. Hal ini menuntut dilakukannya pengembangan teknologi pengolahan sampah sebagai sumber energi seperti teknologi anaerobic biodigester. Paper ini menampilkan hasil eksperimen pengolahan sampah organic dengan anaerobic biodigester dengan starter kotoran sapi, kotoran kambing dan air lindi. Hasil penelitian menunjukkan biogas yang dihasilkan dari starter kotoran kambing memiliki kadar gas metana sebesar 64.3 % . Nilai ini sangat baik mendekati nilai maksimal standar biogas menurut Energi Resources Development series No. 19 Esca, Bangkok dengan kisaran kandungan metana sebesar 55 – 65 %

Kata kunci : sampah, biodigester, starter, biogas.

Abstract

Garbage is a byproduct of human activity that is often dismissed as useless and become a source of environmental pollution. Instead the world is currently experiencing an energy crisis due to fossil energy reserves are dwindling. It demanded the development of waste treatment technologies as energy sources such as anaerobic biodigester technology. This paper show the experimental results of processing organic waste by anaerobic biodigester with starter manure, goat manure and leachate. The results showed biogas produced from starter goat manure had higher levels of methane gas by 64.3%. This is very good value approaches the maximum value of the biogas standards according to the Energy Resources Development Series No. 19 Esca, Bangkok with a range of methane content of 55-65%

Keywords :garbage, biodigester, starter, biogas

1. Pendahuluan

Semakin menipisnya cadangan sumber energi tidak terbarukan yang berasal dari fosil seperti minyak bumi dan gas mengakibatkan nilai bahan bakar ini semakin meningkat. Sebaliknya peningkatan taraf hidup masyarakat diikuti dengan peningkatan kebutuhan energi dalam menunjang aktivitasnya. Hal ini memaksa kita untuk mencari dan mengembangkan segala bentuk energi alternative lain yang mungkin menjadi sumber energi baru terbarukan.

Ada banyak alasan mengapa energi terbarukan menjadi pilihan, diantaranya; relatif tidak mahal, bersifat netral karbon, kebanyakan tidak menimbulkan polusi dan semakin mendapatkan dukungan dari berbagai LSM untuk menggantikan solusi energi tidak terbarukan berbasis bahan bakar minyak. Alasan lain yang tidak kalah menarik adalah penggunaan penggunaan energi terbarukan untuk menggantikan energi berbasis minyak dan gas sekaligus mengurangi emisi gas penyebab pemanasan global.

Tingkat pertumbuhan penduduk Indonesia yang tinggi mengakibatkan jumlah sampah yang dihasilkan juga bertambah (Damanhuri, 1995). Kondisi ini menjadi masalah yang penting karena pengelolaan sampah di Indonesia masih belum memadai, dimana sampah hanya dikumpul,

diangkut lalu dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) (Khair AM,2009). Pengelolaan sampah yang demikian berpotensi mencemari lingkungan dan menurunkan kualitas hidup masyarakat. Salah satu konsekuensi jangka panjang yang tidak kalah penting dari sistem di TPA ini adalah pembentukan emisi gas metan yang tidak terkontrol dari tumpukan sampah yang terurai secara aerob dan anaerob, membentuk gas rumah kaca dan berkontribusi terhadap pemanasan global 21 kali lebih besar daripada gas karbondioksida (Deublein & Stenhauser, 2008).

Guna mengurangi pencemaran lingkungan dan efek global gas rumah kaca, perlu dikembangkan metode penanganan sampah yaitu dengan melakukan penumpukan sampah yang di tutup dengan tanah (landfill method) pada jangka waktu tertentu sehingga sampah tidak mengeluarkan bau yang mengganggu daerah sekitar, serta proses anaerob pada sampah dapat menghasilkan gas yang mengandung metana salah satu gas yang merupakan bahan bakar/ sumber energi.

Dengan adanya metode penanganan sampah tumpuk – timbun (landfill) diharapkan masalah lingkungan dan perolehan energi baru terbarukan dapat terpenuhi. Dalam studi awal potensi gas metana yang dihasilkan dengan metode landfill ini akan dibuat suatu penelitian anaerobic digester yang dipergunakan sebagai sistem untuk mengolah sampah kota .

Starter yang dipergunakan dalam anaerobic digester antara lain : kotoran sapi, kotoran kambing dan air lindi. Air lindi yang dipergunakan merupakan air limbah dari proses gasifikasi sampah dengan metode landfill yang sudah ada di TPA Bagendung.

2. Kajian Literatur

Mujahidah, dkk (2013) melakukan pengujian produksi biogas dari sampah basah rumah tangga dengan galon air sebagai digester (skala kecil). Konsentrasi *starter* kotoransapi yang terdiri atas 5 tingkatan masing-masing 0%; 6,25%; 12,5%; 18,75% dan 25%, serta pengaruh rasio sampah rumah tanggat erhadap air yang terdiri atas 5 tingkatan rasio masing-masing 1:2; 1:2,5; 1:3; 1:3,5 dan 1:4 atas dasar berat/volume (b/v) dengan waktu fermentasi selama 3 hari. Hasil yang diperoleh menunjukkan peningkatan konsentrasi starter kotoran sapi menurunkan produksi biogas dengan produksi tertinggi (971,4 mg/L) terdapat pada penggunaan 6,25% starter. Sedangkan produksi biogas tertinggi (631,29 mg/L) ditemukan pada penggunaan rasio air/sampah rumah tangga 1:2 atas dasar berat/volume (b/v). Pada hasil juga menunjukkan waktu fermentasi yang menghasilkan rendemen biogas tertinggi tercepat diperoleh pada waktu fermentasi satu hari.

Yeny , dkk (2012), melakukan pengujian mengenai pengaruh penambahan limbah isi rumen sapi (ko substrat) pada pembentukan biogas dari sampah sayur dan buah (substrat). Pembentukan biogas menggunakan digester batch anaerob, terdiri atas digester kontrol (berisi substrat) dan digester uji (berisi substrat dan ko-substrat) pada skala laboratorium dengan volume 50 liter dan waktu retensi 30 hari. Volume biogas yang terbentuk diukur berdasarkan kenaikan drum penampung biogas, sedangkan komposisi biogas diukur dengan metode absorbsi menggunakan absorban berupa alkohol untuk pengujian gas metan, dan NaOH untuk pengujian gas karbondioksida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ko-substrat limbah isi rumen sapi mampu meningkatkan volume biogas yang terbentuk, diketahui dari rata-rata produksi kumulatif biogas digester uji (38,13 liter) yang relatif lebih besar 79,88% daripada rata-rata produksi kumulatif biogas digester kontrol (21,20 liter). Penambahan ko-substrat sekaligus mampu meningkatkan kualitas biogas yang terbentuk, ditinjau dari kandungan gas metan pada

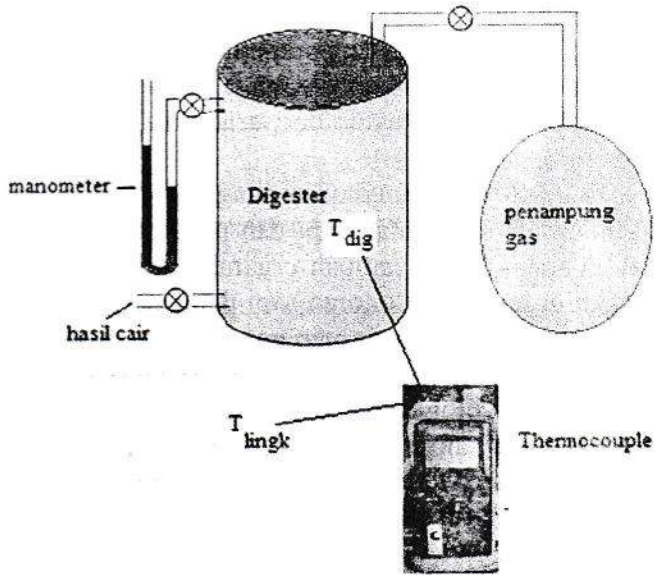
digester uji (volume rata-rata 11,74 liter atau 30,78% dari total volume gas) yang relatif lebih besar ± 7 kali lipat dibandingkan terhadap kandungan gas metan pada digester kontrol (volume rata-rata 1,41 liter atau 11,27% dari total volume gas). Melalui uji nyala, terbukti bahwa biogas digester uji dapat terbakar dengan nyala berwarna biru, sedangkan biogas pada digester kontrol tidak dapat terbakar sama sekali.

Maya Natalia, dkk (2014), melakukan pengujian biogas dari pencampuran antara sampah organik sayur-sayuran dengan kotoran sapi dan penambahan urea pada starter secara anaerobik pada reaktor batch. Variasi antara sampah organik dengan kotoran sapi 1:1, 1:2, 1:3 sedangkan variasi antara sampah organik dan kotoran sapi dengan penambahan urea sebanyak 30 gram, 40 gram, dan 50 gram. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahuai pengaruh starter yang digunakan terhadap kuantitas gas metana yang dihasilkan serta pengaruh penambahan urea dan mengetahui komposisi optimum antara biogas dengan starter. Hasil penelitian menunjukkan kandungan glukosa yang terdapat pada sampah organik sayur-sayuran sebesar 1,53 % dan jumlah biogas terbaik dihasilkan oleh digester 1 sebesar 3,29 %.

Jika dilihat dari ketiga kasus diatas, semuanya melakukan pengujian produksi biogas dengan bahan dasar sampah. Kasus pertama menguji produksi biogas dari sampah basah rumah tangga dengan skala kecil yaitu dengan galon air sebagai digesternya. kasus kedua menguji mengenai pengaruh penambahan limbah isi rumen sapi (ko substrat) pada pembentukan biogas dari sampah sayur dan buah (substrat) pada kasus ketiga menguji biogas dari pencampuran antara sampah organik sayur-sayuran dengan kotoran sapi dan penambahan urea pada starter secara anaerobik pada reaktor batch.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan menguji produksi biogas dari sampah sampah organik dengan menggunakan alat biodigester bertipe fixed domed yang terbuat dari drum plastic dengan penambahan starter : kotoran sapi, kotoran kambing dan air lindi. Rancang bangun alat uji diperlihatkan pada Gambar 1. Digester terbuat dari drum plastic berukuran 180 liter dan bahan baku berupa sampah organic dan air yang dicampur dengan starter.

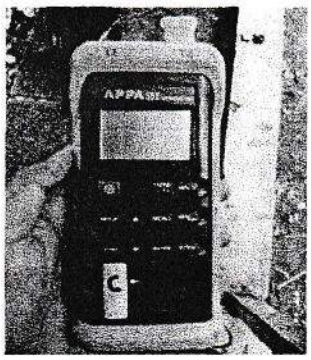


Gambar 1. Susunan alat penelitian biodigester.

Dalam penelitian ini dibuat 3 buah digester dengan bahan baku sebagai berikut:

Digester 1 :	Sampah organik	: 60 liter
	Air	: 30 liter
	Kotoran Sapi	: 30 liter = 29.9 kg
Digester 2 :	Sampah organik	: 60 liter
	Air	: 30 liter
	Kotoran kambing	: 30 liter = 21.1 kg
Digester 3 :	Sampah organik	: 60 liter
	Air lindi	: 60 liter

Proses pembentukan biogas untuk ketiga digester tersebut diamati melalui pengukuran temperatur dan tekanan dalam ruang digester setiap hari pada pagi hari pukul 06.00, siang hari pukul 12.00 dan sore hari pukul 18.00 . Selain itu dilakukan pencatatan massa biogas yang dihasilkan dari hari ke hari yang tertampung dalam penampung gas. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan Thermocouple type K seperti tampak pada Gambar 2. Sedangkan pengukuran tekanan digester dilakukan dengan manometer dengan fluida kerja air.



Gambar 2. Thermocouple type K

Biogas yang dihasilkan diteliti kandungannya dengan biogas analyzer seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Biogas Analyzer

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

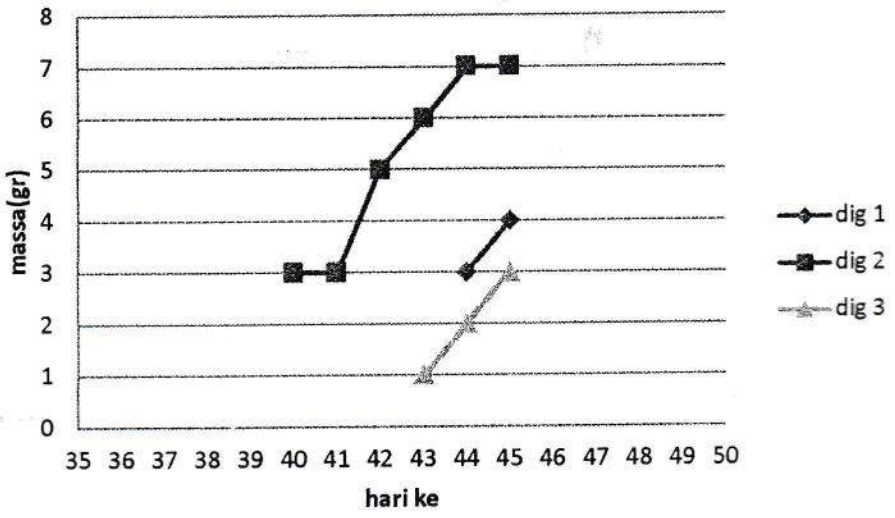
4.1 Massa biogas yang dihasilkan

Pengukuran massa biogas yang tertampung dilakukan setiap hari. Hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel 1 dimana gas mulai terukur pada hari ke 40 sejak bahan baku mulai dimasukkan ke dalam digester. Hasil pengamatan menunjukkan digester 2 yang menggunakan starter kotoran kambing menghasilkan biogas lebih cepat dan lebih banyak dibandingkan digester 1 dan digester 3 yang menggunakan starter kotoran sapid an air lindi.

Tabel 1. Massa biogas tertampung.

hari ke	massa gas (gram)		
	dig 1	dig 2	dig 3
35			
36			
37			
38			
39			
40		3	
41		3	
42		5	
43		6	1
44	3	7	2
45	4	7	3

Besarnya massa biogas yang dihasilkan dan tersimpan dalam balon penampung diperlihatkan pada Gambar 3. Digester dengan starter kotoran kambing terlihat lebih besar menghasilkan biogas dibandingkan dengan starter dari kotoran sap dan air lindi. Produksi biogas untuk starter kotoran kambing mulai menghasilkan gas pada hari ke 40. Starter air lindi mulai menghasilkan gas pada hari ke 43 lebih awal dibandingkan starter kotoran sapi yang memerlukan waktu 43 hari, namun dalam jumlah yang lebih rendah.



Gambar 3. Massa gas hasil proses gasifikasi anaerobic dalam digester

4.2 Kandungan Gas Metana

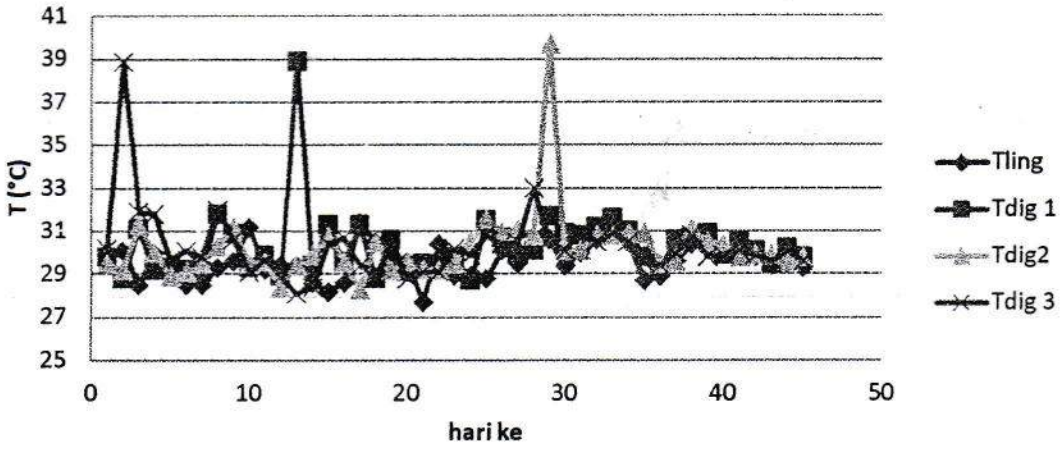
Hasil uji komposisi gas hasil bio digester 2 dengan starter kotoran kambing pada hari ke 42 dilakukan dengan gas analyzer di TPST Bantar Gebang hasil pengukuran diperlihatkan pada pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji komposisi biogas pada digester 2

No.	Unsur	Komposisi %
1	CH_4	64.3
2	CO_2	12.5
3	O_2	6.2
4	BAL	17.0

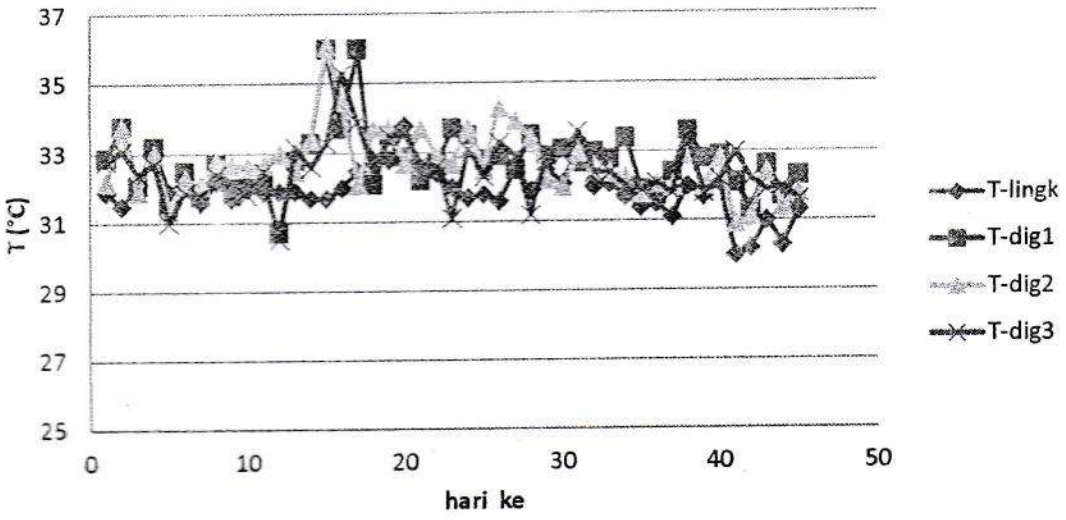
Hasil uji komposisi gas dari digester 2 yaitu sampah organic dengan starter kotoran kambing menghasilkan kualitas biogas yang cukup baik yaitu dengan kandungan unsure metana 64.3 %. Nilai ini berada dalam range komposisi biogas dari Energi Resources Development series No. 19 Esca, Bangkok seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 sebesar 55 – 65 %.

4.3 Temperatrur digester



Gambar 4. Temperatur lingkungan dan digester pada pagi hari.

Pengukuran temperatur digester dan temperatur lingkungan dilakukan dengan thermokople pada pagi siang dan sore hari. Hasil pengukuran pada pagi hari jam 06.00 diperlihatkan pada Gambar 4 sedangkan hasil pengukuran pada siang hari diperlihatkan pada Gambar 5 yaitu hasil pengukuran pada jam 12.00.



Gambar 5. Temperatur lingkungan dan digester pada siang hari pk. 12.00

Hasil pengukuran temperatur menunjukkan temperatur digester lebih tinggi dibandingkan temperatur lingkungan baik pada pagi hari maupun pada siang hari. Terdapat temperatur puncak untuk setiap digester pada hari yang berbeda untuk tiap digester terutama untuk pengukuran pagi hari.

Temperatur puncak digester 3 yaitu dengan starter air lindi memiliki temperatur puncak 38.9 pada hari ke 2. Sedangkan temperatur digester 1 yaitu dengan starter kotoran sapi memiliki temperatur puncak 38.9 pada hari ke 13. Digester 2 yaitu dengan starter kotoran kambing memiliki temperatur puncak sebesar 39.7 pada hari ke 29.

4.4 Tekanan Digester

Pengukuran tekanan digester pada siang hari jam 12.00 diperlihatkan pada Tabel 3. dimana manometer menggunakan air sebagai fluida kerja. Δh menunjukkan beda ketinggian pada kedua lengan manometer. Sehingga tekanan gage di dalam digester dapat dinyatakan sebagai :

$$P = \rho . g . \Delta h \qquad (1)$$

Dimana :

P = tekanan dalam digester (N/m^2)

g = konstanta gravitasi (m/s^2)

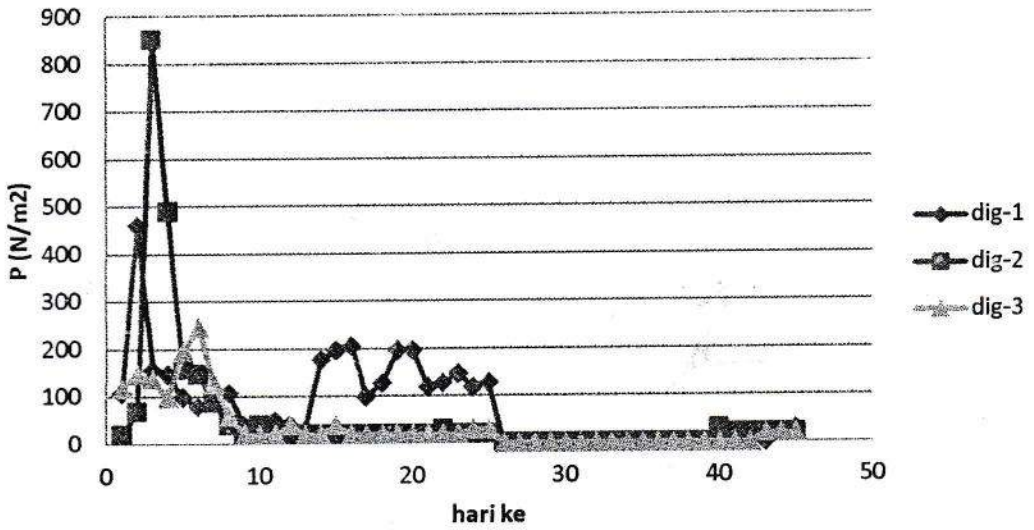
Δh = beda ketinggian permukaan cairan pada lengan manometer (m)

Tabel 3 Tekanan digester pada siang hari pk. 12.00

hari ke	Jam	DIGESTER 1 (SAPI)		DIGESTER 2 (KAMBING)		DIGESTER 3 (LINDI)	
		Δh(mm)	P (Pa)	Δh(mm)	P (Pa)	Δh(mm)	P (Pa)
	1:00						
1	12:00	11	107.69	2	19.58	12	117.48
2	12:00	47	460.14	7	68.53	15	146.85
3	12:00	16	156.64	87	851.75	14	137.06
4	12:00	15	146.85	50	489.51	10	97.90
5	12:00	10	97.90	16	156.64	20	195.80
6	12:00	8	78.32	15	146.85	25	244.76
7	12:00	9	88.11	9	88.11	13	127.27
8	12:00	11	107.69	4	39.16	6	58.74
9	12:00	4	39.16	2	19.58	2	19.58
10	12:00	4	39.16	4	39.16	2	19.58
11	12:00	5	48.95	3	29.37	2	19.58
12	12:00	4	39.16	2	19.58	4	39.16
13	12:00	3	29.37	2	19.58	2	19.58
14	12:00	18	176.22	2	19.58	2	19.58
15	12:00	20	195.80	2	19.58	4	39.16
16	12:00	21	205.59	2	19.58	2	19.58
17	12:00	10	97.90	2	19.58	2	19.58
18	12:00	13	127.27	2	19.58	2	19.58
19	12:00	20	195.80	2	19.58	2	19.58
20	12:00	20	195.80	2	19.58	2	19.58
21	12:00	12	117.48	2	19.58	2	19.58
22	12:00	13	127.27	3	29.37	2	19.58
23	12:00	15	146.85	2	19.58	2	19.58
24	12:00	12	117.48	2	19.58	3	29.37
25	12:00	13	127.27	2	19.58	3	29.37
26	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
27	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
28	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
29	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
30	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
31	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
32	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
33	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
34	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
35	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
36	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00

37	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
38	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
39	12:00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
40	12:00	0	0.00	3	29.37	0	0.00
41	12:00	0	0.00	2	19.58	0	0.00
42	12:00	0	0.00	2	19.58	0	0.00
43	12:00	0	0.00	2	19.58	2	19.58
44	12:00	2	19.58	2	19.58	2	19.58
45	12:00	3	29.37	2	19.58	2	19.58

Gambar 6. memperlihatkan hasil pengukuran tekanan dalam digester pada siang hari pk 12.00 selama 45 hari.



Gambar 6. Hasil pengukuran tekanan digester pada siang hari.

Puncak tekanan tertinggi untuk digester 2 yaitu digester dengan starter kotoran kambing memberikan nilai tekanan jauh lebih tinggi dibandingkan digester 1 dengan starter kotoran sapid an digester 3 dengan starter air lindi.

5. Penutup dan Kesimpulan

Hasil pengujian biodigester sampah organic dengan starter : kotoran sapi, kotoran kambing dan air lindi memperlihatkan bahwa proses pembentukan biogas dalam digester memerlukan waktu paling singkat 40 hari.

Biodigester dengan starter berupa kotoran kambing (digester 2) memberikan hasil biogas yang lebih besar dibandingkan kotoran sapi maupun air lindi.

Hasil pengukuran komposisi biogas yang dihasilkan menunjukkan bahwa biogas yang dihasilkan dari digester 2 yaitu dengan starter kotoran kambing memberikan nilai kandungan metana 64.3 % mendekati nilai maksimum standar biogas menurut Energi Resources Development series No. 19 Esca, Bangkok dengan kisaran kandungan metana sebesar 55 – 65 %. Ini menunjukkan biogas yang dihasilkan sangat baik.

Hasil pengukuran temperatur dan tekanan dalam digester menunjukkan adanya kondisi-kondisi puncak yang spesifik untuk tiap starter, namun demikian penelitian ini perlu dilakukan pengulangan untuk memperoleh kepastian terhadap fenomena-fenomena proses yang terjadi dalam digester

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai melalui Hibah Bersaing Prioritas Untirta tahun 2015. Untuk itu kami mengucapkan banyak terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Sultang Ageng Tirtayasa atas dukungan pendanaan serta pembinaan yang diberikan.

Daftar Pustaka

[1] Felix S, A, P. Salim, dan D. Ikhsan. 2012. *Pembuatan Biogas dari Sampah Sayuran*. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri.

[2] Fry. 1973. Methane Digesters for Fuel Gas and Fertilizer. The New Alchemy Institute. Massachusetts. 8th Printing.

[3] Hermawan. 2007. *Sampah Organik Sebagai Bahan Baku Biogas*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

[4] Kevin Jonasson, Biomass to energy and chemicals through anaerobic digestion and gasification, NRC-Institute for Chemical Process and Environmental Technology, Sebnem Madrali, Canada.

[5] Pambudi . 2008. *Pemanfaatan Biogas Sebagai Energi Alternatif*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

[6] Rahayu, S. D. Purwaningsih dan Pujianto. 2009. *Pemanfaatan Kotoran Ternak Sapi Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan Beserta Aspek Sosial Kulturalnya*. Inotek .

[7] Samsia, S. 2011. Produksi *Biogas Dari Buah Busuk Sebagai Sumber Listrik*. Makalah Workhop Energi Baru Dan Terbarukan. Yogjakarta 21 – 22 september 2011.

ISSN 1693-439

Studi Biobriket Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan

Muhammad Arief Karim[1], Eko Ariyanto[1*], AgungFirmansyah[1]

[1]Program Studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Palembang
Jln. A. Yani 13 Ulu Palembang, 30263, Telp. 0711 510820

[*] Email: ekochemump2002@yahoo.com

Abstract

Depletion of fossil energy reserves as a result of increased population growth and industrial sectors. Biomass can be considered as the best option for alternative renewable energy. The objective of this study was to investigate the possibility of water hyacinth (Eichhornia crassipes) to produce bio-briquette. The briquetting experiment was conducted with different both of tapioca strach and wood glue adhesive. The presentage of adhesive was 4%, 6%, 8%, 10%, and 12%. The briquettes were tested to evalueted water content, ash content and calorific value. The results showed that the value of water content and ash content increased by increasing presentage adhesive on bio-briquete. However, the calorific value reached the maximum point of 10 % and 8 % for addition tapioca strach and wood glue adhesive, respectively.

Key word: water hyacinth, bio-briquette, renewable energy

1. Pendahuluan

Pemanfaatan sumber energi fosil yang berlebihan dapat mengakibatkan semakin menipisnya ketersediaan sumber energi tersebut. Ketergantungan Indonesia pada energi fosil membuat produksi minyak bumi menurun drastis. Keadaan ini didorong oleh peningkatan dan pertumbuhan sektor industri dan penduduk. Menipisnya cadangan energi fosil harus segera diimbangi dengan penyediaan energi alternatif yang dapat diperbaharui, melimpah jumlahnya, dan murah harganya sehingga terjangkau oleh masyarakat luas (Elfiano, Natsir et al. 2014).
Berbagai solusi telah dilakukan oleh para ilmuan untuk mengatasi ketergantungan terhadap sumber energi tak terbarukan. Diantara berbagai solusi tersebut adalah dengan memanfaatkan energi terbarukan seperti biomassa. Energi biomassa dengan metode pembriketan adalah mengkonversi bahan baku padat menjadi suatu bentuk hasil kompaksi yang lebih mudah untuk digunakan (Husada 2008). Penggunaan biobriket sebagai bahan bakar merupakan salah satu solusi alternatif untuk menghemat pemakaian bahan bakar fosil dan dalam penggunaan secara berkelanjutan dapat mengurangi dampak emisi karbon (Supatata, Buates et al. 2013).
Sumber bahan baku biobriket dari bahan hayati adalah kulit kopi (Suarez and Luengo 2003), ampas tebu (Elfiano, Natsir et al. 2014), kayu (Elfiano, Natsir et al. 2014), dan tongkol jagung (Sinurat 2011). Butiran halus bioarang dari hasil karbonisasi bahan hayati membutuhkan perekat sehingga biobriket tidak mudah hancur. Jenis perekat berpengaruh terhadap kadar air, kadar abu dan nilai kalor. Kadar air semakin rendah jika jumlah bioarang semakin banyak (Ndraha 2009).
Terdapat dua golongan perekat dalam pembuatan biobriket, yaitu perekat yang berasap (tar, *pitch*, *clay*, dan molases) dan perekat yang kurang berasap (pati, dekstrin, dan tepung beras) (Saleh 2013). Pemakaian tar, *pitch*, *clay*, dan molases sebagai bahan perekat menghasilkan biobriket yang berkekuatan tinggi tetapi mengeluarkan banyak asap jika dibakar yang disebabkan adanya komponen yang mudah menguap. Bahan perekat pati, dekstrin, dan tepung beras akan menghasilkan biobriket yang tidak berasap dan tahan lama tetapi nilai kalornya tidak tinggi. Bahan perekat dari tumbuh-tumbuhan seperti pati (tapioka) memiliki keuntungan dimana jumlah perekat yang dibutuhkan untuk jenis ini jauh lebih sedikit dibandingkan dengan bahan perekat hidrokarbon (Saleh 2013). Bahan perekat tapioka memiliki kelemahan yaitu sifatnya dapat menyerap air dari udara sehingga tidak baik apabila berada dalam kelembaban udara yang tinggi. Karakteristik bahan baku perekat untuk pembuatan biobriket adalah memiliki gaya *kohesi* yang baik bila dicampurkan dengan bioarang, mudah terbakar, tidak berasap, mudah didapat dalam jumlah banyak dan murah harganya dan tidak mengeluarkan bau, tidak beracun dan tidak berbahaya (Fachry, Sari et al. 2010).

ISSN 1693-439

Jenis perekat yang digunakan adalah salah satu faktor penting yang harus dipertimbangkan saat pembriketan dengan tujuan agar biobriket akan melepaskan panas maksimum. Dan tujuan pembuatan biobriket adalah untuk menghasilkan sumber bahan bakar yang baik dan efisien energi yang tinggi maka penggunaan persentase bahan perekat adalah salah satu campuran yang harus dipertimbangkan.
Beberapa hasil penelitian nilai kalor biobriket dari berbagai media antara lain eceng gondok (2785 kal/g) (Supatata, Buates et al. 2013) dan serbuk kayu (4820 kal/g) (Akowuah, Kemausuor et al. 2012).
Pada penelitian ini, eceng gondok dipilih sebagai bahan biomassa yang kemudian dibuat menjadi biobriket bioarang. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) adalah salah satu jenis tumbuhan air mengapung. Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang merusak lingkungan perairan. Eceng gondok dengan mudah menyebar melalui saluran air kebadan air lainnya. Pertumbuhan eceng gondok yang cepat terutama disebabkan oleh air yang mengandung nutrien yang tinggi, terutama yang kaya akan nitrogen, fosfat dan potassium. Analisa nilai kalor, kandungan air dan sulfur dilakukan pada biobriket eceng gondok ini untuk mengetahui karakteristik pembakaran sehingga biobriket ini berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Bahan Penelitian:

Bahan penelitian ini berupa eceng yang didapatkan di Sungai Musi Palembang, Sumatera Selatan. Bahan perekat terdiri dari tepung tapioka dan lem kayu.

2.2 Metodologi Penelitian

2.2.1 Proses pengolahan bahan menjadi arang

Enceng Gondok dibersihkan dari kotoran yang terbawa. Eceng gondok yang telah dipotong kecil-kecil (± 3 cm) dikeringkan di bawah sinar matahari selama 2 hari untuk mengurangi kadar air. Proses pengarangan Enceng Gondok menggunakan furnace dengan suhu 400 ^{0}C selama 1 jam. Setelah dikeluarkan dari dalam furnace, lalu arang bioarang enceng gondok di haluskan lalu dan diayak ukuran 35 mesh.

2.2.2 Proses pencampuran arang dengan perekat

Timbang berat bioarang eceng gondok dan perekat. Ditimbang bioarang enceng gondok untuk persentase bahan perekat masing-masing sebesar 4%, 6%, 8%, 10%, dan 12%. Setelah ditimbang perbandingan antara bioarang enceng gondok dan perekat, diaduk sampai perekat dan arang Enceng Gondok bercampur. Beri label pada tiap campuran sesuai perlakuan.

2.2.3 Proses pencetakan biobriket

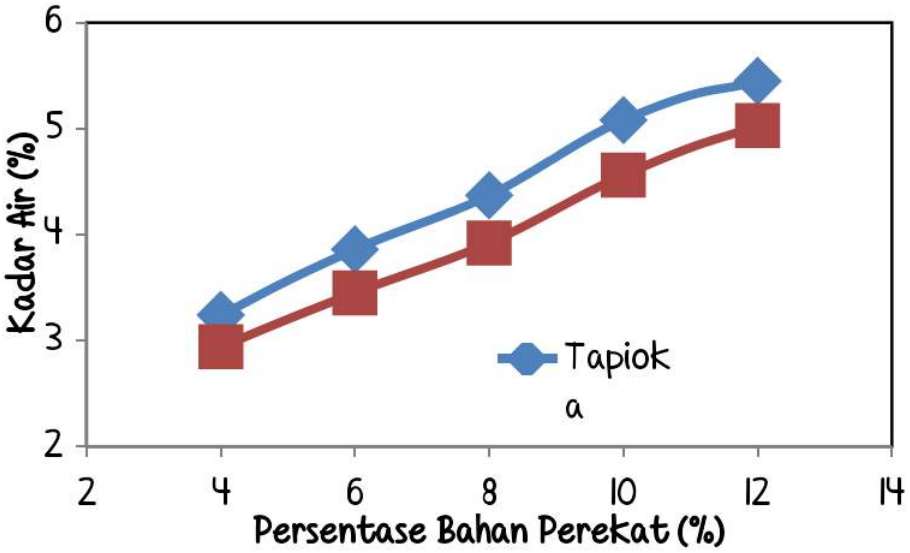
Dimasukkan bahan biobriket yang sudah dicampur ke dalam alat pencetak biobriket. Biobriket dikeringkan dengan oven pada suhu 80°C selama ± 10 jam. Biobiobriket dikeluarkan dari dalam oven dan dibiarkan sampai dingin. Dan biobiobriket yang dihasilkan kemudian diuji kualitas.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa Kadar Air

Kadar air menentukan kualitas biobriket dan karakteristik pembakaran. Semakin tinggi kadar air, maka semakin sulit biobriket tersebut terbakar. Tingkat kadar air membantu dalam proses penyimpanan dimana untuk mencegah terjadinya proses kelembaban. Menurut Misha dan Grover (1996) presentase kadar air yang sesuai dengan standard adalah 10 – 15 %. Dalam kisaran tersebut biobriket lebih stabil dan tahan lama.
Dari hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 1 kadar air yang terdapat pada biobriket enceng gondok berbanding lurus dengan penambahan perekat yang dilakukan, dimana semakin banyak perekat yang dicampurkan pada biobriket maka semakin tinggi kadar air yang dimiliki oleh biobriket tersebut. Dari data hasil pada Gambar 1 menunjukkan bahwa kandungan air dari biobriket dengan campuran perekat tapioka adalah antara 3,24 – 5,45 % dan lem kayu antara 2,94 – 5,03 %. Biobriket dengan persentase perekat terendah yaitu 4 % memiliki kadar air paling sedikit yaitu 2,9 % untuk perekat lem kayu dan 3,24 % untuk perekat tapioka. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perekat memberi pengaruh yang berarti terhadap kadar air yang terkandung dalam biobriket.

ISSN 1693-439

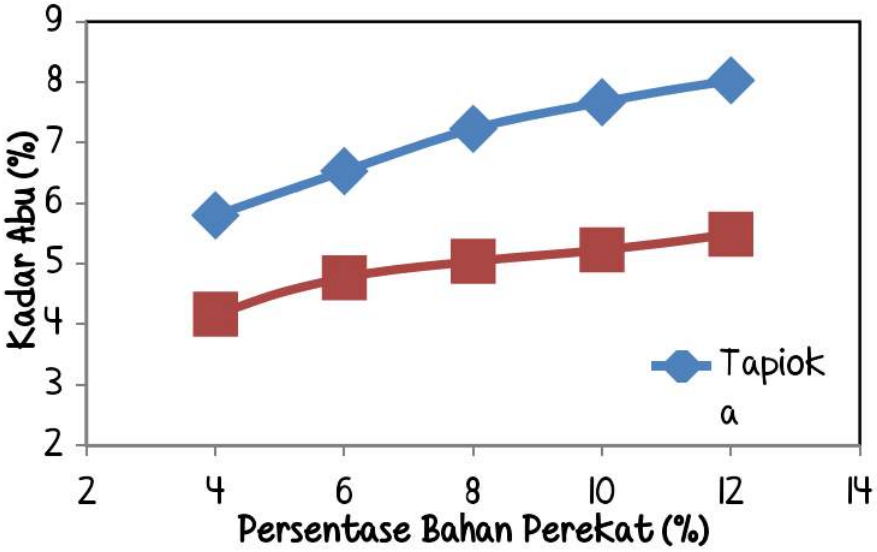


Grafik 1. Pengaruh jumlah perekat terhadap % kadar air

Pengaruh jenis perekat terhadap kadar air dapat dilihat pada Gambar 1. Dari Gambar 1 terlihat kadar air tertinggi terdapat pada perekat dari tapioka. Kadar air yang besar ini disebabkan karena adanya ikatan kimia air didalam tapioka. Kadar air tertinggi pada 5,45 % pada jenis perekat tepung tapioka dengan jumlah perekat 12% sedangkan kadar air terendah sebesar 2,94 % terdapat pada jenis perekat dari lem kayu dengan jumlah perekat 4%. Faktor lain adalah pada pencampuran dengan menggunakan lem kayu menghasilkan biobriket yang kurang berpori sehingga tidak mudah air dilepaskan pada waktu pengeringan.
Dengan kadar air yang tinggi dalam biobriket, memerlukan panas yang tinggi untuk menguapkan air dan kadang-kadang briket terbelah menjadi potongan-potongan kecil pada tingkat pembakaran rendah dan sehingga lebih sedikit panas yang dihasilkan oleh pembakaran biobriket dansebagai akibatnya asap yang dihasilkan akan banyak (Akowuah, Kemausuor et al. 2012).

4.2.2 Analisa Kadar Abu

Kadar abu adalah persentase dari zat-zat yang tersisa dari proses pembakaran dan sudah tidak memiliki unsur karbon. Semakin tinggi kadar abu dalam suatu biobriket maka kualitas biobriket akan semakin rendah, karena kandungan abu yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor dari biobriket. Dari Gambar 2 dapat dilihat pengaruh jumlah perekat terhadap nilai kadar abu dari biobriket hasil penelitian.



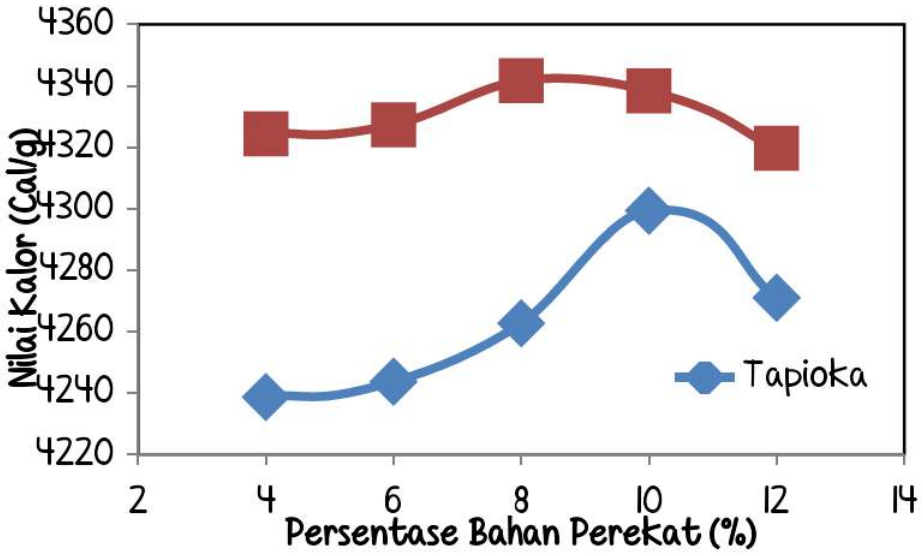
Gambar 2. Pengaruh jumlah perekat terhadap % kadar abu.

ISSN 1693-439

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan tapioka sebagai perekat menghasilkan kadar abu yang tinggi dibandingkan menggunakan perekat lem kayu. Kadar abu biobriket arang enceng gondok tertinggi adalah 8,03% pada jenis perekat 12% tapioka dan kadar abu terendah 4,17% pada jenis perekat 4% lem kayu. Tingginya kadar abu pada perekat tapioka disebabkan karena tapioka memiliki partikel didalam struktur yang mudah berubah menjadi abu setelah proses pembakaran. Kadar abu adalah komponen biomassa yang tidak mudah terbakar dan mempengaruhi proses transfer panas ke permukaan biobriket dan juga difusi oksigen ke permukaan biobriket selama proses pembakaran (Katimbo, Kiggundu et al. 2014). Kadar abu yang tinggi menghasil emisi debu yang dapat menyebabkan polusi udara dan mempengaruhi volume pembakaran dan efisiensi. Semakin tinggi kadar abu biobriket, semakin rendah nilai kalori dan mempengaruhi laju pembakaran karena rendahnya transfer panas ke bagian dalam biobriket dan difusi oksigen ke permukaan briket arang selama pembakaran.
Menurut Standar Nasional Indonesia mensyaratkan kadar abu maksimal tidak melebihi 5,51% tetapi pada biobriket enceng gondok yang memenuhi hanya campuran perekat lem kayu 4% dengan nilai 4,17%, 6% dengan nilai 4,77% dan 8% dengan nilai 5,04%. Sedangkan campuran perekat tepung tapioka melebihi kadar maksimal abu yang ditetakan.

4.2.3 Analisa Nilai Kalor

Dari Gambar 3 didapat nilai kalor biobriket arang enceng gondok yang tertinggi dengan jenis perekat lem kayu dengan jumlah perekat 8% yaitu sebesar 4341,67cal/g. Nilai kalor terendah pada jenis perekat tapioka dengan jumlah perekat 4% yaitu 4238,67 cal/g.



Gambar 3. Pengaruh jumlah perekat (%) terhadap nilai kalor (cal/gr) dalam berbagai jenis perekat

Dari Gambar 3 diatas dapat dilihat bahwa jenis perekat dan jumlah perekat sangat mempengaruhi nilai kalor biobriket. Penambahan perekat lem kayu 8% mencapai titik maksimum nilai kalor biobriket yang mencapai 4341,67 cal/g dan 10% menggunakan perekat tapioka yang mencapai titik maksimum nilai kalor 4299,33 cal/g.
Jenis perekat lem kayu tidak terlalu banyak mengandung air sehingga nilai karbon dari biobriket tersebut besar. Nilai karbon yang besar menyebabkan besarnya nilai kalor dari suatu biobriket. Sedangkan pembuatan biobriket yang menggunakan jenis perekat dari tapioka mengandung banyak air sehingga kandungan air ini mempengaruhi kecilnya nilai kalor yang dihasilkan. Dengan rendahnya kadar air, maka kalor yang ditentukan untuk menguapkan air juga sedikit, sehingga energi kalor yang tersisa pada biobriket akan semakin besar.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian dan pengujian biobriket eceng gondok terhadap jenis perekat yang digunakan dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Kadar air tertinggi pada 5,45 % pada jenis perekat tepung tapioka dengan 12% jumlah perekat sedangkan kadar air terendah 2,94 % pada jenis lem kayu jumlah perekat 10%.
2. Kadar abu biobriket arang enceng gondok tertinggi adalah 8,03% pada jenis perekat tepung tapioka dengan jumlah perekat 12% dan kadar abu terendah 4,17% pada jenis perekat lem kayu dengan jumlah perekat 10%.

ISSN 1693-439

3. Biobriket arang enceng gondok dengan nilai kalor tertinggi dengan jenis perekat lem kayu dengan jumlah perekat 8% yaitu sebesar 4341,67cal/gr. Nilai kalor terendah pada jenis perekat tepung tapioka dengan jumlah perekat 4% yaitu 4238,67 cal/gr.
4. Pembuatan biobriket arang enceng gondok mampu meningkatkan nilai kalor arang enceng gondok yang hanya 3300 cal/gr menjadi 4341cal/gr, namun belum mampu mencapai nilai kalor seperti biobriket batubara dengan nilai kalor mencapai 6000 cal/gr.

Daftar Pustaka

Akowuah, J. O., F. Kemausuor and S. J. Mitchual (2012). "Physico-Chemical Characteristics and Market Potential of Sawdust Charcoal Briquette." International Journal of Energy and Environmental Engineering**3**(20): 1 - 6.

Elfiano, E., M. Natsir and D. Indra (2014). Analisa Proksimat Briket Bioarang Campuran Limbah Ampas Tebu Dan Arang Kayu. Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Trisakti.

Fachry, A. R., T. I. Sari, A. Y. Dipura and J. Najamudin (2010). Teknik Pembuatan Briket Campuran Eceng Gondok dan Batubara sebagai Bahan Bakar Alternatif bagi Masyarakat Pedesaan. Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi ke 16. Jakarta.

Husada, T. I. (2008). Arang Briket Tongkol Jagung Sebagai Energi Alternatif. Laporan Hasil Penelitian Program Inovasi Mahasiswa Provinsi Jawa Tengah. Universitas Negeri Surakarta, Semarang.

Katimbo, A., N. Kiggundu, S. Kizito, H. B. Kivumbi and P. Tumutegyereize (2014). "Potential of Densification of Mango Waste and Effect of Binders on Produced Briquettes." Agricultural Engineering International: CIGR Journal**16**(4): 146 - 155.

Mishra, S. K. and P. D. Grover (1996) " Biomass Briquetting:Technology andPractices.".

Ndraha, N. (2009). Uji Komposisi Bahan Pembuat Briket Bioarang Tempurung Kelapa dan Serbuk Kayu Terhadap Mutu yang Dihasilkan, Universitas Sumatera Utara.

Saleh, A. (2013). "Efisiensi Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka Terhadap Nilai Kalor Pembakaran Pada Biobriket Batang Jagung (*Zea Mays L.*)." Jurnal Teknosains**7**(1): 78 - 89.

Sinurat, E. (2011). Studi Pemanfaatan Briket Kulit Jambu Mete Dan Tongkol Jagung Sebagai Bahan Bakar Alternatif, Universitas Hasanuddin.

Suarez, J. A. and C. A. Luengo (2003). "Coffee Husk Briquettes: A New Renewable Energy Source." Energy Sources**25**(10): 961 - 967.

Supatata, N., J. Buates and P. Hariyanont (2013). "Characterization of Fuel Briquettes Made from Sewage Sludge Mixed with Water Hyacinth and Sewage Sludge Mixed with Sedge." International Journal of Environmental Science and Development**4**(2): 179 - 181.

ISSN 1693-439

Lembar Tanya Jawab

Moderator : Supranto (Universitas Gadjah Mada)
Notulen : Mitha Puspitasari (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1.	Penanya	:	Yunus Tonapa Sarungu (Politeknik Negeri Bandung)
	Pertanyaan	:	Berapa lama waktu penyimpanan enceng gondok sebelum diproses?
	Jawaban	:	Setelah dipanen langsung dipotong dan dikeringkan. Segera diproses agar tidak terjadi pembusukan.
2.	Penanya	:	Hargono (Universitas Diponegoro, Semarang)
	Pertanyaan	:	Variabel perekat dapat mempengaruhi nilai kalor, bagaimana pengkajiannya sehingga dipilih lem kayu sebagai perekat?
	Jawaban	:	Pada lem tapioka ada unsur pengikat yang diperhatikan, 10 – 40% didapatkan nilai kalor yang besar, sedangkan 8% lem kayu untuk campuran perekat mempunyai nilai kalor yang baik.
3.	Penanya	:	Suhartono (Universitas Jenderal Achmad Yani)
	Saran	:	Penambahan perekat sebaiknya diambil dari tar yang dihasilkan dalam proses dan dapat menaikkan nilai kalor briket tersebut.

P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164

Studi Desain Generator Magnet Permanen Fluks Radial pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Kecepatan Putaran Rendah

Adeguna Ridlo Pramurti[1]
[1]Universitas Tanri Abeng
Jalan Swadarma Raya No. 58, Ulujami, Pesanggrahan, Jakarta Selatan 12250
e-mail: adegunapramurti@gmail.com

Abstrak*—Generator magnet permanen fluks radial adalah mesin yang efektif untuk diaplikasikan pada sistem pembangkit listrik tenaga angin kecepatan rendah. Rugi magnetik akibat celah udara atau torsi denyut adalah salah satu masalah yang dapat menyebabkan penurunan performa tegangan keluaran dan daya keluaran pada generator jenis ini. Pada penelitian ini, topologi yang digunakan adalah stator ganda generator magnet permanen fluks radial. Topologi tersebut diharapkan mampu meningkatkan fluks listrik yang dihasilkan oleh kumparan-kumparan stator. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan tegangan keluaran dan daya keluaran generator menggunakan metode desain pemasangan lebar gigi-gigi stator. Ada 3 variabel pada metode desain ini. Ketiga variabel desain mampu menurunkan nilai torsi denyut. Namun, ketiganya menyebabkan ketidakstabilan putaran generator. Hal ini disebabkan oleh peningkatan distribusi frekuensi torsi denyut. Ketiga variabel mampu meningkatkan tegangan keluaran generator dan daya keluaran generator masing-masing mencapai 3.94% dan 3.3%. Peningkatan tegangan keluaran dan daya keluaran generator tidak terlalu signifikan disebabkan oleh peningkatan distribusi frekuensi torsi denyut yang mencapai 162%.

Kata kunci: ***daya keluaran, generator magnet permanen fluks radial, pemasangan lebar gigi-gigi stator, stator ganda, dan tegangan keluaran.***

Abstract— Radial flux permanent magnet generators are effective for application to low speed wind power generation systems. Magnetic loss due to air gap or called cogging torque is one of the problems that can cause a decrease in the output voltage and output power performance of this type of generator. In this study, the topology used is a dual stator radial flux permanent magnet generator. The topology is expected to increase the electrical flux produced by the stator coils. The purpose of this study is to increase the output voltage and output power of the generator using the stator teeth pairing design method. There are 3 variables in this design method. The three variables have been able to decrease the value of cogging torque. However, the three design variables have made the generator more unstable. This is due to an increase in the cogging torque frequency distribution. The three variables have been able to increase the generator output voltage and the generator output power respectively reached 3.94% and 3.3%. The increase in output voltage and output power of the generator is not too significant due to an increase in the cogging torque frequency distribution which reached 162%, karena itu tuliskan temuan atau kontribusi utama dari naskah sebaik mungkin dengan singkat.

Keywords: ***cogging torque, dual stator, radial flux permanent magnet generator, output power, and output voltage***

I. PENDAHULUAN

Energi terbarukan telah berkembang di Indonesia. Energi angin merupakan salah satu energi terbarukan yang telah dimanfaatkan dan dikembangkan di Indonesia dengan rata-rata potensi kecepatan angin yang dapat dikonversi menjadi energi listrik adalah sebesar 5 m/s. Energi angin tersebut tersebar di berbagai lokasi meliputi daerah pantai selatan pulau Jawa, Nusa Tenggara Timur, dan Sulawesi Selatan [1].

Kecepatan angin 5 m/s dikategorikan sebagai kecepatan rendah untuk memutar turbin angin. Menurut penelitian [2], generator tanpa magnet permanen tidak efektif untuk pembangkit listrik kecepatan rendah. Generator tersebut memerlukan putaran tinggi sebagai penggerak mula agar menghasilkan medan magnet.

Pada penelitian [3], [4], teknologi magnet permanen generator efektif diaplikasikan pada sistem pembangkit listrik kecepatan rendah. Keuntungan menggunakan magnet permanen adalah karena dapat menghasilkan medan magnet sendiri tanpa perlu eksitasi dan tanpa disipasi daya listrik Rugi magnetik akibat adanya celah udara merupakan salah satu hal yangg perlu diperhatikan pada generator magnet. Hal tersebut dikarenakan oleh distribusi fluks magnetik dan kerapatan fluks magnetik akibat reluktansi celah udara menyebabkan penurunan performa tegangan keluaran dan daya keluaran generator [5].

Pada penelitian [6], dibahas tentang desain untuk mereduksi rugi magnetik dan rugi celah udara pada

P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164

generator permanen magnet fluks radial. Rugi-rugi tersebut disebabkan oleh pengaruh torsi denyut yang berada di celah udara antara stator dan rotor. Nilai efektif dan distribusi keragaman frekuensi torsi denyut dapat diminimalkan menggunakan metode desain pemasangan lebar gigi-gigi stator. Terdapat pengaruh energi pada celah udara terhadap nilai efektif dan distribusi frekuensi torsi denyut. Apabila nilai torsi denyut dapat diminimalkan, harapannya adalah daya keluaran generator dapat meningkat dan getaran mesin dapat diminimalkan. Distribusi frekuensi yang tidak stabil dapat menurunkan performa mesin karena menyebabkan getaran dan arus eddy.

Penelitian [6] menggunakan topologi desain stator ganda pada generator magnet permanen fluks radial untuk parameter kecepatan angin 5 m/s. Stator ganda merupakan kombinasi dari generator magnet permanen fluks radial dengan *inner-stator* dan *outer-stator*. Kombinasi kedua topologi stator tersebut dimaksudkan untuk meningkatkan fluks listrik yang dihasilkan oleh kumparan-kumparan stator. Desain generator dimodelkan menggunakan aplikasi femm 4.2 dan disimulasikan dengan bahasa pemrograman lua.

II. STUDI PUSTAKA

Topologi desain stator ganda generator magnet permanen fluks radial adalah ketika generator memiliki stator yang berada di bagian dalam rotor (*outer-rotor*) dan stator yang berada di bagian luar rotor (*inner-rotor*). Pada penelitian [8]–[10], telah dibahas mengenai manfaat inner-rotor dan outer-rotor ketika dikombinasikan pada stator ganda generator magnet permanen fluks radial. Pada topologi inner-rotor memiliki keunggulan struktur mekanis yang kuat, sedangkan pada topologi outer-rotor adalah memanfaatkan ukuran diamater yang lebih besar untuk menghasilkan daya keluaran tinggi.

Pemilihan jenis magnet merupakan faktor penting [11]. Salah satu jenis magnet yang biasa digunakan pada generator radial adalah neodymium ferrite boron (NdFeB). Magnet NdFeB adalah material magnetic dari jenis atom logam tanah jarang (*rare earth*). Atom pembentukknya adalah neodymium (Nd), 14 atom besi (Fe), dan 1 atom boron (B).

Keunggulan magnet permanen NdFeB dibanding beberapa jenis magnet lain adalah memiliki kepadatan torsi yang tinggi. Keunggulan lainnya adalah magnet NdFeB cocok untuk diaplikasikan pada generator radial. Hal ini dikarenakan dimensi magnet yang lebih sederhana dan kerapatan fluks magnetik yang lebih besar [12]. Pada generator radial kecepatan rendah [13], magnet NdFeB lebih cocok digunakan dibandingkan jenis magnet lain, seperti SmCo dan ferrite.

III. METODE

A. *Pemodelan*

Secara garis besar, penelitian ini merupakan pemodelan, simulasi, pengujian, dan analisis pada generator magnet permanen fluks radial. Penelitian ini berbasis pengujian menggunakan perangkat lunak. Pemodelan dan simulasi dilakukan sebagai gambaran identifikasi sistem atau alat yang sesungguhnya, karakteristik sistem juga dibuat serupa mungkin. Proses ini untuk memudahkan peneliti memodifikasi dan memprediksi sistem agar tidak menimbulkan resiko kerusakan dan menjamin efisiensi proses. Hal ini dikarenakan lebih mudah dan hemat waktu. Nilai yang dihasilkan pemodelan dan simulasi diharapkan dapat mendekati hasil sesungguhnya.

Pemodelan generator adalah untuk turbin angin kecepatan rendah. Putaran generator adalah sebesar 300 rpm. Nilai faktor perpindahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0.86 dan perpindahan sudut stator adalah 12º. Magnet permanen yang digunakan adalah NdFeB N52. Spesifikasi arus beban penuh dan resistansi fasa pada penelitian ini berturut-turut sebesar 1.5 ampere dan 43.9963 ohm. Parameter generator ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

$$N_{TD} = \frac{N_P \times N_S}{FPB\{N_P, N_S\}} \quad (1)$$

$$\alpha_M = \frac{360^\circ}{N_{TD}} \quad (2)$$

Pengamatan nilai torsi denyut ditentukan oleh jumlah peristiwa torsi denyut (N_{TD}) dan sudut mekanik putaran mesin (α_M) [14]. Persamaan (1) menunjukkan bahwa N_{TD} berbanding lurus dengan jumlah kutub magnet rotor (N_P) dan jumlah slot stator (N_S), tetapi berbanding terbalik dengan faktor persekutuan tersebesar dari N_P dan N_S. Persamaan (2) menunjukkan bahwa α_M merupakan rasio sudut putaran penuh mesin terhadap N_{TD}.

B. Desain Pemasangan Lebar Gigi-gigi Stator

Metode desain ini dimaksudkan untuk mengurangi energi pada celah udara (W_A) yang disebabkan adanya pengaruh interaksi magnetik antara stator dan rotor pada generator [14], seperti ditunjukkan pada persamaan (3). W_A dipengaruhi oleh *stack length* stator (L_S), radius magnet permanen rotor (R_1), radius stator (R_2), permeabilitas udara (μ_0), permeansi relatif celah udara (G), kelipatan persekutuan terkecil dari N_S dan N_P (N_K), dan kerapatan fluks magnetik (B).

$$W_A = \frac{2\pi L_s \left(R_2{}^2 - R_1{}^2\right)}{4\mu_0} \times \sum_{n=0}^{\infty} G_{nN_K} \times B_{nN_K} \times \cos nN_K\alpha, \quad (3)$$

$$G_{nN_K} = \frac{1}{n\pi} \times \frac{N_s}{N_K}\left(\sin nN_K\frac{x}{2}\right) + \left(\sin nN_K\frac{y}{2}\right), \quad (4)$$

Persamaan (4) merupakan fungsi permeansi relatif pada celah udara (G_{nNK}) [14]. Berdasarkan persamaan (5) dengan nilai "x" dan "y" yang ditunjukkan pada Tabel 3, nilai permeansi relatif pada celah udara (G_{nNK}) akan sama dengan 0 ketika n bernilai genap dan mendekati akan nol ketika bernilai positif. Hal tersebut menyebabkan energi celah udara dapat diminimalkan. Nilai torsi denyut (τ) dapat dibuat mendekati nol berdasarkan persamaan (6).

P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164

$$\sin nN_L\frac{a}{2}+\sin nN_L\frac{b}{2}=0. \quad (5)$$

$$\tau=\frac{2\pi L_s\left(R_2{}^2-R_1{}^2\right)}{2\mu_0}\times\sum_{n=0}^{\infty}G_{nN_L}\times B_{nN_L}\times\sin nN_L\alpha. \quad (6)$$

Gambar 1 merupakan desain awal dari stator ganda generator magnet permanen fluks radial. Lebar gigi stator "x" dan gigi stator "y" adalah sama, yaitu 9 derajat mekanik. Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa lebar gigi stator "x" dan lebar gigi stator "y" terdapat perbedaan akibat dari metode desain pemasangan lebar gigi-gigi stator.

Tabel 1. Parameter stator generator magnet permanen fluks radial [6].

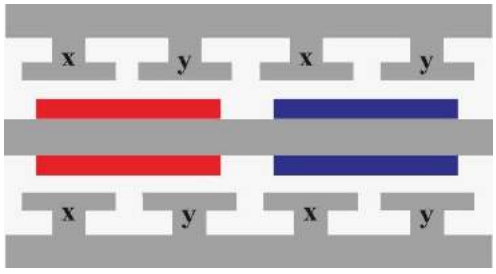
	Stator	
	Inner-stator	*Outer-stator*
Diameter bagian luar (mm)	205	280
Diameter bagian dalam (mm)	150	243
Stack length (mm)	30	30
Jumlah slot	30	30
Material stator	M-47 Steel	M-47 Steel
Lebar celah udara	1	1
Diameter kawat	0.8	0.8
Coil fill factor	0.8	0.8

Tabel 2. Parameter rotor generator magnet permanen fluks radial [6].

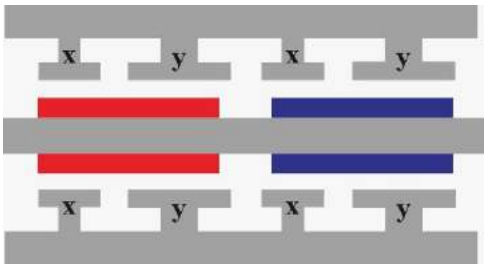
	Rotor	
	Inner-rotor	*Outer-rotor*
Diameter bagian luar (mm)	229	241
Diameter bagian dalam (mm)	207	219
Ketebalan magnet	6	6
Jumlah kutub	20	20
Material magnet	NdFeB N52	NdFeB N52

Tabel 3. Variabel nilai "x" dan "y".

Variabel	x (derajat mekanik)	y (derajat mekanik)
A	7.6	10.4
B	11	11
C	6.5	11.5



Gambar 1. Skema awal gigi stator generator magnet permanen fluks radial.



Gambar 2. Skema desain pemasangan lebar gigi-gigi stator pada gigi stator generator magnet permanen fluks radial.

C. Persamaan Tegangan dan Daya Generator Radial

Berdasarkan hukum Faraday, GGL induksi pada generator radial (E_i) berbanding lurus dengan jumlah lilitan (N) dan perubahan nilai fluks magnet yang melalui suatu kumparan (dØ) berbanding terhadap perubahan waktu (dt). Di sisi lain jumlah lilitan dikalikan perubahan nilai fluks magnet sebanding dengan perubahan relatif nilai fluks gandeng yang melalui suatu kumparan [38]. Hal tersebut ditunjukkan pada persamaan (7).

$$E_i=N\frac{d\emptyset}{dt}=\frac{d\psi}{dt}. \quad (7)$$

Ggl induksi juga dipengaruhi oleh perubahan relatif fluks gandeng terhadap perubahan waktu (dψ) dan perubahan posisi (dt). Perubahan relatif fluks gandeng terhadap posisi mengacu pada kecepatan rotor per detik (v_{rotor}). Pada penelitian ini kecepatan rotor adalah 5 m/s. Hal tersebut ditunjukkan pada persamaan (8). Pada kasus ini, besarnya fluks gandeng yang melalui suatu kumparan didefinisikan sebagai hasil kali jumlah lilitan dengan integral kerapatan fluks magnet (B) pada elemen area permukaan bidang (dS) dan vektor normal terhadap area permukaan bidang ($\bar{n}$ dS). Hal ini ditunjukkan pada persamaan (9).

$$E_i=\frac{d\psi}{dz}\times\frac{d\psi}{dt}=v_{rotor}\times\frac{d\psi}{dz}. \quad (8)$$

$$\psi=N\oint\bar{B}\times\bar{n}\,dS. \quad (9)$$

Daya per fasa pada generator radial (P) ditentukan oleh kuadrat arus beban penuh (I_{FL}) dan resistansi beban pada kondisi beban penuh (R_{FL}), seperti yang ditunjukkan pada persamaan (10). Untuk menentukan R_{FL}, ditunjukkan pada persamaan (11). Pada kondisi beban penuh, impedansi beban diasumsikan hanya berupa resistansi. Persamaan (12) menunjukkan tegangan terminal generator (v_T) yang dipengaruhi oleh ggl induksi (E_A), arus (I), resistansi (R), dan reaktansi induktif (X_L).

P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164

$$P = I_{FL} \times R_{FL}. \quad (10)$$

$$R_{FL} = \sqrt{\left(\frac{e}{I_{FL}}\right)^2 - X_L{}^2 - R}. \quad (11)$$

$$v_T = e - I(R + X_L). \quad (12)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

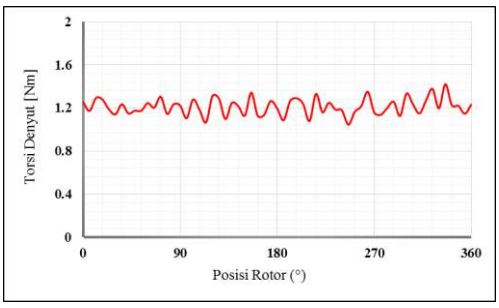
Pada hasil penelitian dibahas tentang pengaruh torsi denyut terhadap daya keluaran generator. Ada 4 variabel yang dibahas, yaitu desain awal generator atau sebelum dimodifikasi dengan metode desain pemasangan lebar gigi-gigi stator, variabel A, variabel B, dan variabel C.

A. Hasil Desain Awal Generator

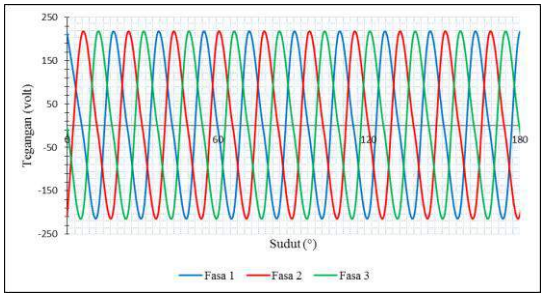
Pada desain awal generator, daya keluaran maksimal yang dicapai adalah 1070 W. Gambar 3 menunjukkan grafik hasil torsi denyut pada satu putaran penuh. Pada Tabel 4 menunjukkan nilai efektif torsi denyut sebesar 1.214 Nm dan distribusi frekuensi torsi denyut sebesar 0.080.

Tegangan keluaran tiap fasa pada desain awal sebesar 169 V, resistansi tiap fasa pada kondisi beban penuh adalah 121.2 Ω, arus beban penuh adalah 2.25 A, dan daya tiga fasa adalah 757 W. Sedangkan berdasarkan persamaan 13, daya maksimal yang dapat dicapai mesin adalah sebesar 1070 W. Grafik hasil tegangan pada desain awal generator ditunjukkan pada Gambar 4.

$$P = \sqrt{2} \times P_{total}. \quad (13)$$



Gambar 3. Grafik nilai torsi denyut pada desain awal generator.



Gambar 4. Tegangan 3 fasa pada desain awal generator.

B. Hasil Desain dengan Variabel A

Tabel 3 menunjukkan hasil torsi denyut dari desain variabel A. Nilai efektif torsi denyut menurun sebesar 57% dibandingkan desain awal. Gambar 5 menunjukkan nilai torsi denyut pada desain dengan variabel A. Distribusi frekuensi torsi denyut meningkat sebesar 66%. Peningkatan distribusi frekuensi ini berarti nilai torsi denyut selama satu putaran penuh tidak lebih stabil dibandingkan desain awal.

Gambar 6 menunjukkan tegangan keluaran pada desain ini. Tegangan tiap fasa sebesar 170.3 V atau meningkat sebesar 1.41%, resistansi tiap fasa pada kondisi beban penuh sebesar 113.2 Ω, arus beban penuh sebesar 2.25 A, dan daya tiga fasa sebesar 763,8 W. Daya keluaran maksimal pada variable C adalah 1080.2 atau mengalami peningkatan sebesar 0.86%.

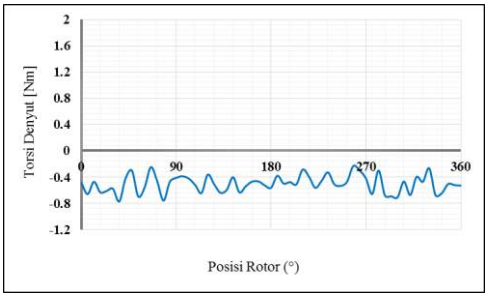
C. Hasil Desain dengan Variabel B

Gambar 7 menunjukkan hasil nilai torsi denyut pada desain dengan variabel B. Distribusi frekuensi meningkat sebesar 157% dibandingkan desain awal. Nilai torsi denyut sebesar 0.459 Nm atau turun sebesar 62% dibandingkan desain awal.

Gambar 8 menunjukkan grafik hasil tegangan keluaran desain pada variabel B. Tegangan keluaran tiap fasa pada desain ini sebesar 171.8 V atau meningkat sebesar 2.31%, resistansi tiap fasa pada kondisi beban penuh sebesar 114.1 Ω, arus beban penuh tiap fasa sebesar 2.25 A, dan daya keluaran maksimal sebesar 1089.6 W atau meningkat sebesar 1.74% dibandingkan desain awal.

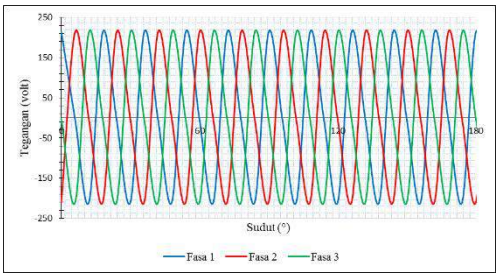
Tabel 3. Hasil perbandingan nilai torsi denyut pada semua desain generator.

Konfigurasi desain	Nilai efektif (Nm)	Distribusi frekuensi
Desain awal	1.214	0.080
Desain variabel A	0.521	0.132
Desain variabel B	0.459	0.205
Desain Variabel C	0.513	0.208

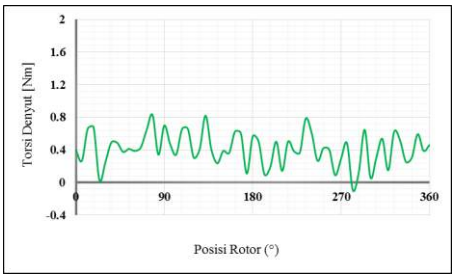


Gambar 5. Grafik nilai torsi denyut pada desain dengan variabel A.

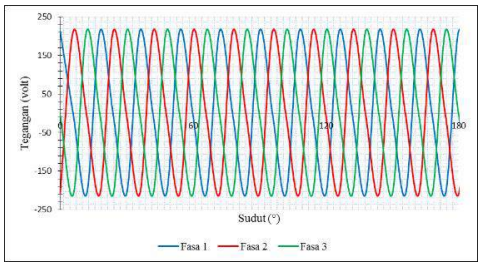
P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164



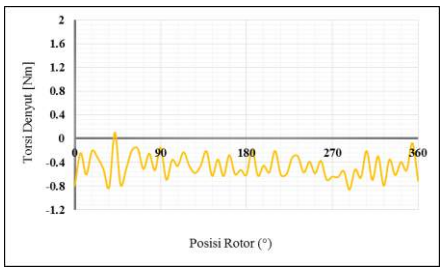
Gambar 6. Tegangan 3 fasa pada desain dengan variabel A.



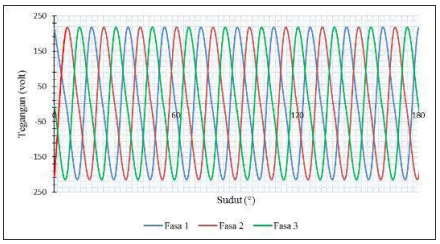
Gambar 7. Grafik nilai torsi denyut pada desain dengan variabel B.



Gambar 8 Tegangan 3 fasa pada desain dengan variabel B.



Gambar 9. Grafik nilai torsi denyut pada desain dengan variabel C.



Gambar 10. Tegangan 3 fasa pada desain dengan variabel C.

D. Hasil Desain dengan Variabel C

Desain dengan variabel C menunjukkan kenaikan distribusi frekuensi yang paling signifikan, yaitu sebesar 162%. Hal ini berarti desain ini adalah desain dengan resiko getaran mesin paling tinggi yang menyebabkan besarnya arus eddy dan menurunkan performa daya keluaran mesin. Nilai torsi denyut menurun sebesar 58%. Hasil torsi denyut pada desain ini ditunjukkan pad Gambar 9.

Daya keluaran maksimal pada desain ini adalah 1106.4 W atau meningkat secara signifikan, yaitu sebesar 3.3 %. Hal ini dipengaruhi oleh tegangan keluaran sebesar 174.6 V atau meningkat sebesar 3.94%, resistansi beban penuh sebesar 116 Ω, dan arus beban penuh sebesar 2.25 A. Grafik tegangan keluaran ditunjukkan pada Gambar 10.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa tegangan keluaran generator dan daya keluaran generator masing-masing berhasil ditingkatkan mencapai 3.94% dan 3.3% dibandingkan desain awal. Hal ini dikarenakan oleh menurunnya nilai efektif torsi denyut. Namun, distribusi frekuensi tidak dapat distabilkan. Hal ini menyebabkan adanya getaran pada mesin yang dapat menimbulkan arus eddy, kemudian daya keluaran generator tidak dapat meningkat secara signifikan.

REFERENSI

[1] S. Pakpahan, *Pemetaan Energi Angin untuk Pemanfaatan dan Melengkapi Peta Potensi SDA Indonesia*. Teks Orasi Pengukuhan Ahli Peneliti Utama Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.

[2] A. B. Letelier, D. A. Gonzalez, J. A. Tapia, R. Wallace, and M. A. Valenzuela, "Cogging Torque Reduction in an Axial Flux PM Machine via Stator Slot Displacement and Skewing," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 43, no. 3, pp. 685–693, May 2007, doi: 10.1109/TIA.2007.895738.

[3] X. Wei and K. Yang, "Research of stator displacement technique in multistage axial-flux permanent magnet machines," in *2015 IEEE Magnetics Conference (INTERMAG)*, 2015, pp. 1–1, doi: 10.1109/INTMAG.2015.7157600.

[4] P. Sivachandran, P. Venkatesh, and N. Kamaraj, "Cogging torque reduction in Dual-Rotor Permanent Magnet Generator for Direct Coupled Stand-Alone Wind Energy Systems," in *2008 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies*, 2008, pp. 24–28, doi: 10.1109/ICSET.2008.4746966.

[5] D. C. Hanselman, *Brushless permanent magnet motor design*. Lebanon, Ohio: Magna Physics Publishing, 2006.

[6] A. R. Pramurti and O. Y. Hutajulu, "The Design of Radial Flux Permanent Magnet Generator on Low Speed Wind Turbine to Reduce Cogging Torque," in *2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*, 2018, pp. 68–72, doi: 10.1109/EECCIS.2018.8692988.

[7] C. Liu, J. Zhu, Y. Wang, G. Lei, and Y. Guo, "Cogging Torque Minimization of SMC PM Transverse Flux Machines Using Shifted and Unequal-Width Stator Teeth," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*

P-ISSN2614-5499
E-ISSN2614-5164

vol. 26, no. 4, pp. 1–4, Jun. 2016, doi: 10.1109/TASC.2016.2543959.

[8] G.-C. Lee and T.-U. Jung, "Cogging torque reduction design of dual stator radial flux permanent magnet generator for small wind turbine," 2013, pp. 85–89, doi: 10.1109/TENCONSpring.2013.6584422.

[9] G.-C. Lee and T.-U. Jung, "Design study of dual stator Radial Field Permanent Magnet generator for small wind turbine," 2012, pp. 1349–1351, doi: 10.1109/VPPC.2012.6422685.

[10] P. A. Breeze, *Power generation technologies*. Oxford: Newnes, 2005.

[11] N. Idayanti and Dedi, "Karakterisasi Komposisi Kimia Magnet NdFeB dengan Disfersive Spectroscopy (EDS)," *J. Elektron.*, vol. Vol. 6, No 2, Desember 2006.

[12] H. A. Gabbar, R. Islam, M. U. Isham, and V. Trivedi, "Risk-based performance analysis of microgrid topology with distributed energy generation," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 43, no. 1, pp. 1363–1375, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.ijepes.2012.05.061.

[13] Zaheeruddin, R. Kumar, A. Kumar, and V. K. Jain, "Mitigation of CO2 emission in conventional power generation with renewable energy," in *2015 International Conference on Futuristic Trends on Computational Analysis and Knowledge Management (ABLAZE)*, 2015, pp. 734–738, doi: 10.1109/ABLAZE.2015.7154955.

[14] G.-C. Lee and T.-U. Jung, "Optimal cogging torque reduction design of dual stator radial flux permanent magnet generator," 2013, pp. 1–9, doi: 10.1109/EPE.2013.6634427.

ROTASI Jurnal Teknik Mesin
Available online at Website http://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi

Studi Eksperimental pada Emulator Surya Berdasarkan Intensitas Matahari Terhadap Unjuk Kerja Sel Surya 10 Wp Tipe *Polycristalline*

***Hendry Sakke Tira, Abdul Natsir, Muhamad Saiful Anwar**
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram
Jl. Majapahit No. 62 Mataram Nusa Tenggara Barat Kode Pos:83125
*E-mail: hendrytira@unram.ac.id

Abstrak

Energi merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Peningkatan kebutuhan energi dapat merupakan indikator peningkatan kemakmuran, namun bersamaan dengan itu juga menimbulkan masalah dalam usaha penyediaannya, karena manusia hanya mengandalkan energi fosil yang tentunya persediaannya masih sangat terbatas dan semakin menipis. Indonesia terletak di daerah khatulistiwa sehingga memiliki intensitas penyinaran matahari yang baik sepanjang tahun. Kondisi penyinaran ini potensial untuk digunakan dalam pembangkitan listrik tenaga surya (PLTS). PLTS merupakan teknologi ramah lingkungan yang memanfaatkan energi sel surya fotovoltaik dengan cara mengkonversi energi cahaya yang dipancarkan oleh matahari menjadi energi listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh intensitas cahaya lampu terhadap arus titik daya maksimum (Impp), tegangan titik daya maksimum (Vmpp), daya maksimum power point (Pmpp), dan efisiensi dari panel surya 10 WP tipe *polycristalline* pada alat *solar emulator*. Penelitian ini dilakukan dengan merubah intensitas cahaya lampu pada alat s*olar emulator* berdasarkan intensitas cahaya matahari tanggal 17-25 Maret 2016. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa intensitas cahaya lampu mempunyai pengaruh terhadap Impp, Vmpp, Pmpp, dan Efisiensi dari panel surya 10 WP tipe *polycristalline*. Semakin tinggi intensitas cahaya lampu maka semakin tinggi pula nilai Impp, Vmpp, Pmpp, dan efisiensi yang diperoleh. Efisiensi panel surya tertinggi diperoleh pukul 12:00-12:40 WITA pada tanggal 22 Maret 2016 sebesar 4,14 %.

Kata kunci: Emulator Surya, energi terbarukan, intensitas matahari, intensitas lampu

1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan energi dapat merupakan indikator peningkatan kemakmuran, namun bersamaan dengan itu juga menimbulkan masalah dalam usaha penyediaannya, karena manusia hanya mengandalkan energi fosil yang tentunya persediannya masih sangat terbatas dan semakin menipis. Karena tergolong tak terbarukan, maka akibat dieksploitasi terus-menerus, persediaan energi tersebut semakin berkurang dan tidak bisa diupayakan kembali keberadannya. Oleh karena itu, bukan suatu hal yang mustahil jika di masa yang akan datang akan timbul masalah yang berkaitan dengan krisis energi [1].

Salah satu upaya untuk mengatasi krisis energi listrik adalah mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil. Oleh karena itu, para peneliti gencar untuk menemukan energi alternatif guna memenuhi kebutuhan energi listrik. Indonesia terletak di daerah khatulistiwa sehingga memiliki intensitas penyinaran matahari yang baik sepanjang tahun. Kondisi penyinaran ini potensial untuk digunakan dalam pembangkitan listrik tenaga surya (PLTS). PLTS merupakan teknologi ramah lingkungan yang memanfaatkan energi sel surya fotovoltaik dengan cara mengkonversi energi cahaya yang dipancarkan oleh matahari menjadi energi listrik. Potensi pengembangan PLTS di Indonesia sangat menjanjikan dilihat dari letak geografis Indonesia yang berada pada garis khatulistiwa. Posisi ini menyebabkan ketersediaan sinar matahari hampir sepanjang tahun di seluruh wilayah Indonesia kecuali pada musim hujan dan saat awan tebal menghalangi sinar matahari [2].

Sel surya adalah salah satu alternatif pengganti yang dapat digunakan karena selain perawatan yang lebih mudah juga ramah terhadap lingkungan. Sel surya ini memanfaatkan cahaya matahari yang dirubah menjadi listrik. Intensitas cahaya yang dipancarkan dari matahari sangat berpengaruh terhadap efisiensi sel surya. Selain itu, banyak faktor-faktor lain yang mempengaruhi unjuk kerja sel surya seperti: kecepatan angin, suhu lingkungan, temperatur sel surya, sudut panel surya, serta karakteristik dari bahan sel surya tersebut [3].

Menurut Tanesab dkk., yang meneliti tentang pengaruh peningkatan intensitas cahaya matahari terhadap daya keluaran panel fotovoltaik menunjukan bahwa peningkatan intensitas matahari mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap daya keluaran panel fotovoltaik [4]. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa dengan meningkatknya suhu permukaan panel surya yang diakibatkan oleh meningkatnya daya lampu halogen mengakibatkan terjadinya penurunan efisiensi panel surya. Penelitian dilakukan dengan mensimulasi sinar matahri dengan menggunakan lampu [3].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya lampu dan variasi sudut elevasi sumber cahaya tarhadap output daya panel surya sebuah *solar emulator* yang didasarkan intensitas cahaya matahari tanggal 17-25 Maret 2016.

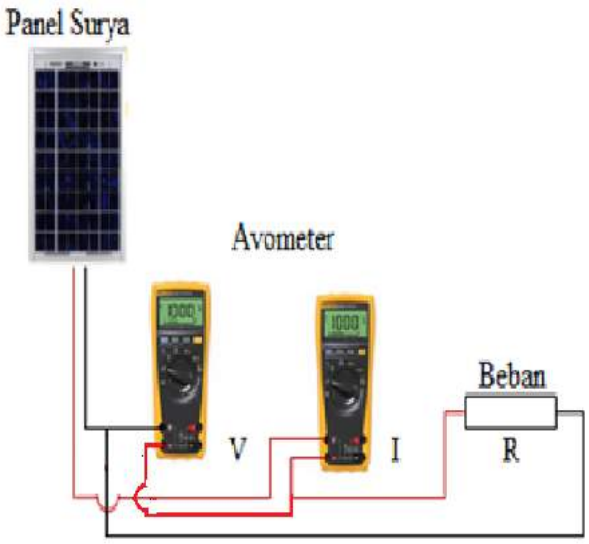
2. Material dan metodologi

Dalam melakukan penelitian sebuah solar emulator SX-310J tipe *Polycristalline* digunakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

a. Dimensi panel = 42,49 x 27,28 x 5 cm
b. Sel per modul = 36 sel
c. Daya output = 10 WP
d. *Max power voltage* (Vmpp) = 16,8 Volts
e. *Max Power Current* (Impp) = 0,59 Amps
f. *Open Circuit Voltage* (Voc) = 21 Volts
g. *Short Circuit Current* (Isc) = 0,65 Amps
h. *Max System Voltage* = 50 Volts



Gambar 1. Alat pengujian



Gambar 2. Skema pengujian

Adapun alat-alat penelitian lain yang digunakan adalah multimeter, Lux meter, beban (*variable resistor*), pyranometer dan perangkat lunak (*software*) *Hobo Weather station*. Adapun perbandingan antara intensitas matahari dan intensitas lampu pada alat *solar emultor* dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Perbandingan antara intensitas matahari dan intensitas lampu pada alat Solar Emulator.

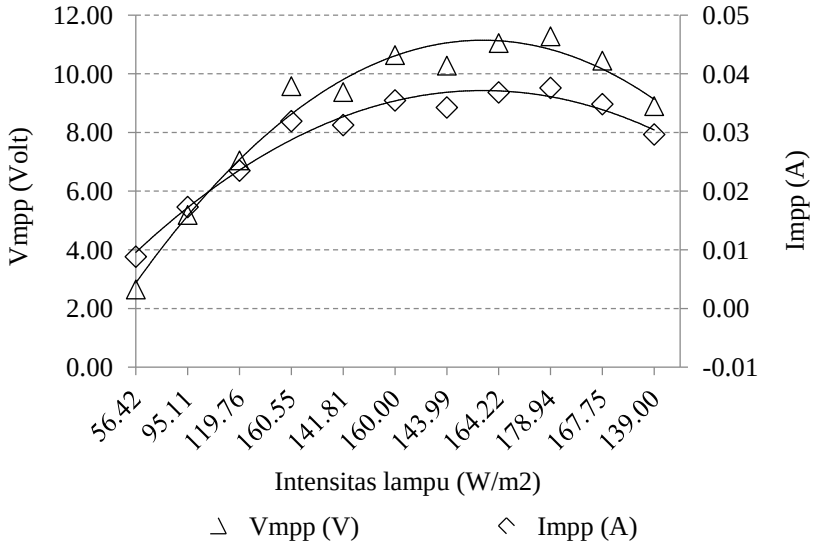
No	Radiasi Matahari (W/m^2)	Intensitas lampu (W/m^2)	Lux meter (Lux)
1	100	25.15	1311.87
2	200	50.29	2623.74
3	300	75.44	3935.61
4	400	100.58	5247.48
5	500	125.73	6559.35
6	600	150.88	7871.22
7	700	176.02	9183.09
8	800	201.17	10494.96
9	900	226.31	11806.83
10	1000	251.46	13126.00

Penelitian diawali dengan mengukur intensitas cahaya matahari bulan maret tahun 2016. Setelah itu mengukur nilai intensitas maksimal lampu pada emulator surya dengan menggunakan pyranometer dan Lux meter. Nilai intensitas maksimal lampu yang diperoleh pada pyranometer dan Lux meter selanjutnya dibagi 10 untuk mendapatkan nilai minimal intensitas lampu. Nilai intensitas maksimal pada pyranometer dibagi dengan nilai intensitas maksimal pada Lux meter untuk meperoleh nilai pengkonversi satuan Lux menjadi $W/_m^2$. Dengan demikian nilai intensitas cahaya lampu diperoleh dengan menginterpolasi nilai intensitas matahari yang tekah diperoleh sebelumnya.

3. Hasil dan pembahasan

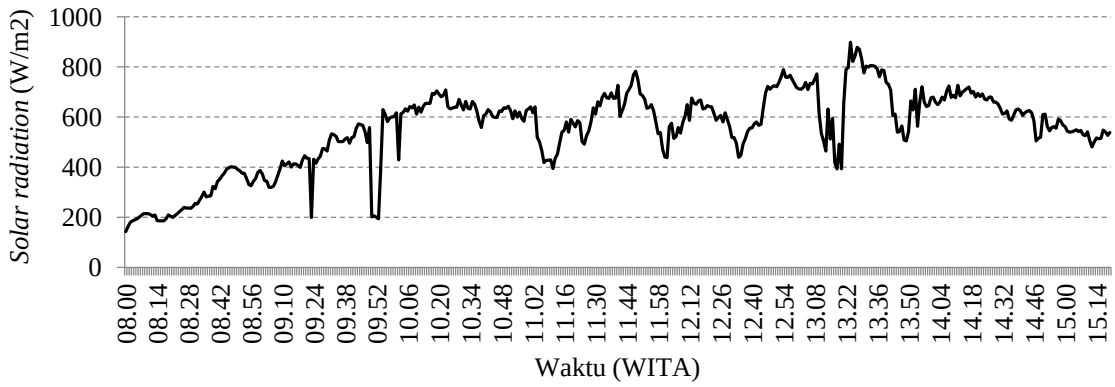
Gambar 3 menunjukkan bahwa intensitas cahaya lampu mempunyai pengaruh terhadap Impp dan Vmpp yang dihasilkan oleh panel surya. Semakin besar intensitas cahaya yang mengenai panel surya, maka Impp dan Vmpp yang dihasilkan oleh panel surya akan semakin besar. Hal ini dikarenakan pada saat sel surya terkena cahaya, maka terjadilah

hubungan elektron dan *hole* melalui bahan semikonduktor sehingga timbullah aliran elektron pada satu arah dan juga timbul aliran *hole* pada satu arah yang berlawanan dan timbul aliran arus yang bila dihubungkan pada suatu beban akan menimbulkan tenaga listrik [5].



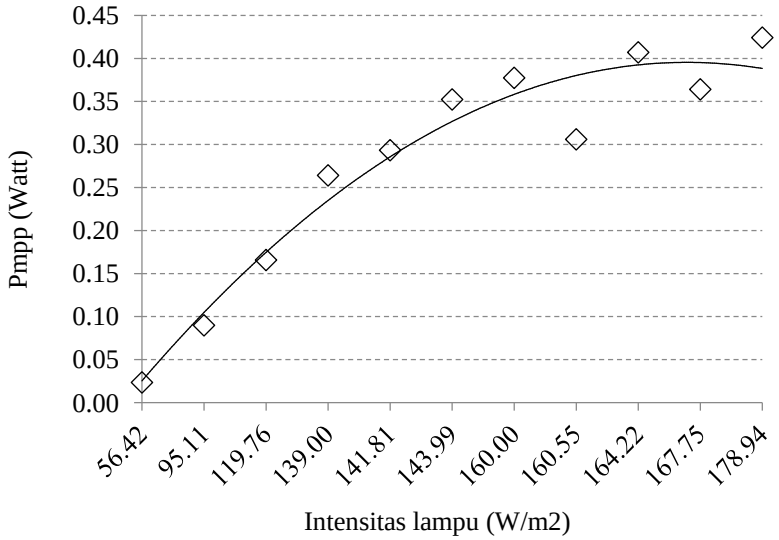
Gambar 1. Grafik hubungan intensitas lampu terhadap Impp dan Vmpp

Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran intensitas matahari yang dilakukan pada tanggal 17 Maret 2016. Dari gambar terlihat bahwa besarnya intensitas akan semakin besar seiring dengan perubahan pergerakan matahari yang ditandai dengan waktu jam setempat. Intensitas akan mencapai maksimum pada sekitar pukul 13.30 WITA, namun intensitas berangsur-angsur akan menurun pada sore hari. Besarnya intensitas pada gambar selalu mengalami perubahan yang tidak konstan. Hal ini disebabkan adanya perubahan cuaca seperti adanya awan mendung dan hujan pada tanggal tersebut.



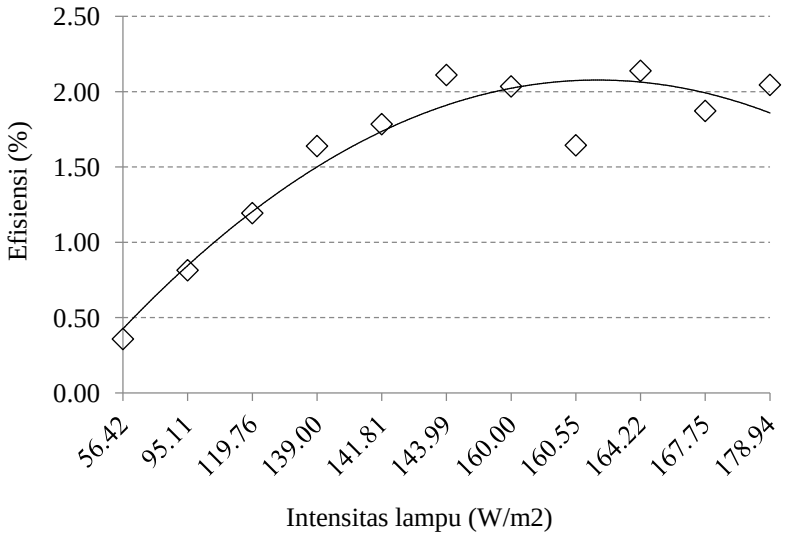
Gambar 4. Intensitas radiasi matahari pada tanggal 17 Maret 2016

Gambar 5 menunjukkan bahwa intensitas lampu mempunyai pengaruh terhadap daya maksimum *power point* (Pmpp). Dimana semakin besar nilai intensitas lampu yang mengenai permukaan panel surya, maka arus (Impp) dan tegangan (Vmpp) yang dihasilkan oleh panel surya pun akan meningkat. Pada penelitian ini hasil yang diperoleh sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Tanesab [4], yang hanya bergantung pada intensitas matahari saja dan tidak memperhitungkan pengaruh lingkungan yang juga mempengaruhi daya keluaran panel. Peningkatan intensitas matahari mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap daya keluaran panel fotovoltaik dimana semakin besar intensitas cahaya matahari maka daya keluaran panel fotovoltaik juga meningkat [6,7].



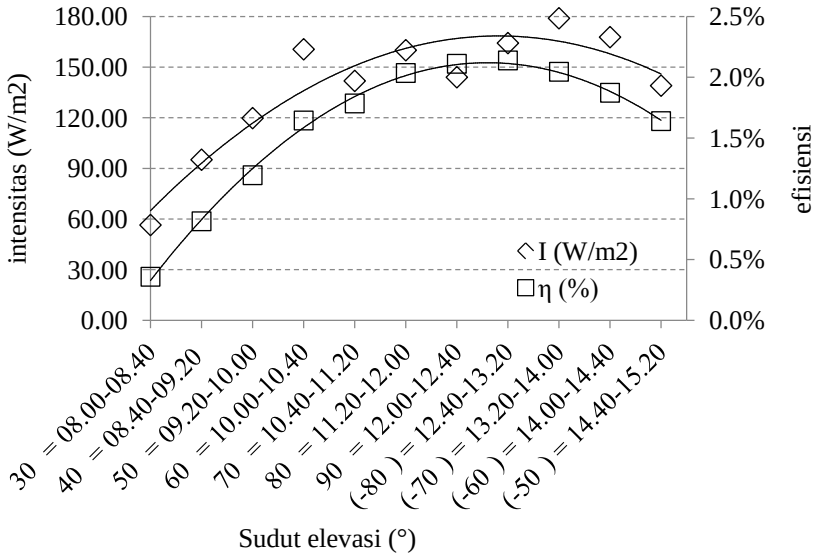
Gambar 5. Grafik hubungan intensitas lampu terhadap Pmpp

Gambar 6 juga menunjukkan bahwa intensitas mempunyai pengaruh terhadap efisiensi dari panel surya. Dimana semakin besar intensitas yang mengenai panel surya maka efisiensi yang akan dihasilkan oleh panel surya akan semakin besar. Daya listrik dipengaruhi oleh arus dan tegangan listrik, yang adalah hasil perkalian antara arus dengan tegangan listrik, sehingga semakin besar arus dan tegangan listrik, maka daya listrik yang dihasilkan semakin besar dan akan menghasilkan efisiensi yang semakin besar juga.



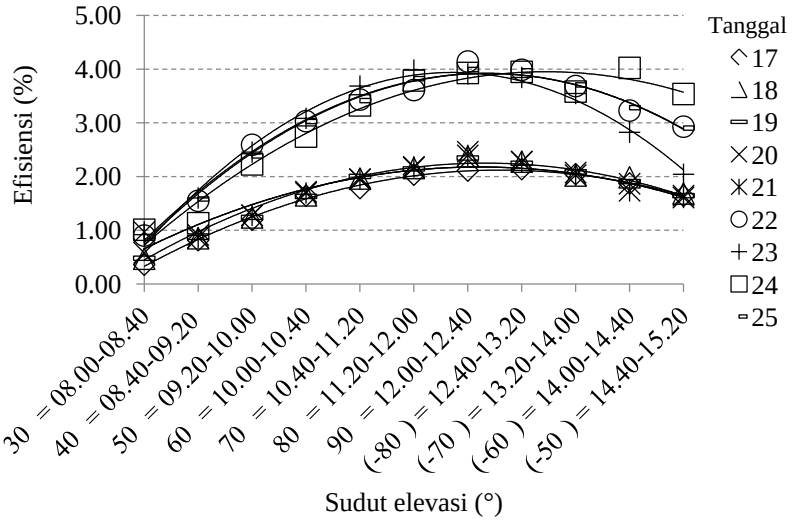
Gambar 6. Grafik hubungan intensitas lampu terhadap efisiensi

Gambar 7 memperlihatkan bahwa seiring dengan berjalannya waktu maka sudut elevasi matahari yang terbentuk akan semakin besar, yang puncaknya terjadi pada pukul 12.00, yang akan menyebabkan posisi matahari semakin tegak lurus dengan tempat pengambilan data. Hal ini menyebabkan intensitas yang mengenai tempat pengambilan data ini akan semakin besar atau dalam penelitian ini sudut elevasi lampu pada solar emulator akan semakin tegak lurus dengan panel surya yang menyebabkan intensitas yang mengenai permukaan dari panel surya akan meningkat juga.



Gambar 7. Grafik sudut elevasi terhadap intensitas dan efisiensi

Gambar 8 merupakan grafik hasil pengukuran sudut elevasi terhadap efisiensi per hari dari hasil pengambilan data setelah melakukan pengamatan di lapangan. Gambar tersebut menunjukkan bahwa seiring berjalannya waktu dari pukul 08:00 sampai 12:40 WITA terhadap pergerakan semu matahari maka efisiensi panel surya akan semakin tinggi. Namun demikian efisiensi panel surya kemudian menurun mulai pada pukul 12:40 sampai 15:20 WITA. Besarnya nilai intensitas pada masing masing waktu akan mempengaruhi Impp dan Vmpp yang juga akan mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya.



Gambar 8. Grafik hubungan sudut elevasi tehadap efisiensi perhari

Gambar 8 memperlihatkan sebuah perbedaan yang signifikan, dimana pada Gambar 8 yakni data per hari memiliki selisih nilai efisiensi yang beragam. Pada tanggal 17-21 Maret 2016 efisiensi yang tertinggi diperoleh sebesar 2,46 %, sedangkan pada tanggal 22-25 Maret 2016 efisiensi yang tertinggi diperoleh sebesar 4,14 %. Pada Gambar 8 tersebut yakni data per hari dapat dilihat jelas nilai efisiensi mulai dari yang terendah dengan nilai sebesar 0,36 % yaitu pada tanggal 17 Maret 2016 dan pada pukul 08:00-08:40 WITA, sedangkan nilai efisiensi yang tertinggi yaitu pada tanggal 22 Maret 2016 pada pukul 12:00-12:40 sebesar 4,14 %. Hal ini disebabkan karena kondisi cuaca tiap waktu bisa berubah-ubah yang dapat mempengaruhi intensitas radiasi matahari sepanjang hari.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian, hasil perhitungan dan hasil pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Intensitas cahaya lampu mempunyai pengaruh terhadap Impp dan Vmpp pada panel surya. Semakin besar intensitas cahaya lampu yang mengenai panel surya, maka Impp dan Vmpp yang diperoleh pada panel surya juga semakin besar, (2) Impp dan Vmpp mempunyai pengaruh terhadap Pmpp (Daya Maksimum *Power Point*) pada panel surya. Semakin

besar nilai Impp dan Vmpp, maka nilai Pmpp yang diperoleh juga semakin besar, (3) Sudut elevasi matahari mempunyai pengaruh terhadap intensitas cahaya matahari dan terhadap pengamat. Ketika sudut elevasi matahari tegak lurus dengan pengamat maka intensitas matahari terhadap pengamat akan semakin besar.

Referensi

[1] Febtiwiyanti, A. E., & Sidopekso, S. (2010). *Studi Peningkatan Output Modul Surya dengan menggunakan Reflektor*. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya* .

[2] Alfanz, R., Sumaedi, R., & Suhendar. (2015). *Analisis Sistem Fotovoltaik Menggunakan Respon Dinamika Induksi pada Lilitan Kawat Tembaga.* SETRUM – Volume 4, No. 1.

[3] Asrul, Demak, R. K., & Hatib, R. (2016). *Komparasi Energi Surya Dengan Lampu Halogen Terhadap Efisiensi Modul Photovoltaic Tipe Multicrystalline*. Jurnal Mekanikal, Vol. 7 No. 1: Januari , 625-633.

[4] Tanesab, J. A. (2007). Analisis *Pengaruh Peningkatan Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Modul Photovoltaic di Laoboratorium Sistem Protekti Politeknik Negeri Kupang*. Mitra. Tahun XIII, Nomor 3. , Hal 315-319.

[5] Frydrychowicz, G., & Jastrzębska. (2009). *The Effect of Spatial Orientation of Solar Energy Receiver On The Energetic Gain.* Polandia: Poznań University of Technology.

[6] Prihartomo, A. A. (2014). *Evaluasi Penggunaan Sel Surya Dan Intensitas Cahaya Matahari Pada Area Gedung K.H. Mas Mansyur Surakarta.* Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

[7] Sunderan, & Prashanthini. (2011). *Optimum Tilt Angle and Orientation of Stand-Alone Photovoltaic Electricity Generation Systems for Rural Electrification.* Malaysia: Department of Fundamental and Applied Sciences, University Technology PETRONAS.

Studi Kelajuan Elektrolit Terhadap Kapasitas Baterai Dinamis Asam Timbal Sel Tunggal

Muhammad Ghufron[1], Istiroyah[2], Cholisina A. Perwita[3], Levinus Gobay[4], Fakhrusy Rizki Ramadhan[5], Kurriawan Budi Pranata[6]

[1,2,3] Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Jalan Veterang Malang 65145, Indonesia

[4,5] Alumni Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Jalan Veterang Malang 65145, Indonesia

[6] Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Kanjuruhan Malang, Malang, Indonesia

Email: mghufron@ub.ac.id

Abstract: *Electrolyte flow rate is one of the important parameters on Redox Flow Battery (RFB) performance. A single cell lead acid battery has been made with the RFB system by giving 4 variations in flow speed (45 mL/min, 77 mL/min, 90 mL/min and 105 mL/min), two electrolyte concentrations (30% and 40%) and applied 1 A of charging-discharging current with the aim of an88ukmalyzing the relationship of the electrolyte flow rate of the battery to the RFB system capacity. The results showed that the flow of electrolytes from tanks outside the cell battery was able to increase battery capacity by increasing the number of spontaneous redox reactions during charging and discharging. The cycle time and battery capacity increase at the beginning of the filling-emptying cycle but have a downward trend with the increasing number of cycles. Batteries with an electrolyte concentration of 30% and speeds of 90 mL/mnt have the best performance in terms of discharging capacity compared to other batteries.*

Keywords: *Lead-Acid, Renewable energy, Electrolyte flowrate, Capacity, Battery*

Abstrak: Laju aliran elektrolit adalah salah satu parameter penting pada kinerja Redox Flow Battery (RFB). Baterai asam timbal sel tunggal telah dibuat dengan sistem RFB dengan memberikan 4 variasi kelajuan aliran (45 mL/mnt, 77 mL/mnt, 90 mL/mnt dan 105 mL/mnt), dua konsentrasi elektrolit (30% dan 40 %) dan diterapkan 1 A arus pengisian-pemakaian dengan tujuan menganalisis hubungan laju aliran elektrolit baterai dengan kapasitas sistem RFB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aliran elektrolit dari tangki di luar baterai sel mampu meningkatkan kapasitas baterai dengan meningkatkan jumlah reaksi redoks spontan selama pengisian dan pemakaian. Waktu siklus dan kapasitas baterai meningkat pada awal siklus pengisian-pengosongan tetapi memiliki tren menurun dengan meningkatnya jumlah siklus. Baterai dengan konsentrasi elektrolit 30% dan kelajuan 90 mL/mnt memiliki kinerja terbaik dalam hal kapasitas pemakaian dibandingkan baterai lainnya.

Kata kunci: Asam Timbal, Energi terbarukan, Laju elektrolit, Kapasitas, Baterai

1. PENDAHULUAN

Indonesia menempati peringkat pertama negara dengan konsumsi energi terbesar di ASEAN dan dengan pertumbuhan PDB di atas 6 % masih akan terus meningkat jumlah konsumsi energinya hingga 2050, dimana hal ini sejalan dengan pertumbuhan konsumsi energi primer global yang selalu meningkat dalam 10 tahun terkahir dimana mencapai angka 2,9 % pada tahun 2018 [1-2]. Kebutuhan akan listrik perkapita dipercaya akan mencapai 4.902 kWh pada tahun 2050, meningkat hampir 600% bila dibandingkan tahun 2016 dengan angka 846 kWh/kapita. Oleh karena itu, upaya pemerintah untuk meningkatkan penggunaan EBT (Energi Baru Terbarukan) mencapai 23% pada tahun 2025 terutama penggunaan sel surya perlu mendapat

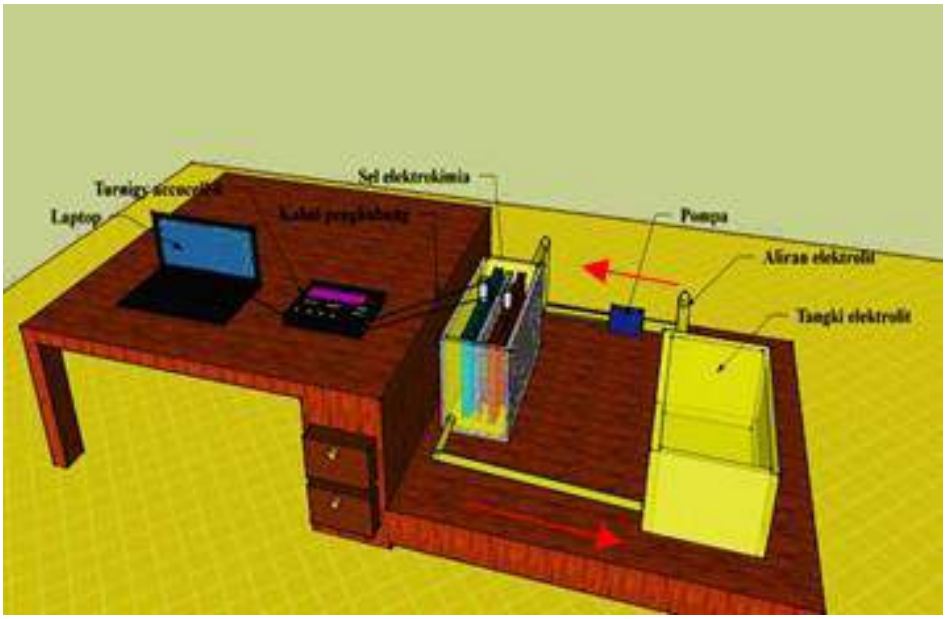
dukungan [2]. Baterai sebagai salah satu instrumen sel surya sebagai energy storage menjadi tema penting untuk dikembangkan dan terus ditingkatkan kemampuannya. Baterai dengan kemamampuan menyimpan muatan tinggi, mudah, murah dan bisa diisi ulang terus menjadi topik penelitian hingga saat ini [3] seperti penggunaan LiPoO4 [4], Vanadium [5], Nikel Cadmium [6] dan Asam timbal [7-10].

Baterai asam timbal berdasarkan perlakuan pada elektrolitnya dapat dibedakan menjadi baterai asam timbal statis (elektrolit diam) dan baterai asam timbal dinamis (elektrolit mengalir). Baterai dinamis atau lebih dikenal dengan Redox Flow Battery (RFB) untuk asam timbal (LARFB) mulai menjadi perhatian sejak Zhang dkk melaporkan bahwa RFB lead acid dapat menggunakan elektrolit tunggal (single electrolyte) dimana sebelumnya RFB banyak menggunakan dua elektrolit (double electrolyte) dalam sistem sel baterai [11]. Kelebihan yang diperoleh pada baterai asam timbal statis juga muncul pada asam timbal dinamis yakni mampu diisi ulang, murah, mudah dalam perawatan dan menghasilkan daya cukup tinggi. Penelitian terkait dengan baterai asam timbal telah banyak dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan performa baterai mulai dari peningkatan kualitas elektroda (modifikasi bentuk, pemurnian dan luas permukaan reaksi redox), penggunaan elektrolit yang berbeda dan konsentrasi berbeda. Asam timbal basah umumnya menggunakan 2 jenis elektrolit yakni asam sulfat [12] dan methansulfonic acid dengan hasil daya yang berbeda dimana penggunaan asam sulfat menghasilkan tegangan sekitar 2 V dan methansulfonic acid menghasilkan tegangan sekitar 1,6 V [13].

Pada baterai dinamis kelajuan aliran elektrolit menjadi komponen penting dalam menghasilkan densitas muatan yang tinggi namun penelitian terkait dengan hal ini masih terbatas. Kelajuan elektrolit akan berkontribusi pada energi awal yang dimiliki oleh ion-ion elektrolit dan berdampak pada laju reaksi antara elektroda dan elektrolit. Hal ini menyebabkan jumlah muatan yang dihasilkan oleh baterai berkorelasi secara nyata pada kecepatan elektrolit. Berkaitan dengan hal tersebut pada penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis pengaruh kelajuan elektrolit asam sulfat terhadap kapasitas baterai asam timbal dinamis dan grafik tegangan selama siklus pengisian-pengosongan dihasilkan dengan menggunakan parameter arus konstan.

2. METODE PENELITIAN

Pembuatan sistem baterai asam timbal dinamis sel tunggal dilakukan dengan modifikasi baterai asam timbal 6 sel dipasaran. Baterai asam timbal 6 sel dengan label kapasitas 5000 mAh dipakai hanya 1 sel (tanpa tahu nilai kapasitas persel) dengan ukuran masing lempeng elektroda 4,5 x 7,5 cm2 kemudian ditaruh wadah plastik yang telah diintegrasikan dengan pompa peristaltik untuk mengalirkan elektrolit dari tanki di luar sel dan turnigy accucell-6 sebagai instrumen pengambil data karakteristik baterai secara kontinyu dan realtime.



Gambar 1. Skema rangkaian penelitian LARFB variasi laju elektrolit

Arus listrik yang digunakan sebesar 1 A dan volume elektrolit asam sulfat tanki sebesar 600 mL dengan konsentrasi 30%. Selama pengujian pengisian-pengosongan baterai dibantu dengan software ChargeMaster 2.02 dan pengolahan data dilakukan dengan bantuan software webplotdigitizer dan excel. Pengujian baterai di lakukan persiklus yakni pengisian sampai penuh dan pengosongan hingga mencapai tegangan terendahnya. Turnigy accucell-6 telah secara otomatis mengatur tegangan maksimum pengisian 2,4 V persel dan arus akan diputus pada proses pengosongan saat tegangan mencapai 1,8 V. Hal ini dikarenakan menurut literatur yang ada teganga kinerja baterai asam timbal sebesar 1,8-2,4 V [14-15].

Pada penelitian ini dilakukan 4 buah variasi kelajuan elektrolit. Kelajuan elektrolit dikontrol oleh adaptor yang disambungkan dengan pompa peristaltik. Hubungan tegangan pompa dan kelajuan alir seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Korelasi tegangan adaptor pompa peristaltik terhadap kelajuan aliran elektrolit pada sistem baterai asam timbal sel tunggal.

Nama Baterai	Tegangan Pompa (V)	Kelajuan aliran elektrolit (mL/mnt)	Konsentrasi Elektrolit (%)
LARFB 1*	4,5	45	30
LARFB 2	6,0	77	30
LARFB 3	9,0	90	30
LARFB 4	12,0	105	30
LARFB 5	4,5	45	40
LARFB 6	6,0	77	40
LARFB 7	9,0	90	40
LARFB 8	12,0	105	40

*LARFB = Lead Acid Redox Flow Battery Variasi 1

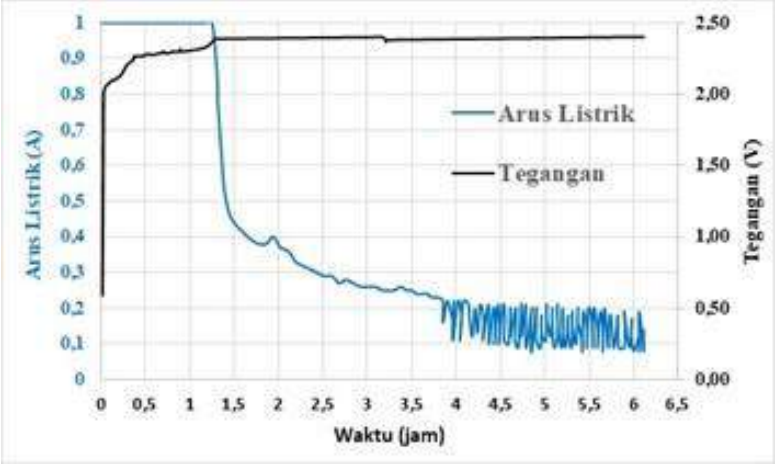
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil luaran software ChrageMaster 2.02 pengujian baterai LARFB1 dengan konsentrasi elektrolit 30% dan penggunaan arus listrik konstan 1 A dan laju elektrolit sebasar 45 mL/mnt dapat dilihat pada gambar 2. Tampak bahwa sistem menejemen baterai dapat melakukan record data berupa tegangan kapasitas dan arus listrik terhadap waktu. Adapun suhu baterai tidak dapat di record oleh sistem namun bisa menggunakan termometer luar. Menurut Danang Adiyoga, 2019 dalam penelitiannya diketahui bahwa terdapat perubahan suhu pada sel baterai saat pengisian-pengosongan dimana suhu naik saat pengosongan baterai dilakukan dan turun saat pengisian dilakukan [17].

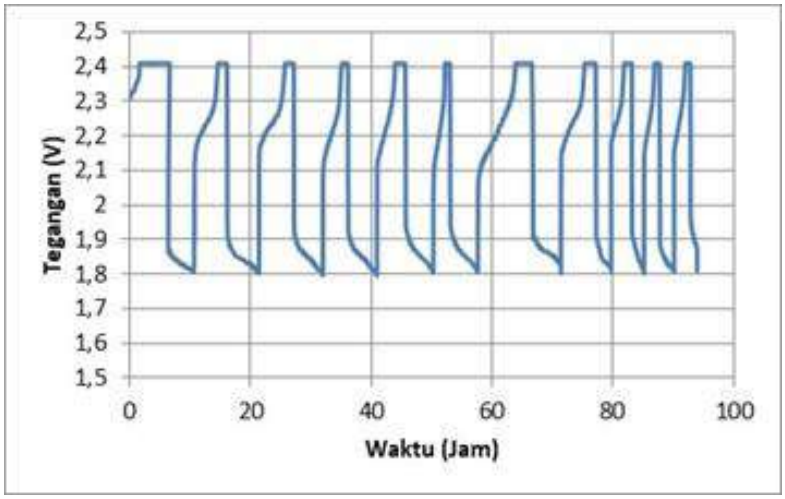


Gambar 2. Tampilan *software* ChargeMaster 2.02 berupa data karakteristik baterai sebagai fungsi waktu.

Grafik pada gambar 2 bagian kanan menunjukkan kapasitas/muatan baterai sebagai fungsi waktu pada proses pengosongan (discharge) 1 A (terbaca 0,99 A di tampilan software pad akhir record) menunjukkan bahwa baterai asam timbal yang dibuat dapat dilakukan pengosongan hingga 16962 detik atau setara dengan kapasitas 4697 mAh. Artinya baterai asam timbal yang dibuat sudah memiliki muatan yang bisa dilepas tanpa perlu dilakukan pengisian muatan terlebih dahulu. Hal ini terjadi sebagai akibat adanya reaksi spontan antara kedua elektroda dengan larutan elektrolit asam sulfat. Reaksi spontan ini mengubah elektroda negatif Pb menjadi PbSO4 dan elektroda positif PbO2 menjadi PbSO4 dan air. Proses selanjutnya setelah pengosongan awal adalah pengisian baterai dengan memberikan arus 1 A pada sistem yang menyebabkan tegangan naik secara cepat dan konstan saat mencapai 2,4 V. Pada tegangan ini pengisian dikatakan telah mencapai tegangan tertinggi dan arus listrik terlihat menurun secara cepat untuk mempertahankan tegangan tersebut yang mengakibatkan laju pengisian muatan menjadi menurun seperti yang terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik arus Listrik (biru/kurva primer) dan tegangan (hitam/kurva sekunder) terhadap waktu pada baterai LARFB1 siklus 1.

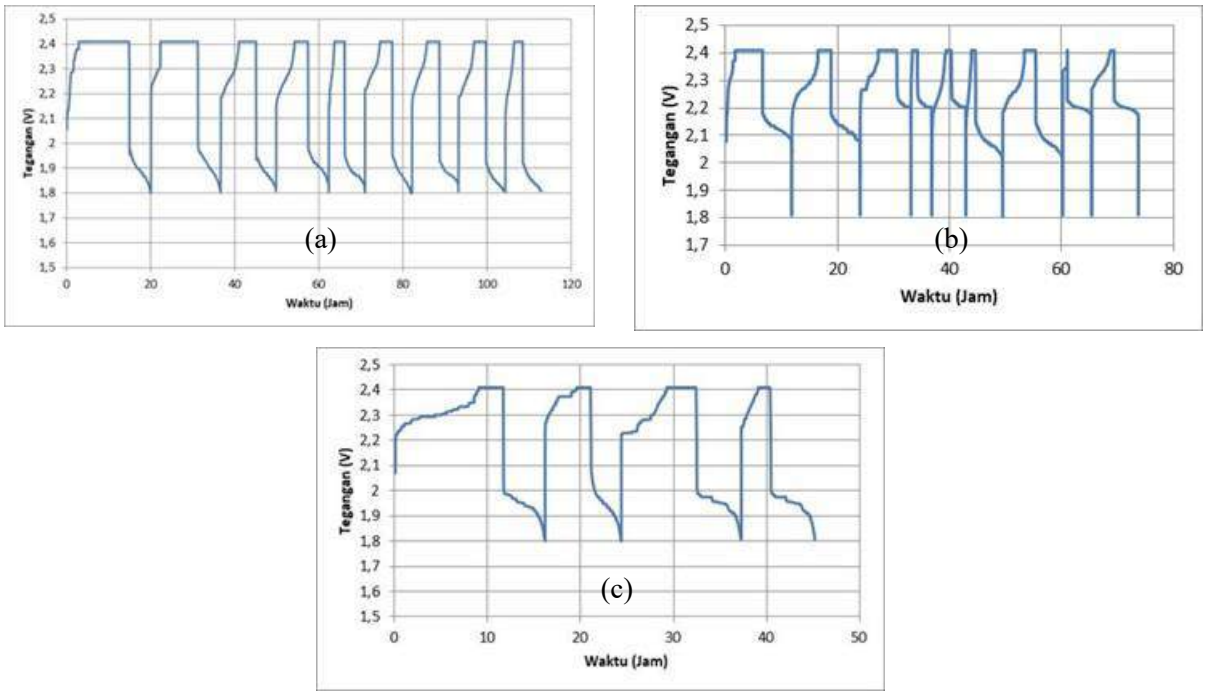


Gambar 4. Grafik tegangan terhadap waktu pengisian-pengosongan 11 siklus baterai dinamis asam timbal konsentrasi H_2SO_4 30% dengan kelajuan alir sebesar 45 mL/mnt.

Selama proses pengisian dan pengosongan pada kelajuan alir elektrolit 45 mL/mnt diperoleh grafik tegangan pengisian dan pengosongan yang mirip (tegangan bergerak dari 1,8 V hingga 2,4 V) yang menunjukkan bahwa baterai mampu diisi ulang dengan baik. Perbedaan yang terjadi selama sebelas siklus adalah luasan grafik pengisian pengosongan yang mengindikasikan jumlah muatan yang tersimpan berbeda-beda. Nilai kapasitas baterai dihitung berdasarkan nilai rata-rata pengisian dan nilai rata-rata pengosongan.

Grafik yang mirip juga diperoleh pada variasi kelajuan alir elektrolit 77 mL/mnt, 90 mL/mnt dan 105 mL/mnt dimana proses pengisian dan pengosongan dapat dilakukan dengan rentang tegangan pengisian 2,01 V sampai 2,40 V dan rentang tegangan pengosongan 2,08 V hingga 1,80 V. Hasil lain yang diperoleh adalah jumlah siklus pengisian dan pengosongan semakin sedikit sebelum baterai menunjukkan gejala kerusakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 5a hingga 5c. Tampak pada gambar 5 bahwa semakin besar laju elektrolit menunjukkan bahwa semakin besar laju aliran elektrolit maka umur baterai semakin menurun, hal ini berkaitan dengan keadaan elektroda yang terkikis bila kelajuan alir melebihi batas kelajuan tertentu. Pada penelitian ini, semua kelajuan alir elektrolit 45 mL/mnt pada 4 siklus pertama menunjukkan

waktu pengisian dan pengosongan yang hampir sama yakni sekitar 40 jam kecuali pada laju alir elektrolit 77 mL/mnt dikarenakan proses pengisian pada siklus1 dan siklus 2 yang lebih lama. Sementara itu tanda-tanda baterai mengalami ketidaknormalan terjadi pada siklus yang memiliki luas grafik yang kecil atau durasi pengisian-pengosongan yang cepat.



Gambar 5. Grafik tegangan terhadap waktu pengisian-pengosongan beberapa siklus baterai dinamis asam timbal konsentrasi H2SO4 30% dengan kelajuan alir sebesar (a) 77 mL/mnt, (b) 90 mL/mnt dan (c) 105 mL/mnt.

Tabel 2 memberikan informasi bagaimana dinamika kapasitas pengisian dan pengosongan baterai LARFB dengan konsentrasi 30% berbeda-beda untuk setiap siklus pengisian dan pengosongan. Pengisian baterai memiliki deviasi dengan rentang 1,7 % – 46% dari nilai rata-ratanya sedangkan pada pengosongan relatif stabil dengan rentang deviasi 0,7 % - 22 %. Baterai LARFB 2 memiliki kapasitas yang paling stabil dan paling tinggi dari segi kapasitas pengisian dimana memiliki rentang deviasi pengisian 2,6% - 27% dan rentang deviasi pengosongan 0,3% - 5,1%. Sementara itu baterai dengan kapasitas pengosongan terendah ada pada perlakuan LARFB 4 dengan hanya mampu mengeluarkan kapasitas rata-rata sebesar 3834 mAh dan deviasi pengisian setiap siklus yang besar. Secara nilai kapasitas rata-rata LARFB 1 dan LARFB 3 merupakan baterai dengan kapasitas pengosongan lebih besar dari pada kapasitas pengisian. Fenomena ini terjadi dikarenakan pada proses pengosongan dengan elektrolit mengalir memungkinkan terjadinya pengikisan pada material aktif elektrode sehingga menginisiasi reaksi kimia spontan antara elektroda dengan elektrolit. Pada reaksi kimia spontan elektroda Pb berubah menjadi PbSO4 yang berupa padatan dan menempel pada elektroda menyebabkan adanya lapisan PbSO4 yang bersifat isolator dan menghambat reaksi spontan dengan lapisan di dalamnya. Namun dengan adanya elektrolit mengalir ini menyebabkan lapisan PbSO4 ini tidak mampu menempel dengan baik dan sebagian justru mengikuti aliran elektrolit sehingga lebih banyak material aktif yang melakukan reaksi spontan menyebabkan

semakin banyaknya kapasitas baterai. Kapasitas pengosongan terbaik diperoleh pada LARFB 3 pada siklus 1 dan siklus 2 sebesar 5211 mAh dengan rata-rata kapasitas pengosongan sebesar 5062 mAh.

Tabel 2. Kapasitas Baterai LARFB konsentrasi elektrolit 30% dengan berbagai variasi laju alir elektrolit.

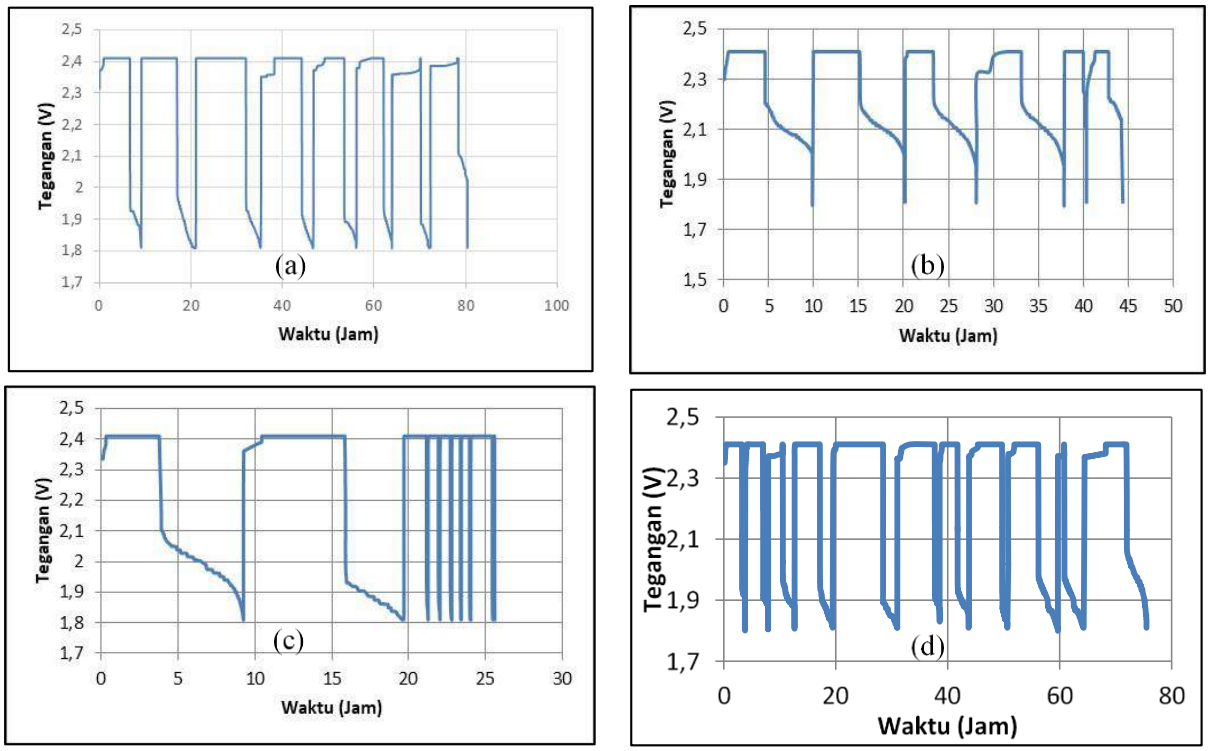
Jenis Baterai	Status	Kapasitas Baterai Tiap Siklus (mAh)				
		1	2	3	4	rata-rata
LARFB 1	C*	2478	4643	4903	3488	3878
LARFB 1	D	4471	4812	4940	4697	4730
LARFB 2	C	6410	3971	5801	5589	5443
LARFB 2	D	4923	5138	4649	4885	4899
LARFB 3	C	2424	6028	4596	5016	4516
LARFB 3	D	5211	5211	4912	4912	5062
LARFB 4	C	6686	2984	6168	2682	4630
LARFB 4	D	4015	2986	4167	4167	3834

*C = Charging (Pengisian);
D = Discharging (Pengosongan)

Berdasarkan Gambar 6 dapat diketahui bahwa baterai LARFB1, LARFB 2, dan LARFB 3 berhasil memiliki kapasitas pengisian yang lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas pengosongan dan hanya baterai LARFB 4 yang memiliki kapasitas pengisian lebih kecil dibandingkan kapasitas pengosongan. LARFB1, LARFB 2, dan LARFB 3 merupakan sebuah keanehan karena seharusnya kapasitas pengosongan lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas pengisian baterai.

Pada baterai LARFB 4 kejadian ini tidak terjadi karena kelajuan elektrolit yang sangat besar yakni 105 mL/mnt membuat kekuatan ikatan mekanik bahan elektrode yang dibuat dengan cara kompaksi tidak mampu menahan tekanan alir elektrolit sehingga elektrode mudah rusak yang mengakibatkan elektroda tidak mampu menyimpan muatan dengan baik.

Pada eksperimen lanjutan dengan menggunakan konsentrasi elektrolit 40% dapat diketahui bahwa baterai dapat dilakukan pengisian dan pengosongan hingga beberapa siklus dengan baik seperti terlihat pada gambar 7. Tingginya konsentrasi elektrolit membuat reaksi redoks yang terjadi semakin banyak dan mengasilkan lebih banyak muatan pada baterai selain menyebabkan tergerusnya elektroda semakin cepat yang mengakibatkan elektroda cepat rusak diindikasikan dari grafik yang cenderung mepet atau durasi pengisian-pengosongan yang relatif lebih pendek. Proses rusaknya elektroda lebih dominan sehingga membuat kapasitas baterai lebih kecil bila dibandingkan dengan baterai dengan konsentrasi 30%. Kapasitas pengisian LARB 5, LARB 6, LARB 7 dan LARB 8 berturut-turut adalah 3554 mAh, 2021 mAh, 1562 mAh dan 2820 mAh, sedangkan untuk pengosongan bernilai 2910 mAh, 5090 mAh, 3146 mAh dan 1404 mAh. Nilai ini jauh inferion dibandingkan dengankapasitas baterai dengan konsentrasi 30%. Baterai terbaik dari segi kapasitas pada variasi ini adalah baterai LARFB 6 dengan kelajuan alir 77 mL/mnt. Baterai LARFB 5, LARFB 6 dan LARFB 7 memiliki kapasitas pengisian lebih kecil dari pengosongannya sedangkan LARFB 8 terjadi hal sebaliknya. Semakin tinggi laju alir elektrolit membuat baterai gampang rusak.



Gambar 7. Grafik tegangan terhadap waktu pengisian-pengosongan beberapa siklus baterai dinamis asam timbal konsentrasi H_2SO_4 40% dengan kelajuan alir sebesar (a) 45 mL/mnt, (b) 77 mL/mnt, (c) 90 mL/mnt dan (d) 105 mL/mnt.

4. KESIMPULAN

Telah berhasil dibuat baterai redoks asam timbal (LARFB) dengan menggunakan elektrolit H_2SO_4 30% dan 40% dan dilakukan uji pengisian-pengosongan beberapa siklus sebelum menunjukkan tanda-tanda kerusakan. Kelajuan elektrolit 77 mL/*mnt* menghasilkan kapasitas pengisian dan pengosongan yang paling baik sedangkan kelajuan 90 mL/*mnt* dan 105 mL/*mnt* membuat kapasitas baterai menurun dan elektrode mudah rusak karena tidak mampu menahan tekanan akibat kelajuan elektrolit. Performa baterai dengan konsentrasi 30% lebih baik bila dibandingkan dengan konsentrasi 40% dari segi kurva tegangan dan nilai kapasitas baterai.

5. SARAN

Perlu dilakukan percobaan serupa dengan kelajuan eletrolit lebih rendah di bawah 40 mL/menit secara terkontrol dan pengujian elektroda menggunakan XRD, SEM EDX untuk mengetahui mikrostruktur elektroda.

DAFTAR PUSTAKA

Bob Dudley. (2019). BP Statistical Review of World Energy: The 68th edition (London : BP p.l.c)

Yudiatono dkk. (2018). Outlook Energi Indonesia : Energi Berkelanjutan untuk Transportasi Darat (Jakarta : BPPT)

T. Nguyen and R. F. Savinell. (2010). Flow Batteries *Electrochem. Soc. Interface Fall,* 19(3), 54-56.

Satriady Aditya, Wahyu Alamsyah, Aswad Hi Saad and Sahrul Hidayat. (2016). Pengaruh Luas

Elektroda Terhadap Karakteristik Baterai $LiFePO_4$. *Jurnal Materal dan Energi Indonesia,* 06, 43-48.

G-J. Hwang, S-W. Kim, D-M. In, D. Y. Lee and C. H. Ryu. (2018). Application of the commercial ion exchange membranes in the all-vanadium redox flow battery. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry,* 60, 360-365.

Kobra Pourabdollah. (2017). Development of electrolyte inhibitors in nickel cadmium batteries .*Chemical EngineeringScience,* 160**,** 304–312

Z. Sun dkk. (2017). Spent lead-acid battery recycling in China - A review and sustainable analyses on mass flow of lead. *Waste Management,* 64**(**1), 190-201

K. Hassan, Bakhshali M and Razieh A. (2009). Recovery of discarded sulfated lead-acid batteries by inverse charge. *Journal of Energy Conversion and Management,* 50, 893-898.

Wei Zhang dkk. (2018). A low-cost green approach for synthesis of lead oxide from waste lead ash for use in new lead-acid batteries. *China Journal of Chemical Engineering* xxx xxx-xxx

Yun Li, Shenghai Y., Pekka T., Jing H., Fangwen L., Rongbo Z., Yongming C., Chaobo T., Yuejun W., and Ari J. (2019). Novel recycling process for lead-acid battery paste without SO_2 generation - Reaction mechanism and industrial pilot campaign. *Journal of Cleaner Production,* 217, 162-171

Piergiorgio Alotto, Massimo Guarnieri, and Federico Moro. (2014). Redox flow batteries for the storage of renewable energy: a Review *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 29**,** 325-335

Nur Khairati, M. Ghufron, and K. Pranata. (2018). Optimasi Kapasitas Baterai Dinamis Asam Timbal (Redox Flow Battery), *SMARTICS,* 4(2), 44 - 48

C.P. Zhang, S.M. Sharkh, X. Li, F.C. Walsh, C.N. Zhang, and J.C. Jiang. (2011). The performance of a soluble lead-acid flow battery and its comparison to a static lead-acid battery *Energy Conversion and Management,* 52, 3391-3398

Muhammad Ghufron dkk. (2018). Charging Time Influence on Dynamic Lead Acid Battery Capacity with H2SO4 Electrolyte *The 8th Annual Basic Science International Conference: Covarage of Basic Science Toward the World's Sustainability Challenges AIP Conference Proceedings,* 2021, 050006

F R Ramadhan, Muhammad Ghufron, Nur Khairati, Y E Setiawan, Masruroh and K B Pranata. (2019). Influence of discharge current on 3 cells dynamic lead-acid batteries performance *9th Annual Basic Science International Conference 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering,* (546**)** 042009

TEKNO Jurnal Teknologi Elektro dan Kejuruan

http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno | ISSN 1693-8739 / 2686-4657

Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Cilaki Kapasitas 5000 kW

Saepul Rahmat[1], Hendi Purnata[2], Afrizal Abdi Musyafiq[3],

1. Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Cilacap, Indonesia | saepulrahmat06@gmail.com
2. Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Negeri Cilacap, Indonesia | hendipurnata@gmail.com
3. Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Cilacap, Indonesia | afrizal.abdi.m@gmail.com

Abstrak

Tenaga air telah digunakan untuk berbagai kebutuhan tenaga (energi) sejak lama, mulai dari teknologi sederhana (seperti kincir air di pedesaan) hingga teknologi yang kompleks dengan menggunakan berbagai turbin. Ada banyak sungai di Kabupaten Garut di Jawa Barat yang bisa berkembang menjadi pembangkit listrik dari kecil hingga besar. Sungai Cilaki merupakan salah satu sungai yang dapat dimanfaatkan dan berpotensi untuk menghasilkan listrik pada skala hidroelektrik kecil. Studi kelayakan dimulai dengan analisis hidrologi, perhitungan daya dan energi, perencanaan peralatan mekanik dan listrik, analisis ekonomi dan analisis lingkungan. Hasil analisis hidrologi Sungai Cilaki menunjukkan bahwa sungai tersebut berpotensi memiliki debit tahunan yang stabil sebesar 4,2 m^3/s dengan probabilitas debit 70%. Ketinggian pipa *penstock* pembangkit listrik tenaga minihidro ini adalah 100,5 m, sehingga efisiensi turbin masing-masing generator dengan turbin Francis horizontal adalah 90% dan masing-masing dapat menghasilkan 3.500 kW dan 1.576 kW. Hasil analisis finansial menunjukkan bahwa rencana pembangunan pembangkit listrik tenaga minihidro dengan biaya investasi Rp 63.660.430.800,00 layak karena selisih antara nilai arus kas yang masuk dengan nilai arus kas keluar masih positif 39.528 dan tingkat pengembalian dari modal proyek 19,69% masih lebih tinggi dari suku bunga pinjaman 14%.

Kata Kunci

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro, Turbin Francis, Sungai Cilaki, Energi Terbarukan

http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno | ISSN 1693-8739 / 2686-4657

1. Pendahuluan

Pembangkit listrik tenaga air telah digunakan untuk berbagai kebutuhan tenaga (energi) sejak lama, mulai dari teknologi yang sederhana (seperti kincir air yang banyak dijumpai di pedesaan) hingga teknologi yang kompleks dengan menggunakan berbagai turbin. Pemerintah mengeluarkan kebijakan ketenagalistrikan melalui Peraturan Pemerintah No. 5 Mei 2005 yang menyatakan bahwa untuk menjamin ketersediaan energi primer untuk pembangkit tenaga listrik, penggunaan energi harus mengutamakan penggunaan energi terbarukan. Untuk mencapai target laju elektrifikasi 99% pada tahun 2021, diperlukan catu daya dengan kapasitas yang cukup dan dekat dengan pusat beban untuk memastikan kualitas daya yang dihasilkan. Ada banyak sungai di Kabupaten Garut di Jawa Barat yang bisa berkembang menjadi pembangkit listrik dari kecil hingga besar. Sungai Cilaki merupakan salah satu sungai yang dapat dimanfaatkan dan berpotensi untuk menghasilkan listrik pada skala hidroelektrik kecil. Pembangkit listrik Minihidro bergantung pada perpindahan, ketinggian (ketinggian jatuh) dan efisiensi (Septiani 2013).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengumpulkan semua data pendukung yang tersedia untuk menganalisis kelayakan PLTM, menentukan besaran pembangkit berdasarkan produksi energi yang diharapkan, dan menarik kesimpulan dari berbagai aspek seperti teknologi, keuangan dan lingkungan. Ridwan Arief Subekti melakukan penelitian di wilayah Kabupaten Garut, namun menggunakan objek sungai yang berbeda yaitu Sungai Cikawung. Penelitian ini menggunakan analisis hidrologi, perhitungan listrik dan energi, perencanaan kelistrikan, dan analisis ekonomi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Sungai Cikawung dengan debit aliran 2,0 m^3/s dan *head* 200 m dan 330 m akan menggunakan dua buah turbin Pelton dengan potensi daya listrik sebesar 4.719 kW. (Ridwan Arief Subekti, 2015)

penelitian serupa di DAS yang sama di Sungai Cilaki secara lebih spesifik untuk meneliti peralatan listrik yang akan dipasang di PLTM Cilaki. PLTM Cilaki dengan ketinggian 62,5 m dan volume debit 2,33 m^3/s akan memutar satu sudu turbin Francis dengan 5 sudu. Putaran bilah turbin akan memutar generator tiga fasa berkapasitas 1.500 kVA / 1.200 kW dengan kecepatan 1.500 rpm (Ahmad Luthfi dkk, 2010)

Penelitian lain menunjukkan bahwa analisis siklus hidrologi sangat penting dalam studi kelayakan pembangkit, karena akan mempengaruhi siklus banjir tahunan dan aliran sungai. Setelah mendapatkan data hidrologi dan volume drainase, langkah selanjutnya adalah memasukkan parameter ke dalam data input program TURBNPRO. Riyani juga melakukan penelitian tentang desain simulasi model turbin dengan menggunakan metode CFD. Berdasarkan hasil simulasi, turbin sungai dengan debit 1,52 m^3 / s merupakan turbin Francis dengan efisiensi 88,24% dan daya total 1,43 MW (Riyani Prima Dewi, 2018).

Penelitian jenis turbin yang dilakukan di PLTMH Cilaki telah dilakukan dengan menghitung nilai *water head* dan aliran air, kemudian menentukan jenis turbin yang akan digunakan. Berdasarkan data survei, diadopsi tipe turbin Francis dengan 12 sudu, diameter poros 95,7 mm, dan tinggi *head* 60 m dan laju aliran 2,33 m^3/s. Tenaga yang dihasilkan pada 1.000 rpm adalah 1.090,56 kW (Maridjo dkk, 2020)

http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno | ISSN 1693-8739 / 2686-4657

Berdasarkan permasalahan di atas, belum ada studi yang komprehensif tentang kelayakan PLTMH Cilaki dari segi hidrologi, teknologi, ekonomi dan lingkungan. Melalui studi kelayakan PLTMH Cilaki diharapkan dapat dijadikan sebagai usulan pemerintah daerah dan masyarakat tentang potensi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Sungai Cilaki, dan juga dapat dijadikan sebagai bahan pengetahuan masyarakat untuk menggunakan air sungai sebagai sumber energi baru yang terbarukan.

2. Metode

1) Deskripsi Wilayah Pembangunan PLTM

Rencana pemilihan lokasi pembangunan PLTM (Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro) berlokasi di Desa Sulaksana, Kabupaten Garut Kecamatan Talegong. Secara administratif Kabupaten Garut berbatasan dengan Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang di sebelah utara, Kabupaten Cianjur di sebelah barat, Kabupaten Tasikmalaya di sebelah timur, dan Samudera Indonesia di sebelah selatan. Lokasi PLTM berada di dekat Sungai Cilaki yang bersebelahan dengan jalan raya di Kabupaten Garut di Desa Sukalaksana. Peta lokasi rencana pembangunan PLTM ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Peta Lokasi Rencana Pembangunan PLTM Cilaki (RIPJM Kab Garut 2019)

Menurut arah alirannya, sungai-sungai di wilayah Kabupaten Garut terbagi menjadi dua cekungan (DAS), yaitu daerah aliran utara yang mengalir ke Laut Jawa dan cekungan selatan yang mengalir ke lautan Indonesia. Dibandingkan dengan cekungan utara, cekungan selatan biasanya relatif pendek, sempit dan berbentuk lembah. Cekungan utara merupakan bagian utara cekungan Cimanuk, sedangkan cekungan selatan merupakan cekungan Cikaengan dan sungai Cilaki. Kabupaten Garut memiliki 33 sungai dan 101 anak sungai dengan total panjang 1.397,34

http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno | ISSN 1693-8739 / 2686-4657

km. Sepanjang 92 km merupakan aliran Sungai Simanuk yang terdiri dari 58 anak sungai (Pemda Kabupaten Garut, 2013).

2) Metode Pengumpulan Data

Dalam studi kelayakan rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) kecil dilakukan proses pendataan yang digunakan untuk menentukan parameter pembangunan PLTM Cilaki. Studi kelayakan dimulai dengan analisis hidrologi, perhitungan daya dan energi, perencanaan peralatan mekanik dan listrik, analisis ekonomi dan analisis lingkungan. Langkah-langkah ini digunakan untuk mendapatkan hasil penelitian yang akurat.

Analisis hidrologi dalam penelitian ini menggunakan data iklim (PSDA, Jawa Barat, 2020) yang diperoleh dari stasiun pemantauan meteorologi terdekat (stasiun iklim Pangalengan dari tahun 2018 hingga 2020). Selain itu, metode Penman digunakan untuk menghitung evapotranspirasi potensial dari lokasi rencana PLTM, dan metode Moch digunakan untuk menghitung debit sungai bulanan. Kemudian, persamaan Weibull digunakan untuk menganalisis probabilitas kemunculan data aliran sungai untuk menentukan nilai aliran yang dapat diandalkan. Selain itu, aliran Sungai Cilaki diverifikasi dengan pengukuran aliran sesaat. Perencanaan bangunan sipil dan komponen kelistrikan mekanik dalam penelitian ini mengacu pada daya potensial dan energi listrik yang dapat dihasilkan PLTM.

3. Hasil dan Pembahasan

1) Analisis Hidrologi

Hidrologi merupakan ilmu yang berkaitan dengan sifat, fenomena dan persebaran air, khususnya persebaran air di darat (Purwanto, 2011). Tidak terkecuali rencana pembangunan PLTA kecil yang dilaksanakan di Kabupaten Garut, aliran air merupakan bagian penting dari kehidupan khususnya lingkungan sekitar yaitu masyarakat yang berhubungan langsung dengan aliran air. Dalam hal ini kondisi hidrologi meliputi iklim, daerah aliran sungai, dan curah hujan termasuk perubahan iklim, yang merupakan parameter acuan yang mempengaruhi kurva durasi dalam pengembangan mikro-multi aliran limpasan. Data debit andalan tahunan Sungai Cilaki dapat dilihat dalam Tabel 1 berikut ini:

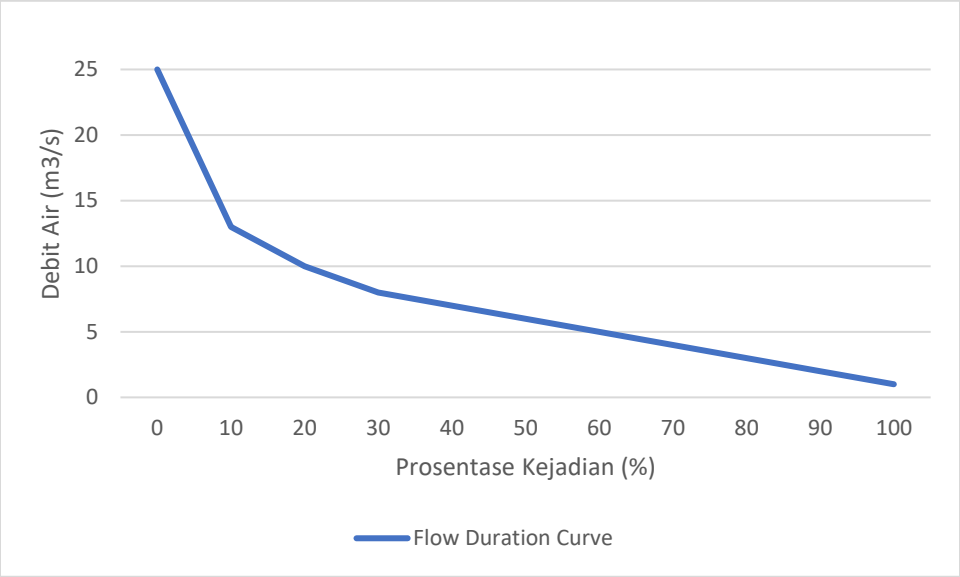
Tabel 1. Debit Andalan PLTM Cilaki

Prob	Debit andalan per bulan (m3/det)											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
50%	7.37	10.54	9.36	9.16	6.64	5.24	3.86	2.94	2.12	1.83	5.09	7.42
60%	6.69	9.75	8.73	8.30	5.87	4.88	3.55	2.70	1.97	1.70	3.73	6.51
70%	6.24	7.96	8.15	7.38	5.56	4.41	3.23	2.39	1.84	1.60	2.86	5.80
80%	5.67	6.17	7.82	6.98	5.25	4.15	3.00	2.14	1.67	1.43	2.16	4.71
90%	5.02	5.22	6.53	6.11	4.63	3.47	2.61	1.87	1.33	1.05	1.59	3.40
100%	3.86	3.85	4.58	4.65	3.64	2.68	2.08	1.47	1.05	0.82	0.78	1.51

Karena peluang menggunakan aliran sungai sangat kecil, perhitungan perpindahan dengan probabilitas 0-5% tidak digunakan dalam studi ini. Dari hasil perhitungan debit rata-rata diketahui

http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno | ISSN 1693-8739 / 2686-4657

aliran minimum Sungai Cilaki terjadi pada bulan November, dan aliran maksimum terjadi pada bulan Februari. Persamaan Weibull digunakan untuk menghitung kurva durasi aliran (FDC) dengan parameter debit aliran sungai, jumlah hari terjadinya, dan probabilitas debitnya. Kurva durasi aliran Sungai Cilaki ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini:

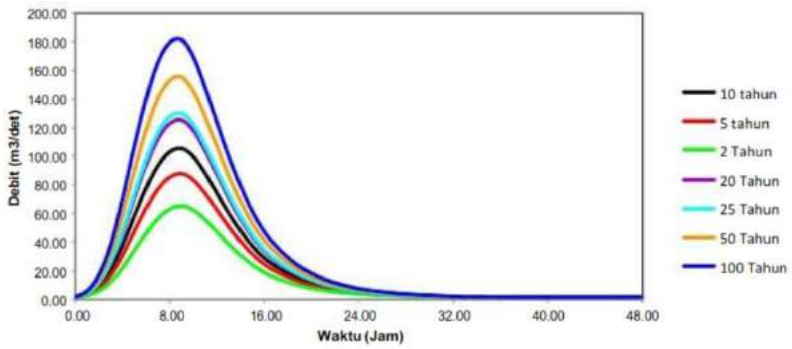


Gambar 2. *Flow Duration Curve* Sungai Cilaki

Dari Gambar 2 terlihat debit maksimum Sungai Cilaki sekitar 13,39 m^3/s, probabilitas terjadinya dalam satu tahun adalah 10%, dan debit minimum 0,78 m^3/s. Bisa dipastikan, meski pada musim kemarau, air sungai tidak akan mengering. Penentuan debit utama menurut kurva durasi aliran dipilih berdasarkan debit dengan tingkat keandalan tertentu sehingga generator dapat bekerja dengan sebaik-baiknya untuk satu tahun. Untuk keperluan PLTM, 70% debit andal digunakan atau dengan kata lain ada kemungkinan 70% debit yang terjadi lebih besar dari atau sama dengan debit yang ditentukan. Sebagai Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, debit yang dapat diandalkan sebesar 4,2 m^3/s diperoleh dengan probabilitas 70%. perhitungan tersebut juga termasuk perhitungan untuk kebutuhan ekologi dari sistem irigasi di dekat lokasi PLTM, sehingga tidak akan mempengaruhi kebutuhan air sawah.

Saat merancang bendung pada pembangkit listrik tenaga air dengan menggunakan pendekatan *runoff river* (RoR), diperlukan analisis pelepasan banjir. Melalui analisis ini, kita dapat menemukan kemungkinan bahwa debit aliran dapat melebihi batas maksimum kolam penampung yang mungkin terjadi dalam kurun waktu tertentu. Gambar 3 di bawah ini menunjukkan analisis lengkap debit banjir:

http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno | ISSN 1693-8739 / 2686-4657



Gambar 3. Grafik Unit Hidrograf Satuan

Seperti terlihat pada gambar di atas, debit banjir tahunan tertinggi sebesar 185 m^3/s adalah debit banjir reguler setiap 100 tahun. Berdasarkan probabilitas kejadian dan mempertimbangkan umur generator, arus tahunan yang akan dihitung adalah debit banjir tahunan setiap 20 tahun, dan nilainya 115 m^3/s.

2) Analisis Teknis

Peta lokasi PLTM Cilaki terletak di Desa Sukalaksana, Kabupaten Garut Kecamatan Talegong. Lokasi desa Sulaksana sangat mudah dijangkau. Secara umum, Wilayah Sungai Cilaki yang luasnya ± 117,36 km persegi terpelihara dengan baik. Bagian hulu sungai merupakan hutan lindung dan area persawahan. Lokasi PLTM yang direncanakan memiliki dasar kemiringan sungai Cilaki ± 4%. Berdasarkan hasil penelitian lapangan, parameter utama PLTM Cilaki dapat ditentukan sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter Utama PLTM Cilaki

No	Parameter	Keterangan
1	Lokasi	
	Bendung	781702.219 E; 9194956.806 N
	Headpond	781120.500 E; 9193935.268 N
	Powerhouse	781238.374 E; 9193636.268 N
2	Nama Sungai	Cilaki
3	*Catchment Area*	117,36 km^2
4	Debit Banjir ($Q_{50\ th}$)	115,10 m^3/s
5	Debit Desain ($Q_{70\%}$)	4 m^3/s
6	Tinggi Jatuh Kotor (H_{gross})	100,2 m

Penentuan kapasitas genset dilakukan dengan menghitung setiap genset yang akan dipasang dengan konfigurasi mesin yang berbeda. Dengan memasukkan parameter generator, rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung besarnya listrik yang dapat dihasilkan setiap unit pembangkit:

$$P = \rho . g . Q . h \qquad \text{Pers. (1)}$$

http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno | ISSN 1693-8739 / 2686-4657

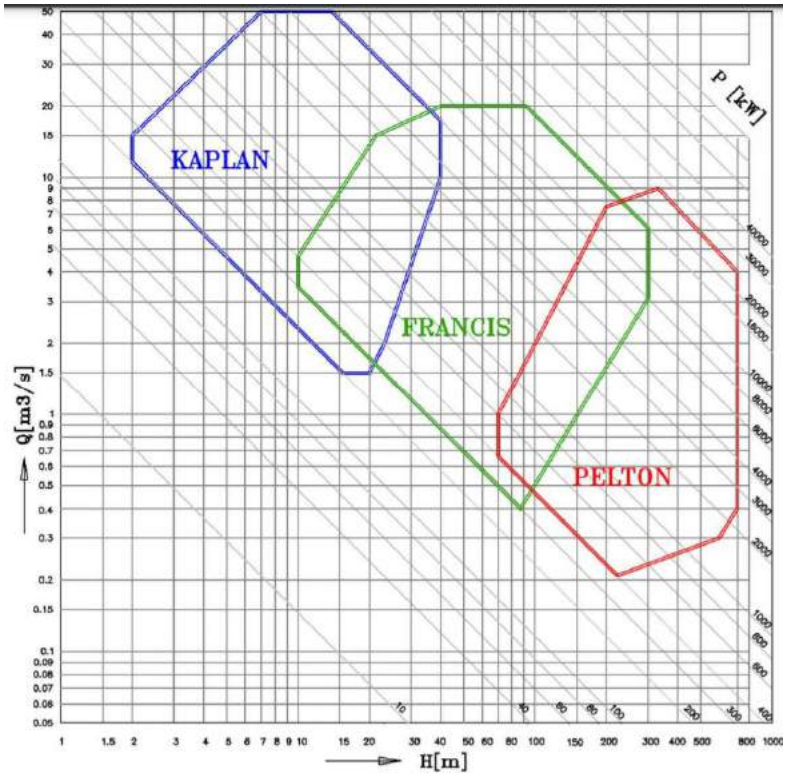
Dimana P adalah pembangkit listrik ρ adalah massa jenis air (kg / m^3), g adalah gravitasi (m/s^2), dan Hnett adalah tinggi bersih pipa bertekanan (Dietzel, 1990). Kapasitas produksi dapat dilakukan dengan memasukkan *displacement* sesuai dengan kurva durasi aliran PLTM Cilaki, memasukkan parameter ketinggian, dan efisiensi turbin ke dalam persamaan (1) maka desain kapasitas mesin PLTM Cilaki adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Konfigurasi Mesin PLTM Cilaki

No	Parameter	Unit 1	Unit 2
1	Ketinggian	100,5 m	100,5 m
2	Debit Air	4,2 m^3/s	1,8 m^3/s
3	Efisiensi Turbin	90%	90%
4	Daya Keluaran	3.600 kW	1.576 kW

3) Analisis Pemilihan Turbin

Kriteria pemilihan jenis turbin hidrolik dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis turbin hidrolik, terutama untuk desain yang sangat khusus. Biasanya pihak pabrikan turbin akan mempublikasikan jenis turbin *chart* yang sesuai berdasarkan parameter ketinggian dan aliran untuk memudahkan pembeli dalam menentukan jenis turbin yang sesuai. Di bawah ini adalah contoh diagram turbin yang disediakan oleh pabrikan turbin.



Gambar 4. Grafik Pemilihan Jenis Turbin

Dari gambar 4 dapat diketahui bahwa pemilihan turbin PLTM Cilaki memiliki satu turbin terletak di area turbin Francis, dan turbin kedua berada di dua area yaitu turbin Francis atau turbin Pelton. Dari dua area pemilihan turbin tersebut, penggunaan turbin Francis lebih direkomendasikan karena menyesuaikan debit aliran yang bervariasi. Hal ini juga sesuai dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, jika dibandingkan dengan dua turbin Pelton dan turbin aliran silang lainnya (> 1 MW) rentang operasi turbin Francis adalah 40% hingga 100% (ESHA, 2004). Parameter desain turbin yang digunakan di PLTM Cilaki adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Konfigurasi Turbin PLTM Cilaki

No	Parameter	Unit 1	Unit 2
1	Ketinggian	100,5 m	100,5 m
2	Debit Air	4,2 m^3/det	1,8 m^3/det
3	Tipe Turbin	Francis Horizontal	Francis Horizontal
4	Efisiensi Turbin	90%	90%
5	Daya Keluaran	3.600 kW	1.576 kW
6	Rotasi Turbin	750 rpm	1000 rpm

4) Generator

Beberapa parameter harus diperhatikan saat menentukan dan memilih jenis generator untuk pembangkit listrik tenaga air kecil (PLTM). Generator hidroelektrik umumnya memiliki nilai kecepatan putar yang lebih tinggi daripada generator yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga diesel, uap, dan turbin gas (E. Sukiyah et al., 2012). Generator harus sesuai untuk operasi terisolasi (dengan beban terpisah) atau untuk bekerja secara paralel dengan jaringan atau generator lain. Parameter pemilihan generator yang sesuai dengan karakteristik PLTM Cilaki adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Konfigurasi Generator PLTM Cilaki

No	Parameter	Unit 1	Unit 2
1	Kapasitas	≥ 3.600 kW	≥ 1.576 kW
2	Tegangan	6,3 kV	6,3 kV
3	Frekuensi	50 Hz	50 Hz
4	Faktor Daya	≥ 0,8	≥ 0,8
5	Tipe Fasa	Sinkron 3 fasa	Sinkron 3 fasa
6	Kecepatan	750 rpm	1000 rpm
7	Kelas Isolasi	Kelas F	Kelas F
8	Sistem Pendingin	Isolasi Sendiri dan Pendingin Udara	Isolasi Sendiri dan Pendingin Udara
9	Sistem Eksitasi	*Brushless*	*Brushless*

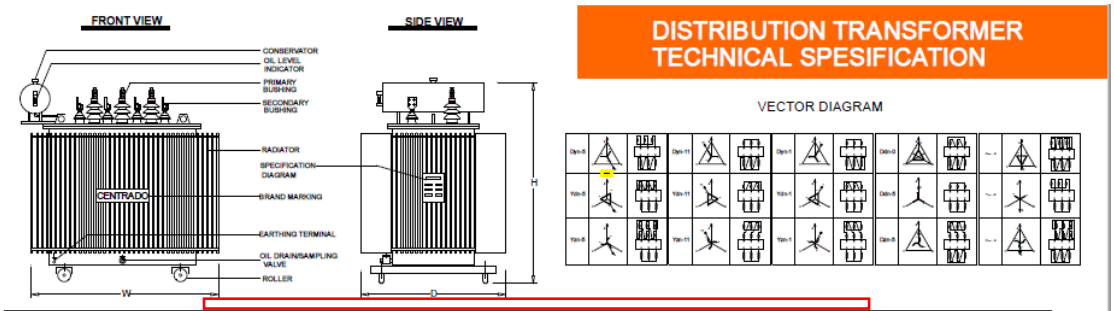
5) Transformator

Untuk menyalurkan tenaga yang dihasilkan dari genset dan interkoneksi dengan jaringan PLN, PLTM Cilaki harus dilengkapi dengan dua buah step up transformer 6,3 kV / 20 kV, tiga fasa, 50 Hz dengan kapasitas 1 (satu) unit, masing-masing berkapasitas 1 (satu) unit. Kapasitas 4.500 kVA, 1 (satu) unit kapasitas 2.000 kVA dan 1 (satu) trafo *step-down* 20 / 0.4kV tiga fasa 50

TEKNO Jurnal Teknologi Elektro dan Kejuruan

http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno | ISSN 1693-8739 / 2686-4657

Hz untuk pengunaan sendiri. Jenis trafo yang digunakan adalah *outdoor* dengan pendingin oli (ONAN), dan vektor diagramnya disesuaikan dengan sistem jaringan TM 20 kV PLN Area Garut. Gambar 5 adalah spesifikasi transformator untuk digunakan sendiri:



Kapasitas Capacity	Arus beban Nol Exciting Current	Hubungan Singkat Impedance ZSC	Rugi Besi Iron Losses	Rugi Tembaga Copper Losses	Jumlah Rugi Total Losses	Pengaturan Tegangan Pada Beban Volt Drop At full load		Effisiensi pada Faktor daya 1.0 Efficiency Load Cos q 1.0				Tingkat Suara Bising Acoustic Power	Dimensi / Dimension ±10%			Volume Oil	Berat Weight	Highest HV LV
													W Panjang Length	D Lebar Width	H Tinggi Height			
KVA	%	%	WATT	WATT	WATT	Q 1.0	Q 0.8	100%	75%	50%	25%	DB(A)	Mm	Mm	Mm	Liter	Kg	KV
25	3	4.0	100	756	856	2.80	4.26	96.69	97.15	97.49	98.31	48	750	520	1050	78	320	20/0.4
50	2.9	4.0	145	1320	1465	2.69	3.92	97.15	98.69	98.14	98.51	53	850	700	1150	140	450	20/0.4
100	2.5	4.0	210	2100	2310	2.16	3.73	97.74	98.18	98.55	98.78	53	950	720	1250	175	650	20/0.4
160	2.3	4.0	460	2350	2810	1.54	3.43	98.27	98.54	98.71	98.79	56	980	780	1350	220	850	20/0.4
200	2.2	4.0	550	2850	3400	1.48	3.39	98.32	98.75	98.09	98.33	58	1100	810	1450	280	980	20/0.4
250	2.1	4.0	600	3250	3850	1.37	3.33	98.48	98.73	98.88	99.01	58	1200	840	1500	320	1100	20/0.4
315	2.0	4.0	710	3900	4610	1.31	3.30	98.56	98.79	98.94	99.05	59	1360	900	1550	360	1250	20/0.4
400	1.9	4.0	840	4600	5440	1.22	3.25	98.66	98.87	99.01	99.10	60	1500	900	1550	390	1380	20/0.4
500	1.9	4.0	980	5500	6480	1.17	3.22	98.72	98.93	99.07	99.12	60	1600	950	1600	460	1650	20/0.4
630	1.8	4.0	1160	6500	7660	1.11	3.17	98.80	98.99	99.12	99.18	61	1650	980	1650	560	2050	20/0.4
800	2.2	4.5	1560	10200	11760	1.21	3.22	98.55	98.80	98.98	99.02	61	1650	1020	1680	600	2200	20/0.4
1000	1.8	5.0	1840	12100	13940	1.19	3.23	98.63	98.86	99.04	99.09	63	1780	1080	1750	720	2650	20/0.4
1250	1.8	5.5	2160	15000	17160	1.29	4.10	98.65	98.88	99.06	99.11	63	1850	1150	1900	840	3200	20/0.4
1600	1.6	6.0	2640	18100	20740	1.22	4.23	98.72	98.94	99.11	99.18	65	1850	1250	1980	920	3800	20/0.4
2000	1.5	6.5	3000	22000	25000	1.26	4.61	98.75	98.98	99.15	99.21	65	2100	1250	2080	1200	4800	20/0.4
2500	1.2	7.0	3250	28000	31250	1.22	4.59	98.76	98.99	99.18	99.23	68	2150	1350	2080	1450	5800	20/0.4
3150	1.2	7.5	3750	33000	36750	1.19	4.68	98.83	99.06	99.24	99.29	69	2600	1600	2230	1800	6500	20/0.4
4000	1.2	8.0	4570	41000	45570	1.21	5.10	98.86	99.07	99.25	99.33	72	2880	1650	2380	2200	7800	20/3.3
5000	1.2	8.0	5400	45000	50400	1.25	5.37	98.99	99.18	99.33	99.38	72	3300	2150	2550	2800	9500	20/3.3
6300	0.85	8.5	6500	47000	53500	1.06	5.55	99.15	99.30	99.42	99.49	77	3300	2250	2650	3200	11500	20/3.3
8000	0.8	9.0	9000	57000	66000	1.07	5.85	99.18	99.32	99.42	99.48	77	3600	2250	2850	3600	13500	20/3.3
10000	0.75	9.0	11000	65000	76000	1.05	6.13	99.24	99.36	99.45	99.47	76	3800	2450	3000	4200	15500	20/3.3

Gambar 5. Spesifikasi Trafo PLTM Cilaki

6) Analisis Ekonomi

Analisis keuangan adalah kegiatan analisis yang bertujuan untuk menentukan tingkat kelayakan proyek yang direncanakan dari perspektif keuangan. Rencana tinjauan keuangan operasional PLTM memiliki masa kontrak 20 tahun dengan PLN. Perkiraan biaya investasi Pembangkit Listrik Tenaga (PLTM) Cilaki Minihidro dengan total kapasitas investasi 5 (lima) MW meliputi biaya teknik dan investasi, biaya pembebasan lahan, biaya teknik listrik dan mesin, serta pajak pertambahan nilai.

Pekerjaan elektromekanis meliputi perancangan, pengadaan, pengangkutan, pemasangan dan pengujian semua peralatan elektromekanis di pembangkit listrik. Perkiraan biaya teknik mesin dan kelistrikan didasarkan pada harga dasar mesin aktual dan peralatan pelengkap lainnya di pasaran dan dari produsen di Indonesia atau di luar Indonesia. PLTM Cilaki memiliki daya masing-masing unit di atas 1 MW maka komponen utama seperti turbin, genset, gubernur dan alat kendali akan menggunakan harga referensi pabrikan China. Alasan ini juga disesuaikan karena mesin-mesin pabrikan China sudah beroperasi di Indonesia dan suku cadang pendukung

lainnya mudah ditemukan Indonesia. Rincian rencana biaya investasi PLTM dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini:

Tabel 6. Rincian skema biaya investasi PLTM Cilaki

No	Uraian	Biaya
1	Biaya Engineering dan Administrasi	3.165.000.000,00
2	Biaya Pembebasan Lahan	4.158.000.000,00
3	Biaya Total Pekerjaan Konstruksi	56.337.430.820,00
	a. Pekerjaan Sipil dan Metal	
	Biaya Konstruksi Bangunan Sipil dan Metal	30.133.041.200,00
	Biaya Operasional	1.506.652.000,00
	Biaya Ketidakpastian/ Kontingensi	1.581.984.600,00
	b. Pekerjaan Mekanikal Elektrikal	
	Biaya Total Pengadaan dan Pemasangan Mekanikal Elektrikal	16.321.241.200,00
	Biaya Operasional	816.062.000,00
	Biaya Ketidakpastian/ Kontingensi	856.865.200,00
	c. PPN (10%)	5.121.584.620,00
	Total Investasi	63.660.430.800,00

Hasil produksi energi listrik dalam rencana pembangunan PLTM tersebut rencananya akan dijual ke PLN melalui jaringan interkoneksi tegangan menengah. Sesuai Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 22 Tahun 2014 tentang Pembelian Listrik Tenaga Air dari Pembangkit Listrik Tenaga Air, harga listrik menjadi Rp 1.075 / kWh dalam waktu 1 sampai 8 tahun. Pada saat yang bersamaan, antara 9 hingga 20 tahun, listrik dijual dengan harga Rp750 / kWh. Dengan hasil produksi energi ini memberikan peluang bagi perusahaan swasta, koperasi dan lembaga swadaya masyarakat untuk berperan sebagai pemasok listrik, serta mendukung kebijakan pemerintah untuk menaikkan angka elektrifikasi hingga 99% pada tahun 2022.

7) Kelayakan Teknis

a. Aspek Hidrologi

Berdasarkan hasil penelitian hidrologi yang dilakukan di lokasi PLTM Cilaki, kondisi perairan Sungai Cilaki masih baik dan layak. Hal ini terlihat dari diagram kurva durasi (FDC) dan jenis tanaman di sekitar lokasi PLTM Cilaki adalah tanaman padi. Ekosistem di sekitar PLTM termasuk hutan lindung dan areal kebun teh di atas *intake* air PLTM Cilaki masih terjaga dengan baik.

b. Aspek Teknis

Kondisi air yang bagus ditunjang juga oleh kondisi topografi yang memiliki perbedaan ketinggian yang baik menjadikan debit yang dibutuhkan oleh PLTM Cilaki dalam menghasilkan kapasitas daya yang diinginkan tidak terlalu besar. Dari studi yang telah dilakukan untuk

http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno | ISSN 1693-8739 / 2686-4657

menghasilkan kapasitas 5 MW hanya dibutuhkan debit sebesar 4 m^3/s dan beda ketinggian sebesar 100 m, beda ketinggian sebesar 100 m diperoleh dengan panjang saluran sebesar 1.600 m.

c. Aspek Ekonomi

Analisis ekonomi didasarkan pada perkiraan biaya investasi yang dibutuhkan dan pendapatan penjualan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik minihidro berdasarkan perjanjian jual beli listrik yang ditandatangani dengan PLN.

Tabel 6. Rincian skema biaya investasi PLTM Cilaki

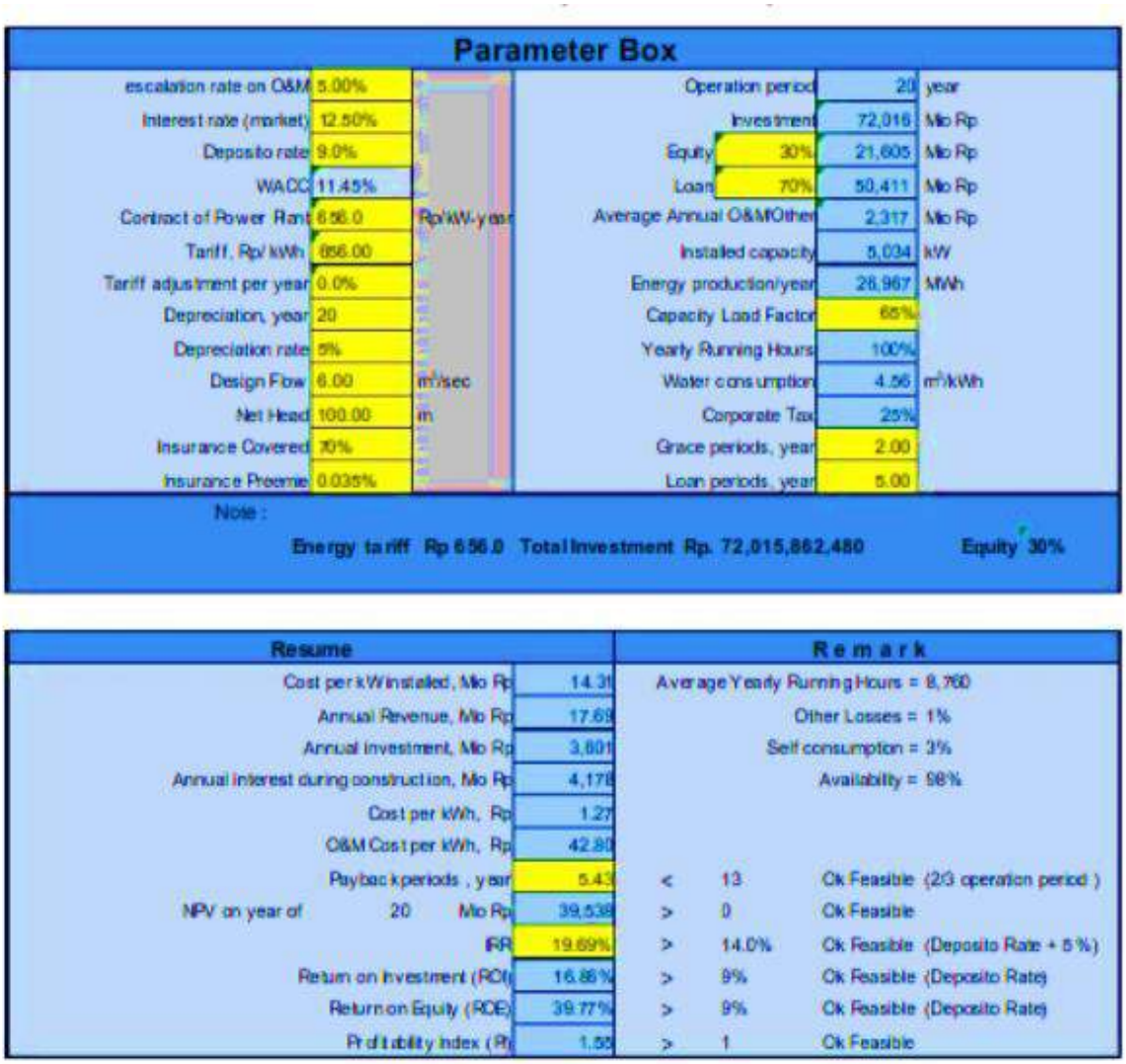
No	Uraian	Biaya
1	Biaya Investasi	63.660.430.800,00
2	Pendanaan	*Equity* (30%) *Loan* (70%)
3	Bunga Bank / Tahun	12,5%
4	*Interest During Construction*	8.355.431.558,00
5	Biaya Total Investasi	72.015.862.480,37
6	Periode Operasi Pembangkit	20 tahun
7	Tarif Penjualan Energi Listrik/kwh	Rp 656,00/kwh
8	Pendapatan per tahun	17.690.000.000,00
9	*Grace Period*	2 tahun
10	*Payback Period*	5 tahun
11	NPV	39,528
12	IRR	19,69%

Berdasarkan hasil ringkasan analisis keuangan di atas, terlihat bahwa parameter dalam analisis keuangan proyek PLTMH memenuhi persyaratan untuk diterapkan (*feasible*), dan semua nilai parameter melebihi jumlah minimum yang dibutuhkan bank untuk menyediakan dana untuk proyek tersebut.

d. Aspek Lingkungan

Masyarakat sekitar lokasi rencana pembangunan PLTM sangat antusias dan mendukung pembangunan tersebut, karena konsep pembangunan PLTM selain menciptakan lapangan kerja baru bagi warga sekitar, juga tidak akan mengganggu sumber mata pencaharian seperti irigasi persawahan. Pembangunan PLTM juga tidak memerlukan pembangunan bendungan besar yang akan mengancam kehidupan warga. Konsep PLTM adalah sungai limpasan dan air yang mengalir di sungai akan dialirkan kembali ke sisi bawah untuk dimanfaatkan kembali oleh masyarakat di area persawahan. Berdasarkan uraian tersebut dapat dikatakan bahwa pembangunan PLTM layak secara lingkungan dan sosial budaya, karena mengutamakan sinergi dengan masyarakat untuk menghasilkan energi bersih guna mencapai kepentingan bersama.

TEKNO Jurnal Teknologi Elektro dan Kejuruan
http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno | ISSN 1693-8739 / 2686-4657



Parameter Box

escalation rate on O&M	5.00%		Operation period	20	year
Interest rate (market)	12.50%		Investment	72,016	Mio Rp
Deposito rate	9.0%		Equity	30% 21,605	Mio Rp
WACC	11.45%		Loan	70% 50,411	Mio Rp
Contract of Power Rate	656.0	Rp/kW-year	Average Annual O&M/Other	2,317	Mio Rp
Tariff, Rp/ kWh	656.00		Installed capacity	5,034	kW
Tariff adjustment per year	0.0%		Energy production/year	28,967	MWh
Depreciation, year	20		Capacity Load Factor	65%	
Depreciation rate	5%		Yearly Running Hours	100%	
Design Flow	6.00	m³/sec	Water consumption	4.56	m³/kWh
Net Head	100.00	m	Corporate Tax	25%	
Insurance Covered	70%		Grace periods, year	2.00	
Insurance Premie	0.035%		Loan periods, year	5.00	

Note :

Energy tariff Rp 656.0 Total Investment Rp. 72,015,862,480 Equity 30%

Resume		Remark			
Cost per kW installed, Mio Rp	14.31	Average Yearly Running Hours = 8,760			
Annual Revenue, Mio Rp	17.69	Other Losses = 1%			
Annual investment, Mio Rp	3,601	Self consumption = 3%			
Annual interest during construction, Mio Rp	4,178	Availability = 98%			
Cost per kWh, Rp	1.27				
O&M Cost per kWh, Rp	42.80				
Payback periods , year	5.43	<	13	Ok Feasible (20 operation period)	
NPV on year of 20 Mio Rp	39,538	>	0	Ok Feasible	
IRR	19.69%	>	14.0%	Ok Feasible (Deposito Rate + 5 %)	
Return on Investment (ROI)	16.86%	>	9%	Ok Feasible (Deposito Rate)	
Return on Equity (ROE)	39.77%	>	9%	Ok Feasible (Deposito Rate)	
Profitability Index (PI)	1.55	>	1	Ok Feasible	

Gambar 6. Summary Financial Analysis PLTM Cilaki

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil investigasi dan evaluasi studi pendahuluan (sebelum studi kelayakan), secara teknis, ekonomis, finansial, lingkungan dan sosial, dapat dianggap Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) dapat dibangun dan dikembangkan. Hasil analisis hidrologi Sungai Cilaki menunjukkan bahwa sungai tersebut berpotensi memiliki debit tahunan yang stabil sebesar 4.2 m^3/s dengan probabilitas debit 70%. Ketinggian hidung PLTM ini adalah 100,5 m, sehingga efisiensi turbin masing-masing genset dengan turbin Francis horizontal adalah 90% yang masing-masing dapat menghasilkan 3.500 kW dan 1.576 kW. Hasil analisis finansial menunjukkan bahwa

http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno | ISSN 1693-8739 / 2686-4657

rencana pembangunan PLTM dengan biaya investasi Rp 63.660.430.800,00 layak karena nilai NPV 39.528 dan IRR 19,69% masih lebih tinggi 14% dari suku bunga pinjaman.

Pada tahap prastudi ini informasi yang diperoleh masih terbatas, dan sebagian besar informasi menggunakan perkiraan dan metode, namun berdasarkan kesimpulan kelayakan pengembangan PLTM tersebut perlu dilakukan kajian pendataan sekunder hidrologi. Bentuk stasiun air hujan terdekat, bentuk survei topografi, sistem pengukuran tertutup dan semua lokasi rencana PLTM skala lebih detail, serta investigasi kondisi tanah di rencana PLTM yang akan dibangun. pembangunan dilakukan pada saat penggalian, saat merancang dan membangun metode, hasil survei ini akan digunakan sebagai referensi.

Daftar Rujukan

Anonim. 2003. Peta Wilayah Kabupaten Garut. http://www.garutkab.go.id/pub/static_menu/detail/sekilas_peta_lainnya (diakses Juni 5, 2015).

CKD Blansko Engineering, 2010. CKD Blansko Small Hydro Company Presentation.

Darpono, R., Dewi, R.P. 2019. Simulasi Pemilihan Turbin Air Menggunakan Simulator Turbnpro Studi Kasus PLTMH Malabar," Jurnal POLEKTRO: Jurnal Power Elektronik, 8(2), hal. 8.

Dewi, R. P., Anggoro, B. dan Halimi, B. 2018. Francis turbine design on malabar mini hydropower plant. 4th IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy, ICPERE 2018 - Proceedings, (October 2018), hal. 1–4. doi: 10.1109/ICPERE.2018.8739449

Dietzel Fritz, Dakso Sriyono. 1980. Turbin Pompa dan Kompresor, Jakarta : Penerbit Erlangga

ESHA, 2004. "Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant," European Small Hydropower Association (ESHA), Brussel, Belgium.

E. Sukiyah, N. Sulaksana, Hendarmawan, and M.F. Rosana, 2012. "The Morphotectonic Role of DAS in Developing Micro Hydro Energy Potential in Cianjur-South Garut," Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik, vol. 14, no. 1, pp. 1-11.

Harvey, Adam, Andy Brown, Priyantha Hettiarachi dan Allen Inversin, 2002. Micro-Hydro Design Manual - A Guide to Small-Scale Water Power Schemes. London: ITDG Publishing.

Hendrayana, Yayat. 2015. "Energy Potential Study on Sabo DAM Cibatu for Micro Hydro Power Plant (MHPP) In Garut Regency," Jurnal of Engineering and Sustainable Technology (J-ENSITEC), vol. 02, no. 01, pp. 53-62

Mukmin, W. A., 2008. Studi Kelayakan PLTM Curug Malela. Pusat Studi Mikrohidro ITB. Bandung

Parabelem T.D. Rompas, 2015. Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Pada Daerah Aliran Sungai Ongkak Mongondow Di Desa Muntoi Kabupaten Bolaang Mongondow, Jurnal Penelitian Saintek, Vol. 16, Nomor 2,

Pemda Kabupaten Garut. 2013. Gambar Informasi Peta Risiko Bencana Longsor Tahun 2013 Kecamatan Talegong Kabupaten Garut Jawa Barat. http://bpbd.garutkab.go.id/download/LONGSOR%20TALEGONG1.jpg(diakses 11 03, 2021).

PSDA Provinsi Jawa Barat. 2020. Data Curah Hujan Stasiun Pangalengan. Bandung.

http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno | ISSN 1693-8739 / 2686-4657

Purwanto, 2011. “Analisis Finansial dan Ekonomi Pembangkit Listrik Mikrohidro di Berapa Lokasi Propinsi Jawa Tengah, Indonesia.” Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan 8, no. 4 (Desember). 251 - 264.

Setiawan, Dody. 2015. "Potential Sites Screening for Mini Hydro Power Plant Development in Kapuas Hulu, West Kalimantan: a GIS approach," in Confereence and Exhibition Indonesia - New, Renewable Energy and Energy Conservation (The 3rd Indo-EBTKE ConEx 2014), vol. 65, Jakarta, pp. 76-82.

Sholihah, R.S. 2019. Perencanaan Kebutuhan Renovasi Aset Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro Cilaki Milik PT Perkebunan Nusantara VIII. Tugas Akhir.

Subekti, R.A., 2015. “Studi Kelayakan Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro di Desa Sukamaju Kabupaten Garut Jawa Barat,” 105–116.

Susatyo, Anjar dan Ridwan Arief Subekti, 2009. “Implementasi Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Kapasitas 30 kW di Desa Cibunar Kabupaten Tasikmalaya Jawa Barat.” Seminar Nasional Daur Bahan Bakar 2009. Serpong: BATAN. C-22 - C-26.

Wibawa, D. S. dan Lutfi, A. 2020. Studi Perencanaan Turbin Air PLTMH di Sungai Cilaki. Vol 10 No 1

STUDI PEMANFAATAN CATU DAYA HIBRIDA PLTS 3,7 KWP DAN PLN PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DESA PEMECUTAN KAJA DENPASAR BALI

P A R Arimbawa 1, I N S Kumara 2, R S Hartati 3

***Abstract*— Pemecutan Kaja waste treatment plant (WTP) is a community treatment plant located in one of Denpasar city ward to process sewerage produced by community members. The WTP uses radial flow anaerobic system which mainly consists of rabic pro tank and up flow tank. The water produced by the WTP is released to nearby river as it already meet envinronmental quality standard. The WTP is driven by an electric pump to circulate sewer material within the process flow. The pump was fed by hybrid power supply combining 3.7 kW solar PV and power from utility grid. The WTP is operated by village council of Pemecutan Kaja. The study presented here is result of firstly, evaluation on the utilization and performance of solar PV plant, and secondly, to propose managerial model can be manage the plant effectively and sustainably. The study found that daily average energy produced by the PVplant is 23.59 kWh yielding cost of energy at IDR 7,766/kWh. Experiment to clean filters of the plant reduced daily energy consumption from 8.84 kWh to 3.05 kWh or 65%. Household that connected to the plant pay monthly subscription currently at IDR 10,000. However, for sustainable operation of the plant, the household need to pay IDR 51,654.**

***Keywords*— Renewable Energy, Solar PV, Hybrid Power Supply, Waste Treatment, Managerial Model**

***Intisari*— Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Desa Pemecutan Kaja adalah IPAL yang terletak di salah satu lingkungan kota Denpasar yang berfungi untuk mengolah air limbah yang dihasilkan oleh anggota masyarakat. IPAL ini meggunakan sistem *radial flow anaerobic* yang terdiri dari *rabic pro tank* dan *up flow filter tank*. Air hasil pengolahan limbah dapat langsung disalurkan ke sungai karena sudah memenuhi baku mutu limbah cair. IPAL ini menggunakan pompa listrik untuk mengalirkan limbah menuju tangki penyaringan. Pompa ini menggunakan catu daya hibrida PLTS 3,7 kW dan PLN. IPAL ini dikelola langsung oleh masyarakat desa Pemecutan Kaja. Hasil penelitian yang ingin dicapai adalah pertama, evaluasi pemanfaatan dan kinerja PLTS, kedua merencanakan model pengelolaan agar IPAL dapat berfungsi secara optimal dan berkelanjutan. Hasil penelitian ini menemukan bahwa rata-rata energi listrik yang dihasilkan PLTS yaitu 23,59 kWh/hari dengan harga energi sebesar Rp.7.766,25/kWh. Percobaan untuk membersihkan filter pada IPAL dapat mengurangi konsumsi energi harian dari 8,84 kWh menjadi 3,05 kWh atau 65%. Rumah tangga yang menjadi pengguna IPAL saat ini membayar iuran sebesar Rp 10.000. Namun, untuk operasi yang berkelanjutan dari IPAL, rumah tangga perlu membayar sebesar Rp 51.654.**

***Kata kunci*— Energi Terbarukan, PLTS, Pembangkit Listrik Hybrid, Pengolahan Limbah, Model Pengelolaan**

I. PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada daerah khatulistiwa sangat potensial untuk mengembangkan sumber energi matahari sebagai sumber energi alternatif. Energi matahari digunakan untuk menggantikan energi konvensional yang persediaannya mulai menipis [1]. Indonesia memiliki potensi energi listrik surya sebesar 4,5 kW/m2/hari [2].

Pemanfaatan tenaga matahari untuk pembangkitan listrik di Indonesia sudah dilakukan sejak awal dekade 80-an, tetapi aplikasinya masih terbatas pada sistem berdaya kecil atau yang lebih dikenal dengan *Solar Home System* (SHS) [3]. Sejalan dengan Kebijakan Energi Nasional (KEN) dalam pengelolaan energi nasional, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dikembangkan untuk meningkatkan peran energi terbarukan dalam pembangkitan energi listrik nasional. PLTS memiliki keunggulan yaitu ketersediaan sumber energi matahari yang tidak pernah habis, pengoperasian PLTS yang ramah lingkungan atau tidak mengeluarkan polusi, dan dapat di bangun secara swadaya sesuai dengan kemampuan dan kebutuhan.

Penelitian tentang 1 MWp *Grid Connected PV Systems In The Village Of Kayubihi Bali; Review On Location's Characteristics And Its Technical Specifications* menunjukan Bali sebagai daearah tropis yang dekat garis khatulistiwa yang memiliki kuantitas yang berlimpah akan energi matahari dengan indeks insolasi matahari diperkirakan antara 5 sampai 6 kWh per meter persegi setiap hari [4]. Sistem ini memiliki keunggulan ramah lingkungan dan waktu pembangunan yang relatif singkat. Sistem ini merupakan sistem yang terbesar di indonesia terhubung dengan jaringan distribusi 20 kV.

Penelitian tentang *On The Potential And Progress Of Renewable Electricity Generation In Bali* menunjukan. Bali tidak memiliki sumber daya konvensional karena bahan bakar berbasis fosil bersumber dari luar pulau Bali [5]. Untungnya, Bali memiliki berbagai sumber daya terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik. Energi terbarukan menyumbang sekitar 1% yaitu 7MW dari total kapasitas listrik di Bali dengan komposisi 2,1 MW tenaga surya, 736 kW tenaga angin, 45 kW mikro hidro, dan 4,174 MW tenaga limbah/sampah.

[1]*Mahasiswa, Program Studi Magister Teknik Elektro, Program Pasca Sarjana, Universitas UdayanaJl. Panglima Besar Sudirman Denpasar, Bali (Email: aris.ridhana@yahoo.com)*

[2,3] *Staf Pengajar Program Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Udayana Jl. Panglima Besar Sudirman Denpasar, Bali*

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372

Penelitian tentang Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWP Terinterkoneksi Jaringan di Kayubihi Bangli menunjukan Potensi optimum energi listrik per tahun yang dihasilkan PLTS Kayubihi dari hasil simulasi adalah 1656 MWh, dengan unjuk kerja/rasio performa 83,6 % [6]. Berdasarkan waktu operasi dari 15 Februari s.d. 30 September 2013 produksi real energi listrik PLTS Kayubihi adalah 729,08 MWh, selisih 32,3% dari simulasi *PV System* sebesar 1076,94 MWh. *Shading* dan gangguan yang ada menurunkan produksi energi dan unjuk kerja spesifik PLTS Kayubihi yaitu YF 3,20 jam/hari, dengan faktor kapasitas (CF) 13,34 % terhadap simulasi, yaitu YF 4,68 jam/hari dan CF 19,53%

Penelitian tentang *Configuration Hybrid Solar System (PV), Wind Turbine, And Diesel* menunjukan penggunaan energi terbarukan dalam pembangkitan energi listrik mulai dikembangkan dan terus ditambah kapasitasnya dengan cara diparalel dengan diesel atau pembangkit konvensional yang ada [7]. Kombinasi tenaga surya atau *photovoltaik (PV)* dan diesel generator *hybrid* adalah yang paling banyak dipasang.

Penelitian tentang Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Tambahan Pada Industri Perhotelan Di Nusa Lembongan Bali menunjukan sistem PLTS yang akan dikembangkan untuk mensuplai energi listrik hotel yang direncanakan sebesar 30 persen, adalah sistem PLTS yang *hybrid* dengan suplai listrik PLN [8]. Alternatif strategi dari analisis SWOT menunjukkan bahwa penetapan regulasi dari pemerintah sangat berperan dalam pemanfaatan PLTS sebagai catu daya tambahan, layak untuk dikembangkan pada industri perhotelan di Nusa Lembongan khususnya pada hotel Bali Hai *Tide Huts*.

Berdasarkan beberapa hasil penelitian di Bali berpotensi untuk dikembangkan pembangkit listrik energi terbarukan yaitu PLTS. Penggunaan energi terbarukan dalam pembangkitan energi listrik mulai dikembangkan dan terus ditambah kapasitasnya dengan cara diparalel dengan diesel atau pembangkit konvensional yang ada. Sistem hibrida yang paling banyak dikembangkan adalah sistem hibrida PLTS dengan PLN. Berdasarkan alternatif strategi dari analisis SWOT pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya sebagai catu daya tambahan pada industri perhotelan di Nusa Lembongan Bali menunjukkan bahwa penetapan regulasi dari pemerintah sangat berperan dalam pemanfaatan PLTS sebagai catu daya tambahan, layak untuk dikembangkan.

Desa Pemecutan Kaja merupakan desa yang menjadi percontohan di wilayah Kota Denpasar dalam pengolahan air limbah. Di desa ini telah dibangun Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) rumah tangga dengan pendanaan dari APBD Kota Denpasar. IPAL ini digunakan untuk mengolah limbah rumah tangga dari dua banjar yaitu Banjar Merthayasa dan Banjar Tulang Ampiang. IPAL ini meggunakan sistem *radial flow anaerobic*. Sistem ini terdiri dari dua buah tangki penyaringan yaitu tangki *rabic pro* dan tangki *up flow filter*. Air hasil pengolahan limbah dapat langsung disalurkan ke sungai karena sudah memenuhi baku mutu limbah cair.

IPAL ini menggunakan sistem catu daya hibrida PLTS dengan PLN. Kapasitas catu daya terpasang PLN 7.700 VA dan PLTS 3.740 Wp. Sistem ini menggunakan PLTS sebagai catu daya utama dan PLN sebagai catu daya cadangan. Sistem ini dilengkapi dengan *Automatic Transfer Switch* untuk memindahkan penggunaan catu daya utama dengan catu daya cadangan. Pada tahun 2014 pengelolaan IPAL ini dikelola langsung oleh Desa Pemecutan Kaja. Sejak awal pengoperasian PLTS ini, belum pernah dilakukan penelitian tentang kinerjanya. Untuk pemeliharaan sistem, belum pernah dilakukan perawatan dan kelompok kerja desa hanya melakukan pengisian pulsa agar daya dari PLN dapat tetap tersuplai. Kurangnya pengetahuan tentang pengoperasian PLTS dan belum dilakukannya pengkajian tentang konsumsi energi di IPAL menjadi kendala dalam pengelolaan IPAL secara optimal dan berkelanjutan. Dalam penelitian ini dilakukan studi pemanfaatan catu daya hibrida PLTS dan PLN di IPAL Desa Pemecutan Kaja yang mencakup produksi energi listrik dari PLTS dan PLN, biaya produksi energi listrik PLTS dan model pengelolaannya sehingga IPAL dapat beroperasi secara optimal dan berkelanjutan.

II. PLTS 3,7 KWP DI IPAL DESA PEMECUTAN KAJA

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel photovoltaik. Sel-sel ini terdiri dari lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni dan bahan semi konduktor lainnnya [9].

Sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) mempunyai beberapa komponen diantaranya adalah *solar module (module photovoltaics)*, baterai, *change controller (Regulator)*, inverter, kabel instalasi [10]. Komponen-komponen PLTS yang terpasang di IPAL ini adalah

1. *Solar module (module photovoltaics)*
   Modul Photovoltaic yang terpasang di IPAL ini adalah Solar World sebanyak 44 modul yang dihubungkan secara seri dan paralel. Kapasiats *modul photovoltaic* pada kondisi standar adalah 85 wp (*watt-peak*) dengan *rated curent* (Impp) 4,95 ampere dan *rated voltage* (Vmpp) 17,2 Volt.
2. Baterai
   Kapasitas baterai yang digunakan adalah 1.260 Ah dengan tegangan 2 volt DC. Jumlah baterai yang digunakan adalah sebanyak 24 buah. Tegangan sistem yang digunakan 24 volt, sehingga baterai dirangkai seri masing-masing sebanyak 12 buah kemudian barulah dirangkai secara paralel. Kapasitas maksimum baterai menjadi 30.240 Ah.
3. *Change Controller (Regulator*)
   Battery Charger Controller yang digunakan di IPAL ini adalah Staca Tarom 440.
4. Inverter
   Inverter yang digunakan adalah Steca Xtender XTM 3500-24. Pada bulan agustus 2014 iverter yang terdapat di IPAL ini mengalami gangguang yang diakibatkan oleh terbakarnya pompa. Terbakarnya pompa mengakibatkan inverter tidak dapat digunakan kembali. Selama waktu penelitian ini inverter yang digunakan untuk pengambilan data adalah inverter lokal.
5. Kabel Instalasi
   Kabel yang digunakan untuk instalasi PV adalah kabel khusus yang dapat mengurangi loss (kehilangan) daya, pemanasan pada kabel, dan kerusakan pada perangkat.

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Desa Pemecutan Kaja, Kota Denpasar, Bali. Waktu penelitan dari Juni 2014 sampai dengan Mei 2015. Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah me-*review* sistem IPAL Desa Pemecutan Kaja yang terdiri dari sistem kerja IPAL dan kendala dalam pengelolaan IPAL. Me-*review* sistem catu daya di IPAL Desa Pemecutan Kaja yang terdiri dari konfigurasi sistem PLTS dan komponen PLTS. Pengambilan data-data PLTS dengan pengukuran konsumsi energi listrik harian di IPAL, pengukuran daya dan energi listrik yang dihasilkan PLTS dan pengukuran konsumsi energi listrik PLN di IPAL Desa Pemecutan Kaja. Analisa kinerja sistem PLTS di IPAL Desa Pemecutan Kaja yang terdiri dari analisis produksi energi PLTS, faktor-faktor yang mempengaruhi produksi energi listrik.dan menganalisis persentase energi yang dihasilkan PLTS dan PLN dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di IPAL Desa Pemecutan Kaja. Menyusun model pengelolaan IPAL Desa Pemecutan Kaja agar dapat beroperasi secara optimal dan berkelanjutan yang terdiri dari SDM (Sumber Daya Manusia), manajemen pengelolaan dan iuran perbulan masyarakat yang diperoleh dari biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*) sistem yang dibagi dengan jumlah pengguna rumah tangga.

Pengelolaan PLTS melalui partisipasi masyarakat merupakan salah satu upaya untuk memberdayakan potensi masyarakat dalam merencanakan pembangunan yang berkaitan dengan potensi sumber daya lokal berdasarkan kajian musyawarah yaitu peningkatan aspirasi berupa keinginan dan kebutuhan nyata yang ada dalam masyarakat, peningkatan motivasi dan peran-serta kelompok masyarakat dalam proses pembangunan, dan peningkatan rasa-memiliki pada kelompok masyarakat terhadap program kegiatan yang telah disusun.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pembentukan lembaga pengelola pembangkit energi terbarukan adalah *Participatory Action Research* (PAR) [11]. Metode ini lebih menekankan pada partisipasi komunitas dalam menyelesaikan suatu masalah dengan berdasarkan pada kondisi sosial setempat. Dalam metode PAR ada empat langkah yang harus diterapkan dalam menyelesaikan suatu masalah, yaitu identifikasi masalah (*problem identification*), pengumpulan informasi (*information collection*), aksi (*action*) dan evaluasi (*evaluation*).

Iuran perbulan masyarakat dihitung dari biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*) sistem yang dibagi dengan jumlah pengguna rumah tangga. Biaya siklus hidup merupakan semua biaya yang dikeluarkan oleh suatu sistem, selama kehidupannya. Pada sistem PLTS, biaya siklus hidup (LCC) ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total sistem PLTS yang terdiri dari biaya investasi awal, biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional serta biaya penggantian baterai [12][8]. Biaya siklus hidup (LCC) diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$LCC = C + MPW + RPW \quad (1)$$

Nilai sekarang biaya tahunan yang akan dikeluarkan beberapa waktu mendatang (selama umur proyek) dengan jumlah pengeluaran yang tetap, dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P = A\left[\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}\right] \quad (2)$$

Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal [13][14][8]. Perumusan biaya energi adalah sebagai berikut 12][8]:

$$COE = \frac{LCCx\ CRF}{AKWH} \quad (3)$$

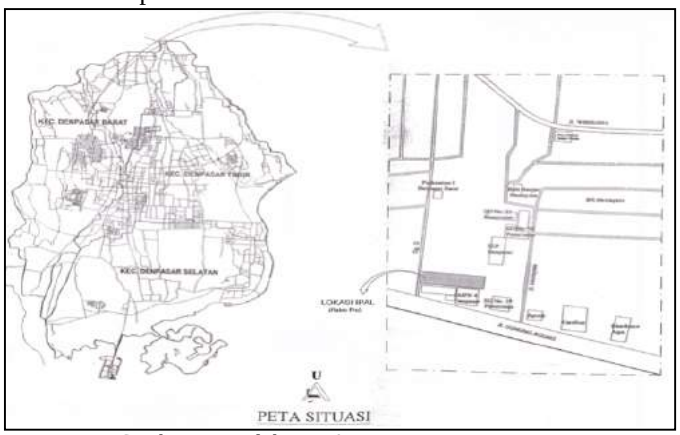
Faktor pemulihan modal, berdasarkan pada *discount rate (i)*. Dihitung dengan rumus berikut dengan n adalah periode (umur) proyek.

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1} \quad (4)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum IPAL Desa Pemecutan Kaja

IPAL Desa Pemecutan Kaja merupakan percontohan di wilayah Kota Denpasar dalam pengolahan air limbah. Pembangunan IPAL ini bertujuan untuk meningkatkan kesehatan lingkungan masyarakat sebagai antisipasi terhadap penurunan kualitas lingkungan dan meningkatkan kesadaran masayarakat dalam memelihara lingkungan. IPAL Desa Pemecutan Kaja digunakan untuk mengolah limbah rumah tangga dari dua banjar yaitu Banjar Merthayasa dan Banjar Tulang Ampiang. Sampai saat ini jumlah pengguna IPAL sudah mencapai 70 KK.



Gambar 1: Peta lokasi IPAL Desa Pemecutan Kaja

B. Sistem Catu Daya IPAL Desa Pemecutan Kaja

Sistem kelistrikan di IPAL ini yaitu hibrida antara PLTS dengan PLN. Daya dan energi listrik produksi PLTS di IPAL Desa Pemecutan Kaja didapatkan dari hasil perhitungan dan pengukuran. Besarnya daya listrik produksi PLTS merupakan hasil perhitungan antara tegangan (Vdc) dan arus (Idc) keluaran dari *modul photovoltaic*, sedangkan besar energi listrik produksi PLTS merupakan hasil perhitungan luasan di bawah grafik daya listrik produksi PLTS dan pengukuran besarnya energi listrik dari PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di IPAL. Pada saat pengukuran tegangan (Vdc), arus (Idc) dan energi listrik PLTS ditambahkan keadaan lingkungan pada saat pengukuran. Keadaan lingkungan ini

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372

adalah keadaan cuaca, temperatur lingkungan dan kelembaban udara.

Tabel 1: Unjuk kerja PLTS Dan PLN Di IPAL Desa Pemecutan Kaja.

No	Variabel	Rata-rata pengukuran pada hari minggu			
		I	II	III	IV
1.	Tegangan per jam (V)	12,36	12,58	12,53	14,84
2.	Arus per jam (A)	39,44	48,26	54,73	32,18
3.	Energi listrik PLTS yang digunakan per hari (kWh)	9,43	8,24	3,04	3,06
4.	Energi listrik PLN yang digunakan per hari (kWh)	0	0	0	0
5.	Kebutuhan energi listrik IPAL per hari (kWh)	9,43	8,24	3,04	3,06
6.	Temperatur lingkungan per jam (°C)	27,57	27,69	27,69	26,94
7.	Kelembaban Udara per jam (%Rh)	75,64	75,43	75,43	78,50

Besarnya penggunaan energi listrik di IPAL Desa Pemecutan Kaja dipengaruhi oleh volume limbah MCK dari warga. Energi listrik produksi PLTS merupakan perhitungan luasan di bawah grafik dari Gambar 2.



Gambar 2: Hasil pengukuran daya listrik di IPAL Desa Pemecutan Kaja

Bersadarkan hasil perhitungan luasan dibawah grafik pengukuran daya didapatkan produksi energi listrik per hari adalah sebagai berikut:

Tabel 2: Energi Listrik Produksi PLTS

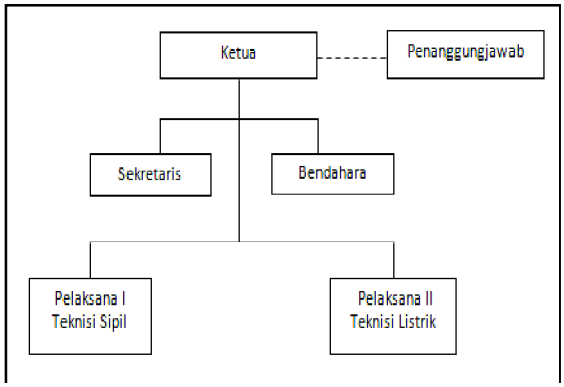
No.	Hari Minggu	Energi Listrik (Wh)
1.	I	29.849,42
2.	II	21.788,03
3.	III	25.623,22
4.	IV	17.106,32
Rata-rata energi		23.591,75

Perbedaan energi listrik yang dihasilkan PLTS disebabkan karena keadaan lingkungan yang berbeda pada saat melakukan pengukuran yaitu keadaan cuaca, temperatur lingkungan dan kelembaban lingkungan. Berdasarkan hasil pengukuran pada tabel 3 rata-rata temperatur lingkungan saat melakukan pengukuran adalah 27,57^{o}C dengan kelambaban udara 75,64 %Rh. Dengan keadaan cuaca pada waktu melakukan pengukuran, rata-rata energi yang dihasilkan yaitu 23.591,75 Wh atau 23,59 kWh.

C. Pengelolaan IPAL Desa Pemecutan Kaja

Pada awal tahun 2014 IPAL ini dikelola langsung oleh masyarakat Desa Pemecutan Kaja. IPAL ini dikelola oleh seorang ketua yang berasal dari warga banjar Tulang Ampiang dengan dibantu oleh dua orang warga sebagai petugas pemungut iuran dengan masing-masing bertugas di banjar Mertayasa dan di banjar Tulang Ampiang. Untuk biaya pemeliharaan, masyarakat dikenakan iuran perbulan sebesar Rp. 10.000,00. Perawatan sistem catu daya PLTS tidak pernah dilakukan. Sedangkan untuk bagian sipil dilakukan pembersihan apabila ada saluran yang tersumbat oleh sampah yang masuk saluran IPAL. Pada IPAL ini metode yang dapat digunakan untuk pembentukan lembaga pengelola pembangkit energi terbarukan adalah *Participatory Action Research* (PAR).

Pengelolaan IPAL Desa Pemecutan Kaja agar dapat berkembang diperlukan sumber daya manusia (SDM), perencanaan pengelolaan dan dana. Berdasarkan analisis model pengelolaan, IPAL ini baik untuk menerapkan organisasi garis dan staf. Gambar 4. adalah gambar struktur organisasi yang dapat digunakan IPAL Desa Pemecutan Kaja.



Gambar 4: Struktur Organisasi IPAL Desa Pemecutan Kaja.

Penerapkan struktur organisasi garis dan staf di IPAL ini diharapan setiap pengurus dapat melakukan tugasnya berdasarkan keahlian yang dimilikinya. Setiap pengurus IPAL mempunyai tugas dan keahlian yang berbeda.

Pengelolaan IPAL dengan melakukan perawatan pada sistem kelistrikan dan bagian sipil IPAL yaitu dengan melakukan pembersihan pompa pada bak penampungan akhir dapat ditunjukan berdasarkan hasil pengukuran kebutuahn energi listrik IPAL.

Hasil pengukuran kebutuhan energi listrik IPAL per hari menunjukan hasil yang sangat berbeda pada pengukuran hari minggu I dan II dengan pengukuran hari minggu III dan IV. Pengukuran pada hari minggu I dan II dilakukan sebelum melakukan *maintenance* sistem kelistrikan dan bagian sipil IPAL, sedangkan pengukuran pada hari minggu III dan IV dilakukan setelah melakukan *maintenance.* Pada minggu ke XIV kembali dilakukan pengukuran kebutuhan energi listrik IPAL Desa Pemecutan Kaja.

Berdasarkan hasil pengukuran kebutuhan energi listrik di IPAL ini menunjukan perlukan dilakukan pegelolaan IPAL. Dengan dilakukan pengelolaan dengan melakukan pembersihan dapat mengurahi kebutuhan energi listrik yang akan mengurangi biaya operasional IPAL.

Untuk menjalankan pengelolaan IPAL Desa Pemecutan Kaja agar dapat berkembang diperlukan sumber daya manusia (SDM), perencanaan pengelolaan dan dana. Dana pada pengelolaan IPAL ini yang akan didapat dari iuran masyarakat sebagai pengguna IPAL.

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372

Tabel 3: Kebutuhan Energi Listrik Per Hari (kWh) IPAL Desa Pemecutan Kaja.

No	Manintenance	Waktu pengukuran	Energi listrik IPAL per hari (kWh)	Rata-rata energi listrik IPAL per hari (kWh)
1.	Sebelum maintenance	I.	9,43	8,835
		II.	8,24	
2.	Setelah maintenance	III.	3,04	3,05
		IV.	3,06	
		XIV	5,10	5,10
Rata-rata kebutuhan energi				5,66

D. Biaya Siklus Hidup IPAL dan Iuran Masyarakat

Pendanaan dalam pengoperasian IPAL ini seluruhnya bersumber dari iuran masyarakat Desa Pemecutan Kaja. Iuran masyarakat perbulan didapat berdasarkan perhitungan biaya siklus hidup IPAL desa pemecutan kaja selama 25 tahun. Biaya siklus hidup IPAL ini dihitung menggunakan persamaan berikut:

LCC $_{IPAL}$ = LCC catu daya + LCC sipil + Operasional IPAL

Biaya operasional IPAL merupakan gaji pengurus IPAL Desa Pemecutan Kaja. Mengacu pada Peraturan Gubernur Nomer 69 Tahun 2014 tentang upah minimum kabupaten/kota, upah minium Kota Denpasar adalah sebesar Rp. 1.800.000,00 dengan jam kerja 8 jam perhari [15]. Dengan mempertimbangkan pekerjaan yang harus dikerjakan di IPAL ini dengan rentang waktu kerja 1 – 2 jam kerja setiap harinya maka gaji yang diberikan pada pengurus IPAL perbulan sebesar 20% dari UMK yaitu sebesar Rp. 360.000,00. Jadi biaya operasional IPAL selama setahun adalah sebagai berikut:

Operasional IPAL = Jumlah pengurus x Gaji x 12 bulan
= 5 x 360.000 x 12
= Rp. 21.600.000,00/tahun

Biaya operasional IPAL ini mengacu pada umur operasi PLTS adalah selama 25 tahun. Penentuan tingkat diskonto untuk menghitung nilai sekarang pada penelitian ini mengacu pada tingkat suku bunga kredit bank per Juni 2014 yaitu sebesar 11% [16]. Besar nilai sekarang (*present value*) untuk biaya operasional IPAL selama umur proyek 25 tahun dengan tingkat dikonto 11% dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P = A\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right]$$
$$= 21.600.000\left[\frac{(1+0{,}11)^{25} - 1}{0{,}11\,(1+0{,}11)^{25}}\right]$$
$$= 21.600.000\left[\frac{12{,}5855}{1{,}4944}\right]$$
$$= \text{Rp. } 181.908.720{,}00$$

Bersadarkan perhitungan biaya siklus hidup catu daya, sipil dan biaya Operasional IPAL sehingga biaya siklus hidup IPAL adalah sebagai berikut:

LCC $_{IPAL}$ = LCC catu daya + LCC sipil + Operasional IPAL
= 569.363.516,58 + 763.094.693,16 + 181.908.720,00
= Rp. 1.514.366.929,74

Apabila IPAL Desa Pemecutan Kaja hanya menggunakan catu daya PLN sehingga bersadarkan perhitungan biaya siklus hidup catu daya, sipil dan biaya Operasional IPAL. Biaya siklus hidup IPAL hanya menggunakan catu daya PLN dengan jumlah pengguna IPAL sebanyak 70 KK adalah Rp. 978.302.903,76. Biaya siklus hidup IPAL hanya menggunakan catu daya PLN dengan jumlah pengguna IPAL sebanyak 200 KK adalah Rp. 1.029.055.416,40. Biaya siklus hidup IPAL hanya menggunakan catu daya PLN dengan jumlah pengguna IPAL sebanyak 290 KK adalah Rp. 1.064.369.106,36.

Perhitungan iuran perbulan masyarakat sama dengan biaya energi (*cost of energy*) IPAL yang ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC) IPAL, faktor pemulih modal (CRF) dan jumlah pengguna IPAL (AKK). Iuran perbulan masyarakat di IPAL Desa Pemecutan Kaja dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$COE_{IPAL} = \frac{LCC\ x\ CRF}{(AKK\ x\ 12)}$$

Faktor pemulih modal untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup menjadi biaya tahunan, dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$
$$= \frac{0{,}11(1+0{,}11)^{25}}{(1+0{,}11)^{25} - 1}$$
$$= \frac{1{,}4944}{12{,}5855}$$
$$= 0{,}1187$$

Setelah menghitung LCC,CRF dan jumlah pengguana IPAL adalah sebanyak 70 KK maka iuaran pengguna IPAL perbulan (COE_{IPAL}) adalah:

$$COE_{IPAL} = \frac{LCC\ x\ CRF}{AKK\ x\ 12}$$
$$= \frac{1.514.366.929{,}74\ x\ 0{,}1187}{70\ x\ 12}$$
$$= \frac{179.755.354{,}56}{840}$$
$$= \text{Rp. } 213.994{,}47$$
$$= \text{Rp. } 213.995{,}00 \text{ /bulan}$$

Apabila IPAL Desa Pemecutan Kaja hanya menggunakan catu daya PLN maka iuaran pengguna IPAL perbulan (COE_{IPAL}) adalah:

$$COE_{IPAL} = \frac{LCC\ x\ CRF}{AKK\ x\ 12}$$
$$= \frac{978.302.903{,}76\ x\ 0{,}1187}{70\ x\ 12}$$
$$= \frac{116.124.554{,}67}{840}$$
$$= \text{Rp. } 138.243{,}51$$
$$= \text{Rp. } 138.244{,}00 \text{ /bulan}$$

Iuran perbulan masyarakat sebasar Rp.213.995,00 pada tahun ke 25 investasi masyarakat telah kembali dengan nilai total payback period sebesar Rp.5.456.508,65.

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372

Berdasarkan perhitungan biaya siklus hidup yang sama dengan iuran perbulan Rp.10.000,00 belum dapat menutupi biaya operasional IPAL tiap tahunnya. Pada tahun pertama nilai arus kas bersih IPAL sebesar Rp. -25.434.550,00.

Mengacu pada Peraturan Daerah Provinsi Bali No. 2 Tahun 2011 tentang retibusi jasa umum, pengolahan limbah cair kota denpasar yaitu *Denpasar Sawerage Development Project (DSDP).* Untuk klasifikasi pelanggan rumah tangga dibedakan menjadi 3 tipe. Tipe A merupakan perumahan yang dimukanya terdapat jalan yang kelebarannya dibawah 7 meter dikenakan tarif sebesar Rp.15.000 per bulan, tipe B dengan jalan yang kelebarannya di antara 7 – 10 meter dikenakan tarif sebesar Rp.20.000 per bulandan tipe C dengan jalan yang kelebarannya diatas 10 meter dikenakan tarif sebesar Rp.25.000 per bulan. Berdasarkan klasifikasi pelanggan pada IPAL Desa Pemecutan Kaja termasuk pelanggan rumah tangga tipe A dengan tarif Rp.15.000 per bulan. Dengan perhitungan biaya siklus hidup yang sama dengan iuran perbulan Rp. 15.000,00 tidak dapat menutupi biaya operasional IPAL tiap tahunnya. Pada tahun pertama nilai arus kas bersih IPAL sebesar Rp. -21.234.550,00.

Pada perencanaan pembangunan IPAL Desa Pemecutan Kaja jumlah pengguna IPAL akan terus bertambah dengan dilakukannya pemasangan baru secara bertahap. Pengguna IPAL ini direncanakan akan terpasang sebanyak 200 KK. Berdasarkan perhitungan biaya siklus hidup IPAL Desa Pemecutan Kaja selama 25 tahun dengan jumlah pengguna IPAL sudah terpasang semua sebanyak 200 KK maka iuran perbulan masyarakat adalah sebesar Rp.74.899,00 dan apabila IPAL Desa Pemecutan Kaja hanya menggunakan catu daya PLN adalah sebesar Rp. 50.896,00. Dengan iuran perbulan masyarakat sebasar Rp.74.899,00, pada tahun ke 25 investasi masyarakat telah kembali dengan nilai total payback period sebesar Rp. 5.471.667,79.

Berdasarkan hasil perbandingan produksi energi listrik PLTS terhadap kebutuhan energi listrik IPAL, dengan produksi energi PLTS sebesar 23,591 kWh/hari dapat memenuhi kebutuhan energi listrik IPAL dengan jumlah pengguna IPAL sebanyak 290 KK. Berdasarkan perhitungan biaya siklus hidup IPAL Desa Pemecutan Kaja selama 25 tahun dengan jumlah pengguna IPAL sudah terpasang semua sebanyak 290 KK iuran perbulan masyarakat adalah sebesar Rp.51.654,00 dan apabila IPAL Desa Pemecutan Kaja hanya menggunakan catu daya PLN adalah sebesar Rp.36.305,00. PLTS dengan iuran perbulan masyarakat sebasar Rp.51.654,00 pada tahun ke 25 investasi masyarakat telah kembali dengan nilai total *payback period* sebesar Rp.5.457.519,26. Biaya energi listrik menggunanakan sumber energi terbarukan memerlukan biaya yang lebih mahal dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional atau menggunakan bahan bakar fosil.

V. SIMPULAN

Berdasarkan studi pemanfaatan catu daya hibrida PLTS 3,7 kWp dan PLN dengan mempertimbangkan hasil pengukuran, perhitungan, dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan di IPAL Desa Pemecutan Kaja, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil studi pemanfaatan catu daya hibrida PLTS dan PLN di IPAL Desa Pemecutan Kaja dapat memenuhi kebutuhan energi listrik IPAL dengan rata-rata energi listrik yang dihasilkan PLTS per hari yaitu 23.591,75 Wh atau 23,59 kWh dengan harga energi sebesar Rp.7.766,25/kWh.
2. Dengan melakukan maintenance pada IPAL Desa Pemecutan Kaja dapat mengurangi kebutuhan energi listrik IPAL yaitu dari 8.835 Wh per hari menjadi 3.050 Wh per hari.
3. Iuran perbulan masyarakat bervariasi tergantung dari jumlah pengguna IPAL dimana dengan jumlah pengguna IPAL sebanyak 70 KK besaranya iuran perbulan adalah sebesar Rp. Rp.213.995,00, dengan pengembangan sesuai perencanaan IPAL jumlah pengguna menjadi sebanyak 200 KK besaranya iuran adalah Rp.74.899,00 serta dengan pengembangan IPAL sesuai produksi energi listrik PLTS dengan jumlah pengguna IPAL menjadi sebanyak 290 KK besaranya iuran adalah Rp.51.654,00.

REFRENSI

[1] Kananda, “Konsep Pengaturan Aliran Daya Untuk PLTS Tersambung KeSistem Grid Pada Rumah Tinggal,” *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 2, no.2, pp. 65-71, Sept. 2013.

[2] Rifan, “Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,” *Jurnal EECCIS*, vol. 6, no.1, pp. 44-48, Jun. 2012.

[3] I. N. S. Kumara, “Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Urban Dan Ketersediaannya Di Indonesia,” *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 9, no.1, pp. 60-75, Januari – Juni 2010.

[4] I. N. S. Kumara, W. G. Ariastina, I. W. Sukerayasa, I. A. D. Giriantari, “1 Mwp Grid Connected PV Systems In The Village Of Kayubihi Bali; Review On Location's Characteristics And Its Technical Specifications,” *Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE) International Conference on*, pp. 306-311. doi: 10.1109/ICITEED.2013. 6676258. 2013.

[5] I. N. S. Kumara, W. G. Ariastina, I. W. Sukerayasa, I. A. D. Giriantari, “On The Potential And Progress Of Renewable Electricity Generation In Bali,” *International Conference in Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, vol., no., pp.1-6, Oct. 2014.

[6] I. K. A. Setiawan, “Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Satu MWP Terinterkoneksi Jaringan di Kayubihi Bangli,” *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 13, no. 1, 2014.

[7] Yogianto, “Configuration Hybrid Solar System (PV), Wind Turbine, And Dieseld,” ICPERE *(International Conference Power Engineering and Renewable Energy*), Diakses tanggal 14 januari 2014.

[8] I. D. A. Santiari, “Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Tambahan Pada Industri Perhotelan di Nusa Lembongan Bali,” Tesis, Universitas Udayana, Bali, Indonesia, 2011.

[9] A. Kadir, *Energi: Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*, edisi 3. Jakarta, Indonesia: Universitas Indonesia. 2010.

[10] Hasan, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pulau Saugi,” *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK)*, vol. 10, no. 2, pp. 169-180, 2012.

[11] A. S. Sampeallo, 2006. Pembentukan Kelembagaan Pengelolaan Pembangkit Energi Terbarukan Di Perdesaan. Universitas Nusa Cendana Kupang. Diakses tanggal 17 juni 2014.

[12] Foster, R. 2010. Solar Renewable Energy And The Environment. Boca Raton, FL, CRC Press.

[13] A. A. Lazou, A. D. Papatsoris, “The Economics Of Photovoltaic Stand-Alone Resdidential Households: A Case Study For Various European And Mediterranean Locations,” *Solar Energy Material & Solar Cell* 62:411-427. 2000. (nama jurnal, vol, no tidak jelas)

[14] B. A. A. Abdel-Ghani, “Techno-Economic Evaluation Of Smallvillages In Palestine By Centralized And Decentralized Pvsystem,” Tesis, An-Najah National University, Palestine, 2008.

[15] BKD. 2015. Peraturan Gubernur Nomer 69 Tahun 2014 tentang upah minimum kabupaten/kota. BKD Propinsi Bali.

[16] BI. 2014. Suku Bunga Dasar Kredit. Bank Indonesia.

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372

Terbit *online* pada laman web jurnal :http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/

Jurnal Dampak

| ISSN (Print) 1829-6084 |ISSN (Online) 2597-5129|

Artikel Penelitian

Studi Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Sumber Biogas di Nagari Aie Tajun Kecamatan Lubuk Alung Kabupaten Padang Pariaman

Renny Eka Putri, Andasuryani, Intan Pertiwi

Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Andalas

ARTICLE INFORMATION

Received: 12 August 2018
Revised: 18 January 2019
Available Online: 31 January 2019

KEYWORDS

Biogas
Kotoran Sapi
Energi Terbarukan

CORRESPONDENCE

Phone:-

E-mail: rennyekaputri@ae.unand.ac.id

A B S T R A C T

Biogas is a gas that is produced through an anaerobic process of organic matter in a digester to become energy. The energy produced can be used as a substitute for kerosene or LPG to meet daily needs such as cooking. Nagari Aie Tajun is an area with a majority of farmers. They have at least 3-4 cows, but almost no one uses cow dung as an energy source but just throw it away. The purpose of this study is to overcome the problem of cow dung that has not been used by farmers as biogas. The research was carried out in several stages, including the making of biogas installations, technical testing of biogas and assistance to the community. Based on the results of the study, it was found that the gas had begun to form on day 15 and the maximum on day 21, which was marked by the bubbling of the digester and the release of a distinctive smell of cow dung. Filling cow manure into the digester should be done at least every two to three days with 20-30 liters of cow dung. The resulting biogas can be used for daily cooking by the local community.

PENDAHULUAN

Masyarakat Nagari Aie Tajun, Kecamatan Lubuk Alung, Kabupaten Padang Pariaman merupakan daerah yang mata pencaharian utamanya bertani dan beternak. Kurangnya pengetahuan masyarakat tentang pemanfaatan limbah pertanian dan peternakan menyebabkan masih banyak masyarakat tidak memanfaatkan kotoran ternak dan limbah pertanian yang sangat melimpah untuk dijadikan bahan bakar alternatif. Masyarakat masih menggunakan gas elpiji dan minyak tanah untuk memasak yang harganya cukup mahal dan ketersediaannya juga semakin menipis. Padahal daerah tersebut memilki potensi yang cukup tinggi untuk dimanfaatkan dalam proses pemanfaatan limbah sekitar seperti kotoran sapi yang dapat dijadikan bahan bakar alternatif ramah lingkungan dan hanya sedikit menghabiskan biaya. Menurut Huda dan Wiwik (2017), satu ekor sapi setiap harinya menghasilkan kotoran sekitar 8-10 kg per hari atau 2,6-3,6 ton per tahun. Nilai tersebut setara dengan 1,5-2 ton pupuk organik, sehingga akan mengurangi penggunaan pupuk organik dan perbaikan lahan. Oleh karena itu menjadi suatu keharusan masyarakat untuk menciptakan sumber lain yaitu pemanfaatan *renewable energy* (energi terbarukan) untuk menggantikan bahan bakar fosil yang semakin langka. Salah satu sumber *renewable energy* adalah pembuatan biogas. Biogas merupakan salah satu alternatif utama untuk menggantikan bahan bakar karena bahan baku biogas adalah limbah dan kotoran ternak yang tingkat produksinya tidak pernah habis dan bergantung pada ketersediaannya. Biogas menghasilkan gas yang bersumber dari pencernaan anaerobik yang merupakan campuran gas metan (CH_4), karbon dioksida (CO_2) dan sejumlah kecil nitrogen, sulfur dioksida, amonia, hidrogen sulfida dan hidrogen (Haryati, 2006). Hasil fermentasi anaerob kotoran ternak akan dihasilkan gas metan antara 65-70%, dengan nilai kalori berkisar 590-700 K.cal/m^3 (Mulyono, 2000).

Biogas sangat potensial untuk dikembangkan karena beberapa alasan sebagai berikut: 1) produksi biogas dari kotoran peternakan sapi ditunjang oleh kondisi yang kondusif perkembangan sapi di Indonesia akhir-akhir ini, (2)

https://doi.org/10.25077/dampak.16.1.26-30.2019

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

regulasi di bidang energi seperti kenaikan tarif listrik, kenaikan harga LPG, premium, minyak tanah, minyak solar, minyak diesel dan minyak bakar telah mendorong perkembangan sumber energi alternatif yang murah, berkelanjutan dan ramah lingkungan, dan (3) kenaikkan harga dan kelangkaan pupuk anorganik di pasaran karena distribusi pemasaran yang kurang baik menyebabkan petani berpaling pada penggunaan pupuk organik (Nurhasanah *et al*., 2006).

Menurut Saputro *et al.* (2009), biogas yang dibuat dari kotoran hewan khususnya sapi ini memiliki energi alternatif yang ramah lingkungan, karena selain dapat memanfaatkan limbah dari ternak, sisa pembuatan biogas ini berupa slurry yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik yang kaya akan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman. Energi biogas dapat menggantikan bahan bakar fosil sehingga akan menurunkan gas rumah kaca dan gas emisi lainnya di atmosfer. Menurut Wahyudi (2013), pemanfaatan kotoran sapi menjadi biogas dan pupuk organik memiliki nilai strategis karena dapat menanggulangi kemiskinan dan kelaparan, pemberdayaan perempuan, memerangi HIV, malaria dan memastikan kelestarian lingkungan.

Menurut Haryono (2012), faktor penting yang mempengaruhi proses fermentasi untuk menghasilkan biogas dalam digester anaerob adalah temperatur. Widyasmara *et al.* (2012) menyatakan bahwa peternak biasanya menumpuk feses sebelum membuang atau membawanya ke sawah. Perlu dilakukan pengolahan limbah yang tepat agar mengurangi dampak pencemaran terhadap lingkungan. Oleh karena itu perlu diterapkannya teknologi tepat guna yang mampu memanfaatkan limbah sehingga dapat mengurangi dampak pencemaran terhadap lingkungan sekaligus menjadi sumber energi terbarukan yang dapat mengatasi permasalahan energi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem istalasi biogas yang ramah lingkungan dengan pemanfaatan kotoran sapi sebagai sumber biogas di Nagari Aie Tajun Kecamatan Lubuk Alung Kabupaten Padang Pariaman

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengunakan metode experiment dengan beberapa tahapan penelitian yang terdiri dari identifikasi masalah, investasi ide, penyempurnaan ide, analisis, pengambilan keputusan, dan pelaksanaan penelitian. Pembuatan instalasi biogas dilakukan di salah satu rumah peternak sapi di korong Kampuang Paneh, Nagari Aie Tajun. Bahan dan alat yang digunakan adalah kotoran sapi, plastik PE, pipa, selang, ember, kran, dan sekop. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan meliputi pembuatan instalasi biogas, uji teknis terhadap biogas dan pendampingan.

Identifikasi Masalah

Dalam identifikasi masalah, yang perlu diperhatikan adalah masalah teknis dan masalah ekonomis. Keduanya harus disesuaikan dengan kondisi lingkungan masyarakat pemakai dan bahan baku yang tersedia, terutama masyarakat pedesaan yang mayoritas petani. Biasanya para petani menggunakan kotoran yang dihasilkan ternak hanya sebagai pupuk tanaman saja, namun kenyataannya kotoran tersebut dapat menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif pengganti minyak tanah atau bensin, yang cara untuk memperolehnya sangat mudah dan menggunakan alat yang sederhana.

Instalasi biogas yang dikembangkan ini sangat banyak memfaatnya disamping dapat menghasilkan biogas untuk menggantikan bahan bakar minyak yang selama ini digunakan yang semakin hari semakin susah untuk mendapatkannya dan ketersediannya yang semakin menipis, dan lumpuran keluarannya juga dapat digunakan kembali sebagai pupuk tanaman. Mengingat hal tersebut, maka perlu diadakan suatu pendekatan tertentu mulai dari alat yang sederhana sampai dengan alat yang sudah modren. Dengan prinsip kerja dan kontruksi yang sederhana diharapkan tidak akan menimbulkan kesulitan dalam pembuatan, operacional, dan perawatan alat.

Investasi Ide

Ide pembuatan alat ini muncul setelah melihat beberapa jenis alat produksi biogas yang ada masih terdapat kekurangan-kekurangan. Meningkatkan kemampuan dan keterampilan petani dalam membuat alat yang sederhana dengan bahan yang tersedia disekitar mereka. Dengan potensi masyarakat yang ada, maka dibutuhkan adalah suatu alat produksi biogas yang biasa dibuat dan digunakan dengan keterampilan yang terbatas.

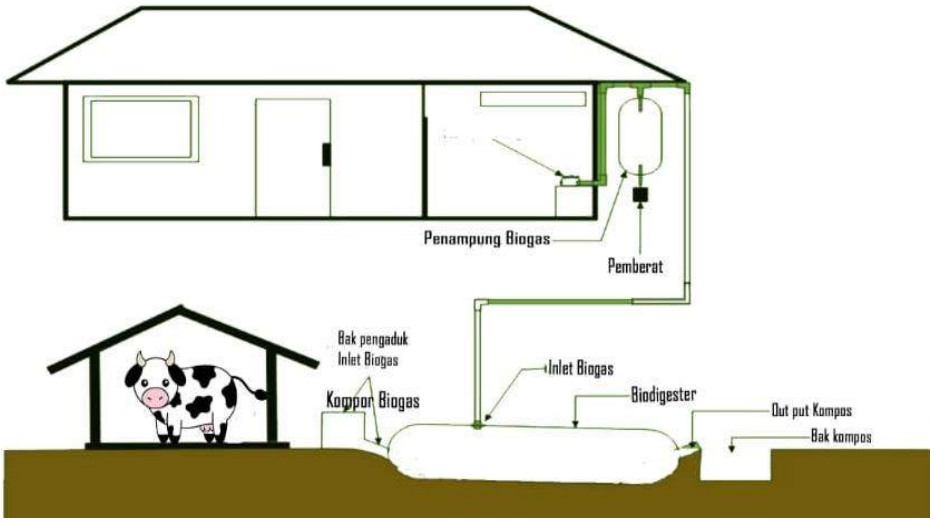
Penyempurnaan Ide

Dari ide yang ada maka dapat disempurnakan dengan menyusun suatu bentuk rancangan struktural yang dilengkapi dengan rancangan fungsional. Gambar 1 menjekaskan mekanisme instalasi biogas yang dikembangkan

Pembuatan Instalasi Biogas

Instalasi biogas dibuat sebanyak satu unit sebagai percontohan bagi masyarakat. Teknologi biogas diterapkan dengan menggunakan digester sederhana. Cara pembuatan instalasi biogas dibagi menjadi 3 bagian yaitu meliputi pembuatan bak tempat pengadukan, bak fermentasi dan bak pembuangan..

https://doi.org/10.25077/dampak.16.1.26-30.2019



Gambar 1. Rancangan Pembuatan Instalasi Biogas

a. Bak tempat pengadukan (*mixer*), bak dibuat secara permanen dengan menggunakan batu bata dan semen. Bak berbentuk persegi dengan ukuran 80 x 80 cm dan diletakan dengan posisi lebih tinggi dari penampung gas. Pada bagian dasar bak diberi pipa sebagai penghubung ke digester dengan diameter 4 inci.
b. Bak fermentasi, menggunakan plastik PE dengan panjang 4,5 meter yang sisinya disambungkan dengan menggunakan lakban hitam dan lem. Bak dilengkapi dengan pipa pemasukan isian (*inlet*) dengan kemiringan 35° dan pipa pengeluaran (*outlet*) dengan kemiringan 45°. Bak diisi kotoran sapi minimal sepertiga dari ukuran bak fermentasi. Pada bak ini akan dihasilkan gas yang selanjutnya akan dialirkan melalui pipa ke rumah untuk langsung digunakan atau ke penampung gas.
c. Bak pembuangan, bak ini dibuat dengan ukuran yang sama dengan bak pengadukan yaitu 80 x 80 cm dan juga dibuat secara permanen posisi bak ini lebih rendah jika dibandingkan dengan bak pengadukan agar limbah kotoran dapat mengalir. Bak ini berfungsi menampung limbah kotoran sapi setelah fermentasi. Menurut Elizabeth dan Rusdiana (2007), tempat untuk meletakkan unit produksi biogas terbaik dan aman adalah sekurang-kurangnya 10 m dari rumah. Terpisah dari tempat masak dan sumber air sehingga limbah ikutannya tidak mencapai sumber air dan tidak mencemari kehidupan keluarga.



Gambar 2. Pemasangan Instalasi Biogas

Uji Teknis terhadap Instalasi Biogas

Uji teknis dilakukan setelah fermentasi kotoran yaitu ketika plastik telah menggelembung hal ini menandakan gas metana telah terbentuk dan instalasi siap untuk diuji. Ketika digester telah menghasilkan gas, maka kompor gas dihubungkan dengan pipa. Uji teknis dilakukan di rumah masyarakat yang memiliki 3 ekor sapi.

Pendampingan

Pendampingan artinya memantau lebih lanjut kondisi dan tingkat kontribusi penggunan instalasi biogas. Pendampingan dilakukan selama 40 hari untuk mengetahui permasalahan yang terjadi selama penggunaan instalasi biogas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Teknis Instalasi Biogas

Uji reaktor biogas dilakukan setelah proses instalasi selesai yaitu pada hari ke-15 dengan cara membuka kran gas pada digester secara perlahan-lahan. Hasil pengamatan ditunjukan dengan adanya api ketika disulut dan penggelembungan bak fermentasi yang menandakan bahwa gas telah terbentuk. Gas mulai terbentuk pada hari ke-15 dan maksimum tercapai pada hari ke 21. Setelah gas terbentuk, digester diisi kembali dengan kotoran sapi dan dicampur dengan air dengan perbandingan 1:1.

Pengenceran sangat dibutuhkan dalam persiapan bahan baku, hal ini disebabkan karena isian (bahan baku) harus berupa bubur atau pasta, apa bila bahan isian tersebut kelebihan atau kekurangan air maka produksi biogas tidak akan berjalan dengan optimal (Paimin, 1999).

Menurut Paimin 1999), setiap kotoran atau bahan baku akan berbedasifat pengencerannya. Seperti kotoran sapi segar mempunyai kadar bahan kering kurang lebih sebesar 18%, Untuk itu agar diperoleh bahan isian yang mengandungkadar bahan kering sebesar 7 – 9 %, maka bahan baku tersebut perlu dilakukan pengenceran dengan air dengan perbandingan 1:1.



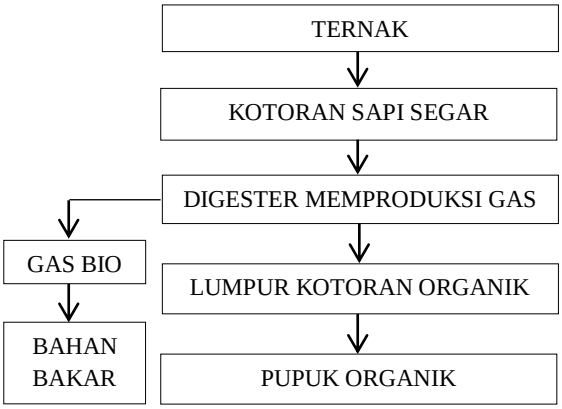
Gambar 3. Hasil Uji Coba Instalasi Biogas

Disamping menghasilkan gas Bio, instalasi biogas yang dikembangkan juga menghasilkan lumpur organik yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk oleh masyarakat. Komponen-komponen biogas dapat dilihat pada Tabel 1. Gambar 4 menjelaskan mekanisme hasil dari pemanfaatan kotoran ternak menghasilkan biogas dan pupuk organik.

Tabel 1. Komponen-Komponen Biogas

Nama Gas	Rumus Kimia	Jumlah
Gas methan	CH_4	54 % - 70 %
Karbon dioksida	CO_2	27 % - 45 %
Nitrogen	N_2	3 % - 5 %
Hihrogen	H_2	1 % - 0 %
Karbon monoksida	CO	0,1 %
Oksigen	O_2	0,1 %
Hidrogen sulfida	H_2S	sedikit

Sumber : Widarto dan Sudarto (1997)



Gambar 4. Bagan Satu Rantai Pemanfaatan Kotoran Sapi

Uji Teknis Kompor Biogas

Uji teknis pada kompor biogas dilakukan dengan cara menghubungkan pipa dari digester ke ke kompor biogas dengan menggunakan selang karet. Dari hasil penelitian menunjukan bahwa kompor biogas dapat menyala dan menghasilkan api biru. Untuk memasak air sebanyak 1 liter dibutuhkan waktu rata-rata 10 menit. Pada saat bersamaan juga diamati suhu air mendidih sebesar 94 ºC. Titik didih air juga dipengaruhi oleh ketinggian tempat melakukan pengujian dari permukaan laut, seperti contoh titik didih air akan berbeda apabila kita memasak air didataran rendah akan lebih tinggi titik didihnya dibandingkan kita melakukan memasak air didataran tinggi seperti daerah pegunungan.





Gambar 5. Uji teknis Kompor Biogas

Pembinaan Masyarakat mengenai Pemanfaatan Kotoran Sapi

Pembinaan diberikan kepada pemilik ternak dalam melanjutkan pengisisan kotoran sapi pada instalasi biogas. Pengisian kotoran sapi dilakukan setiap hari sebanyak 2-3 ember (20-30 liter kotoran sapi) ke dalam bak digester melalui lubang *input*. Diharapkan dengan dibangunnya instalasi biogas dapat dijadikan contoh oleh pemilik ternak lainnya untuk dapat membuat instalasi biogas dengan memanfaatkan kotoran sapi. Selain itu, bahan yang dihasilkan dari proses digester berupa lumpur kotoran organik yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Pemanfaatan kotoran sapi berdampak pada penghematan bahan bakar minyak dan kayu bakar.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembuatan biogas yang telah dilaksanakan di Nagari Aie Tajun, dapat disimpulkan sebagai berikut; Instalasi biogas dengan kotoran sapi telah berhasil dilakkukan dengan terbentuknya gas dan kompor yang sudah dapat digunakan. Setelah pengisian kotoran sapi, gas telah terbentuk pada hari ke-15. Pengisian kotoran sapi dilakukan setiap hari sekitar 20 -30 liter untuk menghasilkan gas yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Pengabdian Kepada Masyarakat Nomor SPPK: 012/SP2H/PPM/DRPM/IV/2017 yang telah mendanai penelitian ini dan kepada seluruh pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini. Selanjutnya terima kasih kepada seluruh mahasiswa KKN

Tematik Nagari Aie Tajun Kecamatan Lubuk Alung Kabupaten Padang Pariaman.

DAFTAR PUSTAKA

Elizabeth R., dan Rusdiana S. 2007. Efektivitas Pemanfaatan Biogas sebagai Sumber Bahan Bakar dalam Mengatasi Biaya Ekonomi Rumah Tangga di Perdesaan. Pusat Penelitian Pengembangan Peternakan. Bogor.

Darmanto, A.,Sudjito, S., Denny W. 2012. Pengaruh Kondisi Temperatur Mesophilic (35^0C) dan Thermophilic (55^0C) Anaerob Digester Kotoran Kuda terhadap Produksi Biogas. Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 3, No. 2: 317-326.

Haryati, T. (2006). Biogas: Limbah peternakan yang menjadi sumber energi alternatif. Jurnal Wartazoa, 16(3), 160-169.

Huda, S dan wiwik, W. 2017. Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Pupuk Organik sebagai Upaya Mendukung Usaha Peternakan Sapi Potong di Kelompok Tani Ternak Mandiri Jaya Desa Moropelang Kec. Babat Kab. Lamongan. Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat, Vol.1, No.1 : 26-35. ISSN 2528-4967.

Mulyono, Daru. 2000. Pemanfaatan Kotoran Ternak sebagai Sumber Energi Alternatif dan Peningkatan Sanitasi Lingkungan. Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol. 1, No. 1 : 27-32.

Nurhasanah dan Widodo. 2006. Pengoperasian Peralatan yang Menggunakan Biogas. Prosiding Seminar Nasional Mekanisasi Pertanian. Bogor. 29-30 November 2006. Bogor, Hal. 408-411.

Paimin, B Farry. 1995. ***Alat Pembuatan Biogas dari Drum***. Penebar Swadaya. Jakarta.

Saputro, R. R., Putri, D. A., & Artanti, D. (2009). Pembuatan Biogas dari Limbah Peternakan.

Wahyudi, J. 2013. Strategi Pengembangan Biogas pada Peternakan Sapi Perah. Jurnal Litbang, Vol IX (2):121-127.

Widarto, L. dan Sudarto. 1997. Membuat Biogas. Kanisius. Yogyakarta.

Widyasmara, L., Pratiwiningrum, A., & Yusiati, L. M. (2012). Pengaruh jenis kotoran ternak sebagai substrat dengan penambahan serasah daun jati (Tectona grandis) terhadap karakteristik biogas pada proses fermentasi. Buletin Peternakan, 36(1), 40-47.

Studi Perencanaan Atap Panel Surya di Hotel The Royale Krakatau Cilegon

Zawahar Islamy[1)*], Agung Sudrajad[1)]

[1)]Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon-Indonesia
Email: zawahar_islamy@yahoo.com

Abstrak

Hotel The Royale Krakatau adalah salah satu hotel terbaik di Provinsi Banten yang merupakan daerah yang beriklim tropis dan kaya akan pancaran cahaya matahari. Saat ini hotel belum memanfaatkan sumber energi terbarukan alam sebagai salah satu sumber energi pendukung di hotel. Studi ini merupakan studi kajian perencanaan pemasangan panel surya yang diletakkan di atap bangunan hotel dengan luasan sekitar 400 m^2 dengan desain mengikuti bentuk atap. Atap yang direncanakan dipasang panel surya, saat ini belum dimanfaatkan secara optimal dan hanya merupakan aksesoris bagi bangunan hotel. Daya yang dihasilkan dari pemasangan panel surya direncanakan akan mensubstitusi kebutuhan sebagian energi listrik di hotel seperti penerangan lampu-lampu. Metode yang digunakan adalah metode observasi dan perhitungan empiris menyangkut daya output dan luasan panel surya. Dari studi perencanaan yang dilakukan, daya output yang dihasilkan oleh pemasangan panel surya adalah 10% dari kebutuhan total energi listrik di hotel.

Kata kunci: Panel Surya, Energi Terbarukan, Hotel *The Royale Krakatau* Cilegon

Abstract

Hotel The Royale Krakatau is one of the best hotels in Banten Province which is a tropical area and rich in the light of the sun. Currently the hotel has not utilizing natural renewable energy sources as one of the supporting energy source at the hotel. This study is the study of planning the installation of solar panels placed on the roof of the hotel building with an area of about 400 m2 with the design follows the shape of the roof. The planned roof mounted solar panels, currently not used optimally and is only an accessory to the hotel building. The power generated from the solar panel installation is planned to substitute the electric energy needs of the hotel such as lighting lamps. The method used are observation and empirical calculations regarding output power and extent of solar panels. From planning studies conducted, the output power generated by the solar panel installation is 10% of the total electric energy needs at the hotel.

Keywords: Solar Panels, Renewable Energy, Hotel The Royale Krakatau Cilegon

1. PENDAHULUAN

PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) merupakan teknologi ramah lingkungan yang memanfaatkan energi sel surya photovoltaik dan dapat mengkonversi energi cahaya yang dipancarkan oleh matahari menjadi energi listrik. Potensi pengembangan PLTS di Indonesia sangat menjanjikan dilihat dari letak geografis Indonesia yang berada pada garis khatulistiwa. Posisi ini menyebabkan ketersediaan sinar matahari hampir sepanjang tahun di seluruh wilayah Indonesia kecuali pada musim hujan dan saat awan tebal menghalangi sinar matahari.

Dewasa ini pengembangan teknologi sudah diaplikasikan oleh pemerintah sebagai pembangkit listrik di pedesaan. Selain itu teknologi ini sudah banyak terpasang di sebagian perumahan yang ada di Indonesia.Menurut data dari BMKG tahun 2012 rata-rata temperatur di kota Cilegon sebesar 31,28 ^0C dan radiasi pancaran matahari rata-rata sebesar 4,62 Kw/m^2. Hal tersebut sangat baik untuk dipasang sebuah teknologi hijau atau green technology berupa panel surya yang mampu merubah pancaran cahaya matahari menjadi foton yang mampu memnghasilkan energi listrik, mengingat hotel tersebut merupakan hotel hijau. Karena panel surya harus terkena cahaya matahari langsung maka peletakkan haruslah ditempat terbuka dan terkena cahaya matahari langsung. Hotel The Royale Krakatau memiliki atap yang memiliki luasan 400 m^2 dan akan dipasang panel surya. Panel surya ini diharapkan mampu mengganti sebagian energi yang ada di hotel tesebut.

*Penulis korespondensi, hp:0254395502
Emaail: zawahar_islamy@yahoo.com

Radiasi Matahari ke Bumi

Sejarah peradaban manusia mencatat bahwa tenaga surya sangat berpengaruh terhadap segala aspek kehidupan manusia dan lingkungan sejak awal kehidupan di dunia ini. Ribuan tahun yang silam radiasi surya dapat menghasilkan bahan bakar fosil yang dikenal sebagai minyak bumi dan sangat bermanfaat bagi manusia, juga bagi irigasi dan sumber tenaga listrik. Radiasi matahari juga sangat berpengaruh terhadap proses fotosintesis yang merupakan dasar dari proses pertumbuhan segala jenis tumbuhan yang ada di dunia ini. Matahari juga dapat menimbulkan energi gelombang lautan, energi petir dan energi angin. Matahari memancarkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Radiasi tersebut hanya sekitar 50 % yang diserap oleh bumi. Menurut pengukuran oleh badan angkasa luar Amerika Serikat (NASA) melalui misi ruang angkasa tahun 1971 diperoleh data tentang besaran konstanta matahari yang harganya sama dengan 1353 W/m². Energi radiasi yang dipancarkan oleh sinar matahari mempunyai besaran yang tetap (konstan), tetapi karena peredaran bumi mengelilingi matahari dalam bentuk elips maka besaran konstanta matahari bervariasi antara 1308 W/m² dan 1398 W/m².

2. METODE

2.1. Panel surya

Panel surya merupakan alat konversi energi yang dapat merubah intensitas cahaya matahari menjadi elektron yang bergerak atau yang disebut dengan arus listrik. Panel surya, terdiri dari silikon, silikon mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, hujan, mendung) energi listrik yang dihasilkan juga akan berkurang. Dengan menambah s panel surya (memperluas) berarti menambah konversi tenaga surya.

2.2. Baterai

Baterai adalah obyek kimia penyimpan arus listrik. Dalam sistem panel surya, energi listrik dalam baterai digunakan pada malam hari dan hari mendung. Karena intensitas sinar matahari bervariasi sepanjang hari, baterai memberikan energi yang konstan.

2.3. PV Controller

PV (Photovoltaic) Controller bekerja seperti alat pengatur tegangan. Fungsi utama dari PV controller ini adalah untuk menghindari baterai dari pengisian ulang yang berlebihan (overcharged) dari panel surya. Beberapa PV controller juga melindungi baterai dari kehabisan dini (overdrain) oleh beban (alat listrik). Overcharge dan overdrain mengurangi umur baterai.

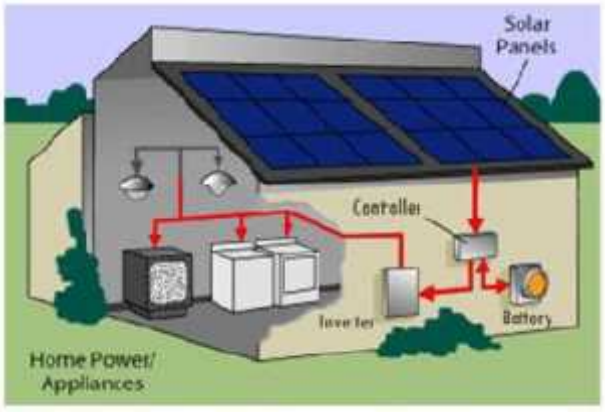
2.4. Inverter

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak balik (AC). Inverter mengkonversi DC dari perangkat seperti baterai, panel surya menjadi AC. Penggunaan inverter dari dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah untuk perangkat yang menggunakan AC (Alternating Current).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Bentuk rancangan

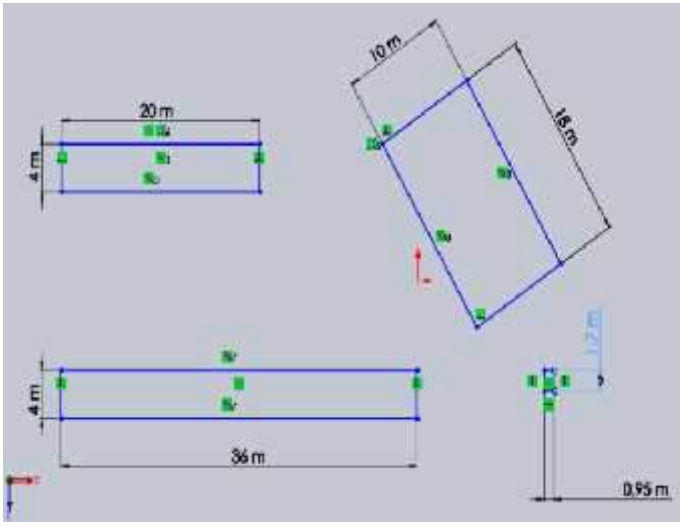
Dalam studi perencanaan panel surya, desain rancangan yang distudikan berupa panel surya yang dihubungkan ke pv controller dan baterai menghasilkan arus searah atau DC, kemudian di ubah menjadi arus bolak-balik atau AC sesuai kebutuhan elektronik yang digunakan. Bentuk rancangannya seperti gambar dibawah ini.



Gambar 1 Desain secara umum

3.2. Panel 200 Wp pada Atap 400 m^2

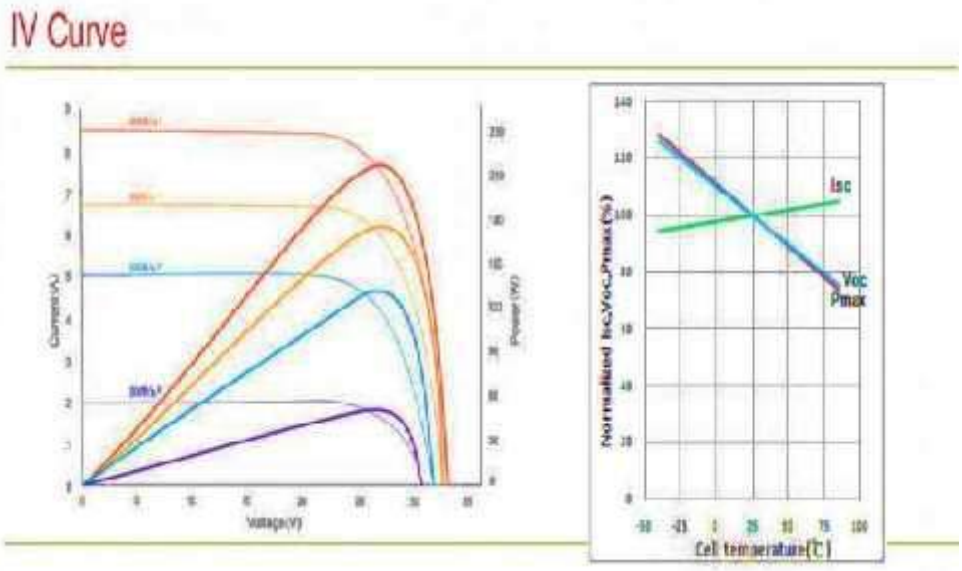
Total luasan atap hotel memiliki luas sebesar 400 m^2 yang terbagi menjadi 3 luasan. Luasan pertama memiliki dimensi 20x4 meter, luasan yang kedua memiliki dimensi 36x4 meter, sedangkan luasan ketiga memiliki dimensi 10x18 meter. Panel surya yang digunakan adalah panel dengan puncak daya tertinggi sebesar 240 Wp. Panel surya ini memiliki luasan 992x1482 milimeter. Sehingga diperoleh 52 panel surya untuk luasan pertama, 96 panel surya untuk luasan kedua, dan 120 panel surya untuk luasan ketiga. Jadi total panel yang digunakan sebanyak 268 panel surya dengan kapasitas 240 Wp.



Gambar 3 Dimensi atap hotel The Royale Krakatau

3.3. Spesifikasi panel surya

Panel surya yang di gunakana adalah panel dengan kapasitas tertulis 200 Wp, dengan max power sebesar 200Wp dengan toleransi ±5%, Vmp=26,84 V, Imp=7,45 A, Voc=32,7 V, Isc=8,16 A.



Gambar 3 Grafik hubungan arus dan tegangan terhadap besarnya daya yang dihasilkan

3.4. Efisiensi Panel Surya

Pada grafik panels surya ini, intensitas radiasi pada 1000 w/m^2 menghasilkan arus listrik sebesar 8,5 A dan tegangan sebesar 32 V. Sehingga diperoleh.

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = 0{,}75$$

$$Pmax = 32 \times 8{,}5 \times 0{,}75 = 203{,}85\ watt$$

$$Pin = Intensitas\ x\ luas\ modul = 1000\ {}^{w}/_{m^2}\ x\ 0{,}992\ m\ x\ 1{,}482\ m = 1470\ watt$$

$$\eta = \frac{Pmax}{Pin}\ x\ 100\% = 13{,}87\%$$

3.5. Penyimpanan Energi

Sebuah panel surya yang mendapatkan radiasi 1000 w/m^2 akan menghasilkan daya sebesar 203,85 watt. Maka daya yang dihasilkan pada atap seluas 400 m^2 atau 268 panel surya sebesar 54.631,8 watt hour. Dengan asumsi energi maksimal. Daya selama atu jam akan di konversikan menjadi ampere hour dengan menggunakan baterai deep cycle 24 volt. Maka diperoleh persamaan.

$$Ah = \frac{ET}{Vs} = \frac{54631{,}8}{24} = 2276{,}325\ Ah$$

Dalam pengecasan seuah baterai terutama baterai deep cycle adanya deep of discharge sebesar 80% maka besar ampere hour rangkaian tersebut adalah

$$Cb = \frac{2276{,}325}{0{,}8} = 2845{,}4\ Ah$$

3.6 Regulator PV Controller

Regulator input rangkaian pada studi perencanaan panel surya ini sebesar :

$$I_{Regulator} = \frac{Pin}{Vbattery} = \frac{54.631{,}8}{24} = 2276{,}3$$

4. SIMPULAN

Dalam studi perencanaan atap panel surya ini, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu; Efisiensi panel surya menurut perhitungan dari spesifikasi pabrik pembuat adalah 13,87%. Daya yang dihasilkan dalam pemasangan 268 panel surya ini adalah 54.631,8 watt hour dengan asumsi radiasi 1000 watt/m2. Daftar rangkaian panel surya yang ada harus memenuhi spesifikasi modul 54.631,8 Wh, baterai 2.845,4 Ah, Pv Controller 2.276,3 A, dan inverter 54.631,8 W.

DAFTAR PUSTAKA

[1] http://ecogreeps.com/product.php?category=4&product_id=86#.UbYRYqLwngc (diakses pada tanggal: 4 April 2013)

[2] Cristiana Honsberg, Stuat Bowden, *Photovoltaic Devices, system and Aplication PVCDROM 1.0*, Australia, 1999.

[3] Ramadhani, Kholid., Syafsir Akhlus, , *Pengaruh Hubungan Seri-Paralel Pada Rangkaian Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (Sspt) Terhadap Efisiensi Konversi Energi Listrik*, Universitas Indonesia, Jakarta, 2010.

[4] Purnomo, Wahyu., *Pengisi Baterai Otomatis Dengan Menggunakan Solar Cell*, Universitas Gunadarma, Jakarta, 2010.

[5] Effendi, Asnal ., *Pembangkit Listrik Sel Surya Pada Daerah Pedesaan*, Institut Teknologi Padang, Padang, 2011.

[6] Kumara, Nyoman S., *Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kala Rumah Tangga Urban dan Ketersediaannya Di Indonesia*, Universitas Undayana, Bali, 2010.

[7] Syukri, Mahdi dan Suriadi., *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*, 2010.

[8] *(PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh*, Univeersitas Syiah Kuala, Aceh.

[9] Bachtiar, Muhammad., *Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Perumahan (Solar Home System)*, Universitas Tadulaku, Palu, 2006.

ARTIKEL REVIEW

STUDI POTENSI LIMBAH TEMBAKAU MENJADI BIO-OIL MENGGUNAKAN METODE FAST-PYROLYSIS SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN

Rafiqi Rajauddin Amin, Rimbi Rodiyana Sova, Dewinta Intan Laily, Dina Kartika Maharani*
Jurusan Kimia, Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Kota Surabaya, Indonesia
*Email: dinakartika@unesa.ac.id

Received 8 October 2020
Accepted 4 December 2020

Abstrak

Perkembangan industri yang semakin pesat menyebabkan kebutuhan bahan bakar dan energi semakin meningkat khususnya bahan bakar fosil (*petroleum*). Hal tersebut berdampak terhadap terjadinya krisis energi. Biomassa menjadi perhatian khusus sebagai salah satu sumber energi terbarukan untuk mengatasi krisis energi yang terjadi saat ini. Biomassa terdiri dari hemiselulosa, selulosa, dan lignin yang dapat dikonversi menjadi cairan (*bio-oil*)dari *pyrolisi*s. Salah satu limbah yang dapat dikonversi menjadi *bio-oil* yaitu limbah tembakau. Limbah tembakau dihasilkan lebih dari 2 juta ton setiap tahunnya. Limbah tersebut memiliki kandungan yang berpotensi diolah lebih lanjut menjadi bio-oilmenggunakan metode *fast-pyrolysis* dengan langkah-langkah pembuatan *bio-oil* secara efisien dan berkualitas. Adapun hasil bio-oil dari limbah tembakau menggunakan metode fast pyrolysis memiliki nilai karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, dan senyawa organik lain serta rasio H/C lebih besar dari pada hasil bio-oil limbah tembakau menggunakan metode low pyrolysis. Dimana *bio-oil* limbah tembakau menggunakan metode *fast-pyrolysis* memiliki nilai kalor yang tinggi setara dengan distribusi hidrokarbon dari biodiesel, yang berarti memiliki potensi sebagai energi alternatif pengganti petroleum. Potensi sebagai bahan bakar pengganti petroleum juga harus dimbangi dengan produksi yang cepat dan efisien, produksi *bio-oil* dapat dimaksimalkan dengan pemillihan reactor dan suhu optimum yang digunakan.

Kata kunci: Limbah, Tembakau, Bio-Oil, Energi Terbarukan, Fast-pyrolisis

Abstract

The rapid development of industry causes the need for fuel and energy to increase, especially fossil fuels (petroleum). This has the effect of an energy crisis. Biomass is of particular concern as one of the renewable energy sources to address the current energy crisis. Biomass consists of hemiselulose, cellulose, and lignin that can be converted into liquids (bio-oils) of pyrolysis. One of the wastes that can be converted into bio-oil is tobacco waste. Tobacco waste is produced by more than 2 million tons eachs. The waste has the potential to be further processed into bio oil using fast pyrolysis method with efficient and quality bio-oil manufacturing measures. The bio-oil results from tobacco waste using the fast pyrolysis method have values of carbon, hydrogen, nitrogen, oxygen and other organic compounds and the H/C ratio is greater than the yield of tobacco waste bio-oil using the low pyrolysis method. Where the bio-oil of tobacco waste using the fast pyrolysis method has a high heating value equivalent to the distribution of hydrocarbons from biodiesel, which means it has the potential as an alternative energy to replace petroleum. The potential as a substitute fuel for petroleum must also be balanced with fast and efficient production, maximizing bio-oil production by selecting the reactor and the optimum temperature used.

Keywords: Waste, Tobacco, Bio-Oil, Renewable Energy, Fast-pyrolisis

Pendahuluan

Pesatnya pertumbuhan penduduk yang diiringi dengan meningkatnya kemajuan industrimenyebabkan kebutuhan akan bahan bakar dan energi semakin meningkat khususnya bahan bakar fosil (*petroleum*). Hal tersebut berdampak pada berkurangnya persediaan cadangan *petroleum* di alam karena krisis energi yang juga menghambat kegiatan ekonomi. Selain itu penggunaan bahan bakar fosil menjadi salah satu penyebab utama pencemaran lingkungan dan pemanasan global. Berdasarkan peraturan pemerintah No. 79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional menyatakan bahwa pada tahun 2025 target peran energi baru dan terbarukan paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 diimbangi dengan pengurangan peran minyak bumi kurang dari 25% pada tahun 2025 dan kurang dari 20% pada tahun 2050.Hal inilah yang mendorong untuk mengembangkan energi terbarukan yang lebih efisien dan ramah lingkungan sebagai pengganti *petroleum*.

Biomassa menjadi perhatian khusus sebagai salah satu sumber energi terbarukan untuk mengatasi krisis energi yang terjadi saat ini. Kandungan biomassa yakni hemiselulosa, selulosa, dan lignin dan sejumlah kecil spesies organik dan anorganik lainnya tergantung pada jenis biomassa. Sumber daya biomassa biasanya dalam bentuk kayu dan limbah kayu, tanaman pertanian dan produk samping limbahnya, limbah padat kota, limbah proses pulp, dan sebagainya. Biomassa dapat dikonversi menjadi cairan (*bio-oil*), padat (*bio-char*), dan produk-produk gas dari pyrolysis(Akalina & Karagöz, 2011).

Salah satu tanaman pertanian yang berpotensi untuk dikonversi menjadi biomassa yaitu tembakau. Komoditas tembakau tersebar di beberapa provinsi di Indonesia yang dimanfaatkan dalam berbagai industri rokok, kosmetik, obat-obatan. Tembakau yang digunakan sebagai bahan utama dalam industri rokok hanya menggunakan daunnya dan menyisakan batang, akar, ranting dan daun kecil sebagai limbah pertanian. Liu et al., (2015) menyatakan bahwa batang tembakau memiliki kandungan nikotin sebesar 0,26%, selulosa dan lignin berturut-turut sebesar 56,10% dan 15,11%. Kandungan tersebut berpotensi besar sebagai *bio-oil* yang merupakan energi alternatif terbarukan dan ramah lingkungan daripada bahan bakar fosil (minyak bumi)(Rahmatullah, dkk, 2019).

Bio-oil merupakan senyawa oksigenat organik yang berbeda-beda dan tidak seperti bahan bakar minyak bumi pada umumnya. Hal ini karena tingginya kadar air, sekitar 15-20% yang berfungsi juga sebagai pengikat ratusan molekul yang berbeda yang disebut sebagai emulsi mikro. *Crude bio-oil* dapat digunakan sebagai pemanas rumah tangga atau *boiler* untuk pengeringan dan dapat ditingkatkan menjadi bahan bakar yang mempunyai nilai kalor yang lebih tinggi dan dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan dalam industri kimia (oleokimia), seperti *petroleumfuel* (Wibowo, 2020).

Metode yang digunakan untuk pembuatan *bio-oil* dari biomassa melalui *thermochemical process* yaitu pyrolysis. Pyrolysis merupakan proses dekomposisi bahan kimia organik melalui tahap

pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi gas (Ridhuan et al., 2019). Metode pyrolysis sangat baik karena memaksimalkan senyawa lignin dan selulosa yang dihasilkan dari tumbuhan untuk menghasilkan bahan bakar cair. Penggunaan katalis dapat diaplikasikan pada proses pyrolysis dengan sebutan pyrolysis katalitik. Teknik pyrolysis yang berbeda memicu perbedaan dalam kuantitas dan kualitas produk yang dihasilkan. *Bio-oil* memiliki kandungan nitrogen dan sulfur yang rendah, dapat digunakan sebagai bahan bakar di beberapa mesin dan *boiler* yang dimodifikasi. Selain itu, minyak pyrolysis kaya akan senyawa organik yang memeberikan nilai tambah (Barla & Kumar, 2019).

Jenis pyrolysis yang saat ini berkembang untuk menghasilkan *bio-oil* yaitu melalui proses *fast pyrolisis*. Proses *fast pyrolisis* dilakukan pada suhu antara 400°C-600 ^{o}C dengan lama pemanasan sekitar 0,5-2 detik.Kelebihan proses *fast pyrolisis* yaitu produk cair (*Bio-oil*) lebih banyak daripada jenis pyrolysis yang lain. *Bio-oil* dari *fast pyrolisis* dapat memberikan nilai kalor tinggi yang memiliki distribusi hidrokarbon yang serupa dengan diesel standar (Barla & Kumar, 2019). Beberapa teknologi pyrolysis cepat (fast pyrolysis) antara lain *bubbling fluidized bed, circulating fluidized bed reactor, rotating cone pyrolyzer, ablative pyrolysis, vacuum pyrolysis,* dan *auger reactor*. Selain itu mulai dikembangkan juga *free fall* yang sudah dipanaskan pada suhu antara 400-700°C. Produk yang dihasilkan *fast pyrolisis* selain cairan bio-oil, akan dihasilkan juga arang dan gas (Wibowo & Hendra, 2015).

Berdasarkan beberapa uraian diatas , penulisan artikel review ini bertujuan untuk memberikan telaah literatur mengenai cara pembuatan bio-oil dari tembakau menggunakan *fast-pyrolysis* serta mengetahui kandungan bio-oil tembakau yang dihasilkan pada proses *fast-pyrolysis.*

Metode Review

Metode yang digunakan adalah melalui studi literatur yang telah dirangkum dari artikel-artikel yang relevan dengan proses pyrolysis menggunakan limbah tembakau. Pembahasan pada artikel review disusun secara narrative untuk menunjukkan bahwa proses pyrolysis limbah tembakau menggunakan metode *fast pyrolysis* menghasilkan persen bio oil yang lebih tinggi.

Hasil kajian dan Pembahasan

Limbah Tembakau

Tanaman tembakau tersebar sangat luas di Indonesia. Berdasarkan data statistik Kementerian Pertanian Republik Indonesia tahun 2020, luas lahan tanaman tembakau mencapai total 204.961 Ha dengan kisaran populasi tanaman tembakau per hektar lahan adalah 22.000 pohon dan berat tembakau sekitar 0,5 kg. Jika ditotal tahun 2020 limbah pohon tembakau mencapai 2.302.268,36 ton.

Tabel 1 menunjukkan kandungan limbah tembakau yang berpotensi untuk dijadikan biomassa. Kandungan biomassa yakni hemiselulosa, selulosa, dan lignin dan sejumlah kecil spesies organik dan anorganik lainnya tergantung pada jenis biomassa.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Tembakau

Hasil analisis akhir(kering dan bebas abu (daf))	**Berat (%)**	**Referensi**
C (berat%)	32.66- 46.96	(B. Liu et al., 2013), (Cardoso et al., 2011), (Chen et al., 2016), (Onorevoli et al., 2018), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
H (berat%)	4.37 - 8.54	(B. Liu et al., 2013), (Cardoso et al., 2011), (Chen et al., 2016), (Onorevoli et al., 2018), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
N (berat%)	0.81 - 6.85	(B. Liu et al., 2013), (Cardoso et al., 2011), (Chen et al., 2016), (Onorevoli et al., 2018), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
O (berat%)[a]	29.08 - 49.96	(B. Liu et al., 2013), (Cardoso et al., 2011), (Chen et al., 2016), (Onorevoli et al., 2018), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
S	0.04 - 0.76	(B. Liu et al., 2013), (Cardoso et al., 2011), (Chen et al., 2016), (Onorevoli et al., 2018), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
Rasio atom H/C	1.89	(Onorevoli et al., 2018)
Rasio atom O/C	0.71	(Onorevoli et al., 2018)
Nilai kalor (MJ/kg)	11.30 - 20.43	(Chen et al., 2016)(Onorevoli et al., 2018), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
Hasil analisis proksimat	**Berat (%)**	**Referensi**

Abu (berat%, keadaan kering)	5.20 - 24.33	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
Kelembaban (berat%, yang diterima)	2.83 - 9.40	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
Volatil (berat%, keadaan kering)	59.75 - 70.20	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
Karbon tetap[a]	6.14 - 17.55	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
Analisis struktur	**Berat (%)**	**Referensi**
Lignin	6.51 - 18.63	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016)
Hemiselulosa	5.05 - 11.78	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016)
Pektin	15.21	(Chen et al., 2016)
Minyak	2.82	(B. Liu et al., 2013),
Selulosa	39.01 - 26.43	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016)

Produk pyrolysis bergantung pada parameter proses serta komposisi bahan baku. Parameter proses yang penting diantaranta adalah suhu operasi, laju pemanasan, ukuran partikel, waktu tinggal volatil dan arang, dan keberadaan katalis. Bagian fisik dan kimia yang penting dari bahan baku seperti kandungan volatil, kelembaban, abu juga memengaruhi hasil produk pyrolysis(Hassan et al., 2015).

Pyrolysis

Pyrolysis adalah dekomposisi bahan kimia organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen yang terjadi pada suhu antara 350-750 (Kasim, F, et al, 2015; Cahyono, 2013; Astuti,D.H, et al., 2018; Herliati et al., 2019; Putra, A.E., et al., 2016; Ratnani & Widiyanto, 2018; Syamsudin et al., 2016; Wibowo, 2016; Yusrizal dan Idris, 2016). Pada saat pemanasan material padat akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi gas (Herliati et al., 2019; Nurnasari dan Subiyakto, 2019; Ridhuan et al., 2019).

Proses ini melepas 3 jenis produk, yaitu cair (Bio-oil), padat (arang), dan gas (Cahyono, 2013, Fachrizal, N, et al, 2012; Kasim, F, et al, 2015; Putra, A.E, et al., 2016; Ridhuan et al., 2019; Syamsudin et al., 2016). Jenis gas yang terbentuk dari proses pyrolysis bervariasi yaitu CO, CO_2, H_2, H_2O, dan CH_4 (Cahyono, 2013; Kasim, F, et al, 2015; Chen et al., 2016; B. Liu et al., 2013; Ratnani & Widiyanto, 2018; Syamsudin et al., 2016). Hasil dari pyrolysis memiliki kandungan yang berbeda-beda, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain suhu (Astuti, D.H., et al, 2018; Kasim, F, et al, 2015; Herliati et al., 2019; Mufandi et al., 2019; Fachrizal, N, et al, 2012; Qiram et al., 2015), jenis bahan (Kasim, F, et al, 2015; Astuti, D.H., et al, 2018), jenis reaktor (Herliati et al., 2019), waktu (Astuti D.H,et al, 2018; Herliati et al., 2019;. Fachrizal, N. et al, 2012) dan jenis pyrolysis (Kasim, F, et al, 2015.

Pyrolysis adalah kasus khusus dari thermolysis terkait dengan proses kimia charring dan yang paling sering digunakan yaitu bahan organik. Proses pyrolysis dikategorikan menjadi 4 tipe yaitu pyrolysis lambat atau *slow pyrolysis* (Cahyono, 2013; Astuti,D.H, et al. 2018; Kasim, F, et al, 2015; B. Liu et al., 2013; Mufandi et al., 2019; Syamsudin et al., 2016; Wibowo, 2016; Wibowo dan Hendra, 2015), pyrolysis cepat atau *fast pyrolysis* (Cahyono, 2013; Chumsawat dan Tippayawong, 2020; Astuti, D.H, et al, 2018; B. Liu et al., 2013; Mufandi et al., 2019; Fachrizal, N, et al, 2012; Syamsudin et al., 2016; Wibowo, 2016; Wibowo & Hendra, 2015), pyrolysis Kilat atau *flash pyrolysis* (Fachrizal,N, et al, 2012; Wibowo, 2016; Kasim, F, et al, 2015), pyrolysis katalitik biomassa (Akalina dan Karagöz, 2011; Kim et al., 2020; Ridhuan et al., 2019).

Secara umum metode yang sering digunakan dalam proses dekomposisi biomassa adalah metode slow dan fast pyrolysis, yang menjadi perbedaan diantara keduanya adalah temperature, waktu alir, dan produk yang dihasilkan. Slow pyrolysis memiliki tingkat pemanasan lambat dari 0,1-1°C/detik (Kasim, F, et al, 2015), ada juga yang menyebutkan 5-7 K/menit (Ridhuan et al., 2019). Metode pyrolysis ini menghasilkan sedikit bio-oil dan lebih banyak arang dan gas (Ridhuan et al., 2019; Wijayanti & Sasongko, 2012). Pyrolysis cepat dicapai melalui pemanasan cepat antara 10 sampai 1000°C/detik (Ridhuan et al., 2019; Wijayanti & Sasongko, 2012), waktu tinggal pendek yaitu kurang dari 2 detik (Kasim, F, et al, 2015.; Ridhuan et al., 2019), suhu 400-650 ° C, dan dengan pendinginan yang cepat dari uap (Dickerson, 2013). pendinginan yang cepat sangat penting untuk memperoleh produk dengan berat molekul tinggi sebelum akhirnya terkonversi menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Dengan cara ini dapat dihasilkan produk bio-oil 70 hingga 75 % dari berat awal biomassa (Ridhuan et al., 2019; Wijayanti dan Sasongko, 2012).

Bio-oil adalah cairan berwarna kehitaman hasil dari pyrolysis biomassa (Cahyono, 2013; Ridhuan et al., 2019; Wibowo dan Hendra, 2015)yang memiliki berat molekul tinggi dan mudah menguap pada suhu pyrolysis dan terkondensasi pada suhu ruang (Syamsudin et al., 2016). Kandungan dari bio-oil sendiri bervariasi tergantung dari kandungan biomassa(Astuti, D.H., 2018; Kasim, F, et al, 2015; Herliati et

al., 2019) dan suhu pyrolysis(Chen et al., 2016; F Kasim, F, et al, 2015; Nurnasari & Subiyakto, 2019). Adapun secara umum bio-oil dari biomassa yang komposisi utamanya adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin mengandung senyawa turunan dari fenol, senyawateroksigenasi tinggi (Putra, A.E, et al, 2016; Syamsudin et al., 2016), hidroksialdehida, hidroksiketon, asam karboksilat, senyawa yang mengandung cincin furan/pyran, gula-gula anhidro, senyawa fenolik dan fragmen oligomer dari polimer lignoselulosa (Kasim, F, et al, 2015.; Wibowo & Hendra, 2015).

Adapun kandungan bio-oil dari limbah tembakau sangat bervariasi bergantung dari kandungan, suhu dan motode pyrolysis, dari data Cardoso, et al (2013) dilaporkan bahwa pada pyrolysis daun tembakau murni (tanpa tambahan $ZnCl_2$ dan $MgCl_2$) pada suhu 400^oC senyawa utama yang dihasilkan adalah nikotin, sedangkan senyawa lain yang terdeteksi antara lain heksadekana, dodekana, tridekana, 3,3-dimetilbutana-2-ol dan limonene, sedangkan pada suhu 500^oC dihasilkan senyawa nikotin, asam asetat, heksadekana, senyawa-senyawa hidrokarbon seperti keton, alkohol, aldehid dan senyawa aromatic turunan nikotin antara lain pyrol dan piridin (Cardoso, et al., 2011; Nurnasari dan Subiyakto, 2019)

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, diketahui kandungan bio-oil bergantung pada jenis kandungan biomassa (Mukhtar, P, et al, 2016; Syamsudin et al., 2016). Adapun pengaruh metode pengoperasian pyrolysis dengan cara *fast pyrolysis* dan *slow pyrolysis* berdasarkan penelitian dari Pütün et al. (2007) dan Bridgwater et al. (2007) dijabarkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Fast Pyrolysis dan Slow Pyrolysis

Komponen (%)	Tembakau		Tumbuhan Mallee			
	Fast pyrolysis	Slow pyrolysis	Fast pyrolysis 500 ^oC	Slow pyrolisis 420^oC	Slow pyrolysis 500 ^oC	Slow pyrolysis 600 ^0C
Karbon	66.02	64.94	43,9	28,13	28,00	27,39
Hydrogen	8.50	7.92	7,4	9,38	9,38	9,55
Nitrogen	3.02	2.28	0,07	0,03	-	-
Oksigen	27.76	25.32	48,6	62,5	62,7	63,1
Rasio H/C	1.53	1.47	-	-	-	-
HHV	29,59	28,83	14,4	6,8	6,4	7,1
Referensi	(Pütün et al., 2007)		(Bridgwater et al., 2007)			

Dari data Tabel 2 menunjukkan bahwa pengolahan tembakau menjadi *bio-oil* menggunakan metode *fast pyrolysis* memiliki hasil yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan metode *slow pyrolysis*. Faktor yang mempengaruhi perbedaan hasil produk keduanya disebabkan oleh tingkat pemanasan, temperature, dan waktu alir. Hal ini menunjukkan bahwa konversi limbah tembakau menggunakan metode *fast pyrolysis* adalah yang paling mendekati standar atau memenuhi syarat untuk dijadikan bahan bakar pengganti petroleum. Spesifikasi standart bio oil yang dapat digunakan untuk bahan bakar dijabarkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi *Bio-oil* untuk bahan bakar

Properties	**Spesifikasi**	**Keterangan**
HHV	>70.000 BTU/Gal	Metode DINS 51900
Kandungan air	<25%	ASTM D1744
Viskositas	10-150 cP @ 50°C	ASTM D445
Spesifik gravity	1,2 @ 15 ^{o}C	ASTM D4052
Elemental analisis:	**Range**	**Average**
Karbon	51,5-58,3	54,5
Hydrogen	5,5-6,8	6,4
Nitrogen	0,07-0,40	0,2
Sulfur	< 0,07	0,0005
Debu	0,13-0,21	0,16

Sumber : Dynamotive (2006)

Pyrolysis Tembakau

Reaktor merupakan jantung dari setiap proses pyrolysis. Teknologi reaktor *fast-pyrolysis* diantaranya *fixed-bed* reaktor (Akalina & Karagöz, 2011), *fluidized bed* (Thu et al., 2020, Raymundo et al., 2020), *fluidized bed pilot plants* (Treedet & Suntivarakorn, 2018), reaktor *auger*(Kapoor et al., 2017), *ablative* reaktor (Khuenkaeo & Tippayawong, 2018). Kebanyakan reaktor pyrolysis, bahan baku biomassa perlu diproses menjadi ukuran kecil sekitar 2 mm (Khuenkaeo & Tippayawong, 2018). Pyrolysis *fluidized bed reactor* lebih komplek daripada *fixed bed reactor* (Hassan et al., 2015). Tabel 4 berikut menyajikan data hasil *fast pyrolysis* tembakau.

Hasil data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa hasil *fast-pyrolysis* dari setiap percobaan berbeda-beda tergantung pada perilaku yang diterapkan, pemilihan reaktor serta penggunaan

suhu mempengaruhi hasil fast-pyrolysis yang dilakukan. Dalam Tabel 4 diketahui bahwa berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan penggunaan bahan batang tembakau dengan menggunakan reaktor *fluidized bed reactor* dan suhu 400ºC menghasilkan bio-oil 67% wt dimana bio-oil yang dihasilkan lebih tinggi dari pada penelitian-penelitian lainnya, sehingga dapat digunakan dalam acuan produksi bio-oil dari limbah tembakau (Yan, et al., 2018). Penelitian Xia, et al, 2020 yang juga menggunakan fluidized bed reactor dengan feed stock batang tembakau menghasilkan persentase bio oil yang lebih rendah.

Tabel 4. Hasil Konversi Tembakau Menggunakan Metode *Fast Pyrolysis*

Feed stock	**Suhu ºC %wt**	**Reaktor**	**Bio-oil %wt**	**Bio-char %wt**	**Gas % wt**	**Referensi**
Batang tembakau	400	*Fixed-bed reactor*	48,86	39,74	11,40	(Akalina & Karagöz, 2011)
Limbah tembakaku	500	*Fixed-bed reactor*	35,10	43,90	21,00	(Akalina & Karagöz, 2011)
Tembakau	450	*fixed-bed reactor*	43,00	-	-	Chen et al., 2016)
Benih tembakau	700	*fixed bed reactor (quartz)*	40,90	-	-	Onorevoli et al., 2017)
Batang tembakau	400	*fluidized bed reactor*	67,47	-	-	(Yan et al., 2018)
Daun tembaakau	400	*fluidized bed reactor*	60,95	-	-	(Yan et al., 2018)
Tembakau	600	*Ablative vacuum reactor*	54	18-24		(Chumsawat & Tippayawo
Daun tembakau	450	*fluidized bed reactor*	57,57	-	-	(Xia et al., 2020)
Batang tembakaku	400	*fluidized bed reactor*	64,14	-	-	(Xia et al., 2020)

Pada feedstock yang sama yaitu batang tembakau dan suhu yang sama 400 ^{0}C penggunaan reaktor *fluidized bed reactor* pada penelitian (Xia, et al., 2020) menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan reaktor *Fixed-bed* pada penelitian *(*Akalina & Karagöz, 2011). Penggunaan temperatur yang lebih tinggi yaitu 450 ^{0}C dengan feedstock daun tembakau menghasilkan

persen berat bio oil yang cukup tinggoi yaitu 64% (Xia, et al., 2020).

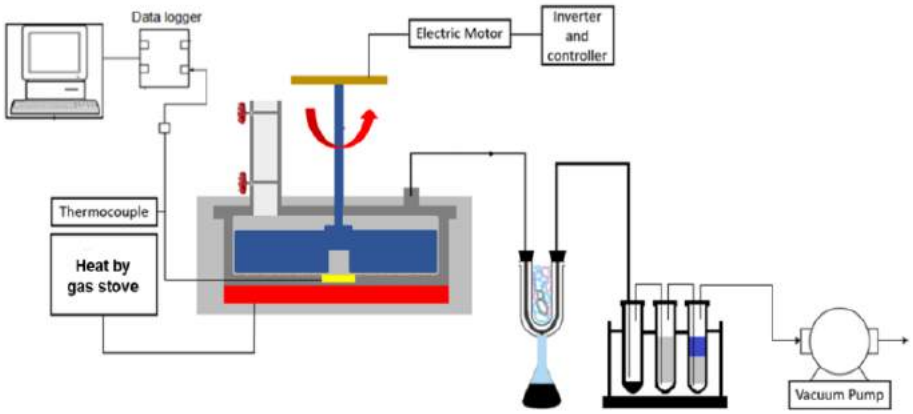
Beberapa contoh skema teknologi *fast-pyrolysis* yang digunakan dalam pembuatan bio-oil limbah tembakau pada penelitian yang telah dilakukan disajikan pada Gambar 1, 2 dan 3.

Reaktor *ablative pyrolisis* seperti pada Gambar 1 didesain untuk mengoptimalkan kinerja pirolisis dan untuk menghasilkan hasil yang tinggi dari minyak nabati. Setiap Jenis reaktor memiliki karakteristik khusus, kapasitas menghasilkan minyak nabati, kelebihan dan keterbatasan. Reactor *ablative pyrolysis* ini dilakukan pada suhu 450-600 ° C dalam skala laboratorium, dipanaskan secara eksternal, reaktor vakum ablatif, ditunjukkan pada Gambar 1. Pirolisis ablatif menawarkan kontrol yang baik pada uap yang dihasilkan dan mampu digunakan untuk biomassa berukuran lebih besar (Khuenkaeo dan Tippayawong, 2018).

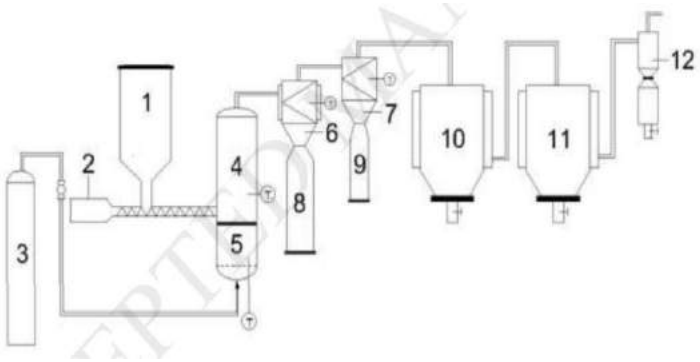
Reaktor jenis lain yaitu reactor fluidized bed sepetti ditunjukkan pada Gambar 2. Yan et al. (2018) dalam penelitiannya menggunakan reactor fluidized bed reactor, dimana biomassa daun tembakau dan batang tembakau dimasukkan dalam reaktor sebanyak 2 kg/jam di bawah suasana nitrogen inert dengan waktu tinggal dalam reaktor sekitar 3-4 detik. Sekitar 50 g *feedstock* dimasukkan ke dalam reaktor *ablative pyrolysis* menggunakan katup umpan yang dipasang di puncak. Reaktor berbentuk panci (diameter dalam 25 cm dan tinggi 4 cm) dipanaskan dengan kompor gas dengan suhu pelat bawah sebesar 50 derajat dikontrol dengan pengontrol dan termokopel tipe-K diukur.

Fast pyrolysis menggunakan *fluidized bed* reactor menggunakan gas nitrogen yang dipanaskan sebelumnya oleh pemanas awal dan laju aliran dikontrol alirannya sebesar 2,8 m^3/jam. Biochar dipisahkan dari produk pirolisis melalui tahapan-tahapan pemisah dua siklon, kemudian gas yang dapat dikondensasikan dan gas yang tidak dapat dikondensasi melewati tiga kondensor, yaitu kondensor dinding, kondensor koil, dan penghancur siklon. Kondensor pertama dan kedua didinginkan dengan air. Biochar, bio-oil, dan non-condensable gas hasil pirolisis dikumpulkan dan diambil sampelnya masing-masing (Yan, et al, 2018).

Pada reactor jenis *fixed bed*, perapian reaktor terbuat dari tabung kuarsa dan itu dipanaskan secara eksternal oleh tungku cincin listrik, yang ditutupi dengan lapisan isolasi di luar. Panjang efektif reaktor adalah 1200 mm dengan diameter dalam 60 mm. Tabung kuarsa dibagi menjadi zona pemanasan dan normal zona suhu 1 dan 2 di sepanjang arah aksial, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Tungku dipanaskan dengan kecepatan 10 ° C / menit sampai suhu akhir yang diinginkan dan dijaga agar tetap konstan. Tipe Termokopel K digunakan untuk mengukur profil suhu di zona pemanas perapian. Filter secara seri digunakan sebagai unit penghilang debu untuk pembersihan bahan bakar gas. Sebuah kondensor seri digunakan sebagai unit pendingin untuk pendinginan bahan bakar gas dan penangkapan tar. Bahan bakar gas dari reaktor memasuki unit pembersihan debu dan unit pendingin secara berurutan (Y. Yang et al., 2019).



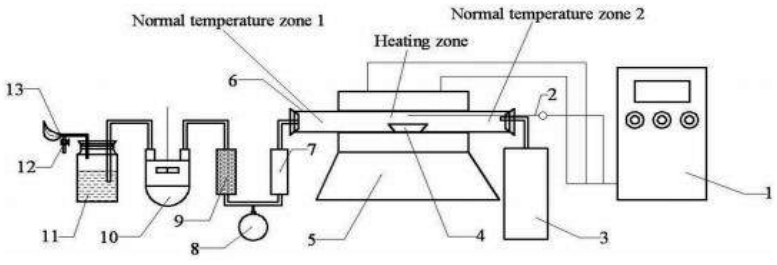
Gambar 1. Diagram Skema *Ablative Pyrolysis* (Chumsawat & Tippayawong, 2020).



Gambar 2. Diagram Skema *Fluidized Bed Pyrolysis*

1: Feeder; 2: feed auger; 3: nitrogen; 4: fluidized bed; 5: preheater; 6, 7: cyclone separators; 8, 9: hoppers;10, 11: condensers; 12: cyclone demisters; T: thermocouples

(Yan et al., 2018).



Gambar 3. Diagram Skema *Fixed-Bed Pyrolysis*

. (1) Temperature controller; (2) thermocouple; (3) nitrogen gas tank; (4) porcelain boat; (5) electric furnace; (6) quartz tube reactor; (7) condenser; (8) tar collector; (9) filter; (10) flowmeter; (11) water-sealed bottle; (12) to gas collector bag; (13) exhaust gas burner
(Y. Yang et al., 2019)

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dapat disimpulkan bio-oil dari limbah tembakau menggunakan metode fast pyrolysis memiliki nilai karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, dan senyawa organik lain serta rasio H/C lebih besar dari pada hasil bio-oil limbah tembakau menggunakan metode low pyrolysis. Dimana bio-oil limbah tembakau menggunakan metode fast pyrolysis memiliki nilai kalor yang tinggi setara dengan distribusi hidrokarbon dari biodiesel, yang berarti memiliki potensi sebagai energi alternatif pengganti petroleum. Potensi sebagai bahan bakar pengganti petroleum juga harus dimbangi dengan produksi yang cepat dan efisien, produksi bio-oil dapat dimaksimalkan dengan pemillihan reactor dan suhu optimum yang digunakan.

Daftar Pustaka

Akalina, M. K., & Karagöz, S. (2011). Pyrolysis of tobacco residue. Part 2: Catalytic. *BioResources*, *6*(2), 1773–1805. https://doi.org/10.15376/biores.6.2.1773-1805

Astuti, D.S, Sani, Yuandana, Y.G, Karlin. (2018). Pyrolysis Study Biochar ' S Characteristic From Tobacco Stem , Papaya Stem and Rice Straw With Pyrolysis Process. *Jurnal Teknik Kimia*, *12*(2), 41–46

B. A. Bohm, "The Minor Flavonoids," in *The Flavonoids: Advances in Research*, J. B. Harborne and T. J. Mabry, Eds. London: Chapman & Hall, 1994.

Barla, F. G., & Kumar, S. (2019). Tobacco biomass as a source of advanced biofuels. *Biofuels*, *10*(3), 335–346. https://doi.org/10.1080/17597269.2016.1242684

Booker, C. J., Bedmutha, R., Scott, I. M., Conn, K., Berruti, F., Briens, C., & Yeung, K. K. C. (2010). Bioenergy II: Characterization of the pesticide properties of tobacco bio-oil. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, *8*. https://doi.org/10.2202/1542-6580.1939

Bridgwater, A. V., Carson, P., & Coulson, M. (2007). A comparison of fast and slow pyrolysis liquids from mallee. *International Journal of Global Energy Issues*, *27*(2), 204–216. https://doi.org/10.1504/IJGEI.2007.013655

Cahyono, M. S. (2013). Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pyrolysis Sampah Organik menjadi Bio-Oil sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Sains &Teknologi Lingkungan*, *5*(2), 67–76. https://doi.org/10.20885/jstl.vol5.iss2.art1

Cardoso, C. R., Miranda, M. R., Santos, K. G., & Ataíde, C. H. (2011). Determination of kinetic parameters and analytical pyrolysis of tobacco waste and sorghum bagasse. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *92*(2), 392–400. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.07.013

Chen, H., Lin, G., Chen, Y., Chen, W., & Yang, H. (2016). Biomass Pyrolytic Polygeneration of Tobacco Waste: Product Characteristics and Nitrogen Transformation. *Energy and Fuels*, *30*(3), 1579–1588. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b02255

Chumsawat, L., & Tippayawong, N. (2020). Utilizing tobacco residues to generate bio-

oil and biochar via ablative pyrolysis. *Chemical Engineering Transactions*, *78*, 49–54. https://doi.org/10.3303/CET2078009

Hassan, M. M., Perves, M., Alam, M. J., Roy, A., & Nabi, M. N. (2015). Design & Construction of a Pyrolysis Reactor for Liquid Oil Production from Olive Seeds. *Proceedings of the International Conference on Mechanical, Industrial and Materials Engineering 2015 (ICMIME2015), December*.

Herliati, H., Prasetyo, S. B., & Verinaldy, Y. (2019). Review: Potensi limbah Plastik dan Biomassa sebagai Sumber Energi Terbarukan Dengan Proses Pyrolysis. *Jurnal Teknologi*, *6*(2), 85–98. https://doi.org/10.31479/jtek.v6i2.13

Kapoor, L., Mekala, A., & Bose, D. (2017). Auger reactor for biomass fast pyrolysis: Design and operation. *International Conference on 21st Century Energy Needs - Materials, Systems and Applications, ICTFCEN 2016*. https://doi.org/10.1109/ICTFCEN.2016.8052749

Kasim, F; Fitrah, A.N; Hambali, E. (2016), Aplikasi Asap Cair pada Lateks. *Jurnal PASTI*, [S.l.], vol. 9, no. 1, April. 2016. ISSN 2598-4853

Khuenkaeo, N., & Tippayawong, N. (2018). Bio-oil Production from Ablative Pyrolysis of Corncob Pellets in a Rotating Blade Reactor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *159*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/159/1/012037

Kim, Y., Shim, J., Choi, J. W., Jin Suh, D., Park, Y. K., Lee, U., Choi, J., & Ha, J. M. (2020). Continuous-flow production of petroleum-replacing fuels from highly viscous Kraft lignin pyrolysis oil using its hydrocracked oil as a solvent. *Energy Conversion and Management*, *213*(December 2019), 112728. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112728

K. T. Sutar and P. U. Singare, "Study of Antioxidant Activity of Hindered Phenols in Bulk Oil and Thin Film Oxidation Conditions in Lubricants," *Rasayan J. Chem*, vol. 11, no. 2, pp. 465-474, 2018.

Lin Yan. (2016) Agricultural Research Service U.S. Department Of Agriculture. [Online]. https://www.ars.usda.gov/plains-area/gfnd/gfhnrc/docs/new

Liu, B., Li, Y. M., Wu, S. Bin, Li, Y. H., Deng, S. S., & Xia, Z. L. (2013). Pyrolysis characteristic of tobacco stem studied by Py- GC/MS, TG-FTIR, and TG-MS. *BioResources*, *8*(1), 220–230. https://doi.org/10.15376/biores.8.1.220-230

Liu, Y., Dong, J., Liu, G., Yang, H., Liu, W., Wang, L., Kong, C., Zheng, D., Yang, J., Deng, L., & Wang, S. (2015). Co-digestion of tobacco waste with different agricultural biomass feedstocks and the inhibition of tobacco viruses by anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, *189*, 210–216. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.003

Mufandi, I., Treedet, W., Singbua, P., & Suntivarakorn, R. (2019). Produksi Bio-Oil dari Rumput Gajah dengan Fast Pyrolysis menggunakan Circulating Fluidized Bed Reactor (CFBr) dengan Kapasitas 45 Kg/H. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, *5*(2), 37. https://doi.org/10.26555/chemica.v5i2.12484

N. Fachrizal, R. Mustafa, M. P. (2012). *Proses Pyrolysis Biomasa Gelombang Mikro*. 153–160.

Nurnasari, E., & Subiyakto, S. (2019). Diversifikasi Produk Tembakau Non Rokok Diversification of Non-Cigarette Tobacco Products. *Perspektif*, *17*(1), 40. https://doi.org/10.21082/psp.v17n1.2018.40-51

Onorevoli, B., da Silva Maciel, G. P., Machado, M. E., Corbelini, V., Caramão, E. B., & Jacques, R. A. (2018). Characterization of feedstock and biochar from energetic tobacco seed waste pyrolysis and potential application of biochar as an adsorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *6*(1), 1279–1287. https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.039

Onorevoli, B., Machado, M. E., Polidoro, A. D. S., Corbelini, V. A., Caramão, E. B., & Jacques, R. A. (2017). Pyrolysis of Residual Tobacco Seeds: Characterization of Nitrogen Compounds in Bio-oil Using Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography with Mass Spectrometry Detection. *Energy and Fuels*, *31*(9), 9402–9407. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b00405

Putra, A. E., Rahman, M., & Aminy, A. (2018). Produksi Bahan Bakar Ramah Lingkungan Melalui Proses Pirolisis Limbah Ban. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, *20*(2), pp. 26-31. 1. http://cot.unhas.ac.id/journals/index.php/jpe/article/view/17Pütün, A. E., Önal, E., Uzun, B. B., & Özbay, N. (2007). Comparison between the "slow" and "fast" pyrolysis of tobacco residue. *Industrial Crops and Products*, *26*(3), 307–314. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.03.011

Qiram, I., Widhiyanuriyawan, D., & Wijayanti, W. (2015). Energi Yang Dihasilkan Pyrolysis Serbuk Kayu Mahoni (Switenia Macrophylla) Pada Rotary Kiln. Jl . MT . Haryono 167 , Malang 65145 , Indonesia ABSTRACT Pirolysis is thermochemical decomposition process of biomass into useful product . A method that ca. 8.

Syamsudin, S., Purwati, S., Surachman, A., & Wattimena, R. B. I. (2016). Pyrolysis Isotermal Sludge Cake Dan Pulp Reject Pabrik Pulp Kraft (*Isothermal Pyrolysis Of Sludge Cake And Pulp Reject From Kraft Pulp Mill*). *Jurnal Selulosa*, *6*(02), 71–82. https://doi.org/10.25269/jsel.v6i02.90

Thu, K., Reungpeerakul, T., & Sangwichien, C. (2020). Simulation of Reaction Kinetics and Heat Transfer Effects on Product Yields from Fast Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunch Biomass in Fluidized Bed Reactor. *Bioenergy Research*. https://doi.org/10.1007/s12155-020-10148-1

Treedet, W., & Suntivarakorn, R. (2018). Design and operation of a low cost bio-oil fast pyrolysis from sugarcane bagasse on circulating fluidized bed reactor in a pilot plant. *Fuel Processing Technology*, *179*(October), 17–31. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.06.006

Wibowo, S. (2016). Karakteristik Bio-Oil Dari Limbah Industri Hasil Hutan Menggunakan Pyrolysis Cepat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, *34*(1), 61–67. https://doi.org/10.20886/jphh.2016.34.1.61-76

Wibowo, S. (2020). *Karakte Ristik Bio-Oil Dari Limbah Industri Hasil Hutan Me Nggunakan Pyrolysis Ce Pat (Characteristics of Bio-oil Made of Forest Products Waste by Fast Pyrolysis*. *34*(1),

Rahman, A. (n.d.). *Uji Parameter Temperatur Dan Tekanan Vakum*. 1–5.

Ratnani, R. D., & Widiyanto. (2018). A Review of Pyrolisis of Eceng Gondok (Water hyacinth) for Liquid Smoke. *E3S Web of Conferences*, *73*, 2–6. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187305010

Raymundo, L. M., Espindola, J. S., Borges, F. C., Lazzari, E., Trierweiler, J. O., & Trierweiler, L. F. (2020). Continuous fast pyrolysis of rice husk in a fluidized bed reactor with high feed rates. *Chemical Engineering Communications*, *0*(0), 1–11. https://doi.org/10.1080/00986445.2020.1798937

Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pyrolysis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, *8*(1), 69–78. https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.924

Robinson T., *The Organic Constituents of Higher Plants 6th Ed*. North Amherst, MA: Cordus Press, 2010.

Siti Mariam Abdul Lathiff, Noraini Jemaon, Siti Awanis Abdullah, and Shajarahtunnur Jamil, "Flavonoids from Artocarpus anisophyllus and their Bioactivities," *Natural Product Communications*, vol. 10, no. 3, pp. 393-396, 2015.

61–76.

Wibowo, S., & Hendra, D. (2015). Karakteristik Bio-Oil Dari Rumput Gelagah (Saccharum spontaneum Linn.) Menggunakan Proses Pyrolysis Cepat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, *33*(4), 347–363. ttps://doi.org/10.20886/jphh.v33i4.935.347-363

Wijayanti, W., & Sasongko, M. (2012). Reduksi Volume Dan Pengarangan Kotoran Sapi Dengan Metode Pyrolysis. *Rekayasa Mesin*, *3*(3), 4040–4410.

Wu, W., Mei, Y., Zhang, L., Liu, R., & Cai, J. (2015). Kinetics and reaction chemistry of pyrolysis and combustion of tobacco waste. *Fuel*, *156*, 71–80. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.04.016

Xia, Q., Yan, B., Wang, H., Xu, J., Zhang, S., Zhou, G., Hu, A., Jiang, J., Xu, S., Wang, J., & Chen, W. (2020). Production of bio-oils enriched with aroma compounds from tobacco waste fast pyrolysis in a fluidized bed reactor. *Biomass Conversion and Biorefinery*. https://doi.org/10.1007/s13399-019-00578-z

Yan, B., Zhang, S., Chen, W., & Cai, Q. (2018). Pyrolysis of tobacco wastes for bio-oil with aroma compounds. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 248–254. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.09.016

Yang, Y., Chen, X., Wang, D., Cheng, G., & Lv, D. (2019). TGA analysis of tobacco rob pyrolysis and release characteristics of noncondensable gas in a fixed-bed reactor. *International Journal of Green Energy*, *16*(5), 378–385. https://doi.org/10.1080/15435075.2019.1572608

Yang, Z., Zhang, S., Liu, L., Li, X., Chen, H., Yang, H., & Wang, X. (2012). Combustion behaviours of tobacco stem in a thermogravimetric analyser and a pilot-scale fluidized bed reactor. *Bioresource Technology*, *110*, 595–602. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.119

Yıldız, Z., & Ceylan, S. (2019). Pyrolysis of tobacco factory waste biomass. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *2019*(136), 783–794. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10973-018-7630-z

Yusrizal, & Idris, M. (2016). Memproduksi Bahan Bakar Gas. *Jurnal Inotera*, *1*(1), 57–63.

ISSN: 1410-2331

SUMBER DAYA WIRELESS UNTUK MENGHASILKAN ENERGI LISTRIK TERBARUKAN

Rahmad Hidayat
Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala
Jalan Soekarno Hatta 597, Bandung 40286
E-mail: rhidayat4000@gmail.com

Abstrak -- *Industri daya dan energi tidak terlepas dari peran penting gelombang elektromagnetik. Tulisan ini memberikan kajian metode pembangkitan daya listrik melalui sistem transmisi wireless. Perhatian utamanya ada pada empat metode karena kepraktisannya yaitu induksi elektromagnetik, kopling resonansi, laser dan penerimaan sinyal frekuensi radio. Metode yang ada dibandingkan satu sama lain dalam beberapa aspek teknis. Tujuan penelitian ini adalah untuk memilah beberapa desain sesuai metoda pembangkitan daya listriknya masing-masing, dan hasil penelitian ini berupa usulan metode yang paling menjanjikan untuk memanen energi listrik secara wireless dengan tingkat efisiensi yang baik yaitu dengan menggunakan rectenna sebagai bagian utama suatu sistem Wireless Power Transmission (WPT).*

Kata Kunci: *daya, energi, gelombang elektromagnetik, frekuensi radio, WPT*

Abstract -- *Power and energy industrial cannot be separated from the important role of electromagnetic waves. This paper provides a review of methods of power generation through wireless transmission systems. Their main concerns on practicality are four methods i.e. electromagnetic induction, resonance coupling, laser and radio frequency signal reception. Existing methods compared to each other in some technical aspects. The purpose of this study is to sort out some of the design according to the each method of generating electrical power and the results of this study is a proposal of the most promising method for harvesting electrical energy wirelessly with a good level of efficiency. Here, it used rectenna as the main part in a wireless power transmission system (WPT).*

Keywords: *power, energy, electromagnetic wave, radio frequency, WPT*

PENDAHULUAN

Permasalahan energi nasional jangka pendek yang menjadi perhatian utama saat ini adalah bagaimana menyiapkan sumber energi selain bahan bakar minyak untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan industri nasional. Kemudian bagaimana menemukan sumberdaya energi yang secara alamiah tidak akan habis dan dapat berkelanjutan jika dikelola dengan baik, merupakan isu penting dalam masalah energi ini. Terkait hal di atas, maka menjadi sesuatu yang menarik bagi penulis untuk mengkaji sistem transmisi wireless yang tersedia melimpah sebagai salah satu potensi sumber daya energi dimaksud dalam perannya membangkitkan sumber energi listrik terbarukan (Budiyanto, 2014). Diharapkan dengan kajian ini akan lebih mendorong penelitian mendalam dalam sistem transmisi daya wireless guna menyumbangkan pemikiran, analisis, purwarupa ataupun teori baru yang dapat menjadi solusi dalam pembangkitan energi listrik terbarukan.

Terdapat beberapa cara dalam proses transmisi energi listrik secara wireless, yaitu dengan induksi elektromagnetik, penerimaan sinyal frekuensi radio, resonansi dan sistem laser (Shinohara, 2010). Hipotesisnya adalah bahwa jenis metode transmisi dan parameter teknis yang dipilih berpengaruh langsung dan signifikan terhadap efisiensi sistem WPT yang dihasilkan.

METODE

Pada bagian ini dilakukan pemaparan dan uraian teknis sistem Wireless Power Transfer/WPT melalui kopling induksi elektromagnetik, kopling resonansi, sistem laser dan penerimaan sinyal frekuensi radio (Radio Frequency/RF). Setelah itu dari keempat metoda tersebut dilakukan komparasi dan analisis berbagai aspek teknis terkait. Data sebagian diperoleh dari sumber pustaka penelitian terkait dengan variabel utama berupa efisiensi daya yang sampai pada beban (*load*) serta beberapa variabel elektrik lain terkait sinyal RF seperti penguatan (*gain*) dan bandwidth antena, jarak jangkau dan frekeunsi kerja yang akan dapat dilihat pada tabel-tabel yang ada kemudian sebagai instrumen komparasi.

Induksi Elektromagnetik

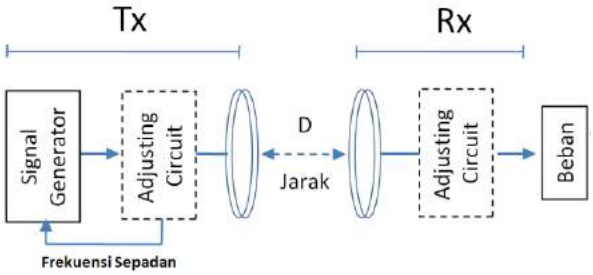
Pada transmisi listrik dengan induksi elektromagnetik , adanya arus listrik ke salah satu kumparan yang berdekatan menginduksi kekuatan listrik dalam kumparan lain dengan fluks magnetik sebagai medium. Sementara dalam transmisi daya wireless melalui penerimaan frekuensi radio, energi gelombang radio yang dikirim dan diterima menggunakan antena dan bentuk gelombang bolak-balik dari frekuensi radio diubah menjadi bentuk gelombang arus searah/DC (Direct Current) dengan menggunakan rangkaian penyearah (*rectifier*), dalam hal ini di sini tanpa menggunakan amplifier.

Kopling Resonansi

Masalah pada teknik transmisi daya wireless ini adalah bahwa hasil dari teknik ini yang sangat terbatas, medan magnet kecil yang mampu hanya pada jarak pendek. Untuk membuatnya lebih efisien pada jarak jauh, maka harus diambil pertimbangan cara kopling resonansi. Resonansi tercapai antara dua kumparan ketika medan elektromagnetik di sekitar keduanya berosilasi pada frekuensi yang sama. Hal ini dilakukan dengan menggunakan koil melengkung sebagai induktor, yang digabungkan dengan pelat kapasitansi.

Selama dua kumparan beresonansi, transfer daya antara keduanya akan terus berlanjut. Ketika dua kumparan beresonansi pada frekuensi yang berbeda, tidak ada daya yang ditransfer antara keduanya.

Menurut Mohan (2013) prinsipnya adalah bahwa "Dua objek resonan dengan frekuensi resonansi yang sama cenderung untuk bertukar energi secara efisien, sedangkan untuk benda resonan asing lainnya interaksi berlangsung lemah ".



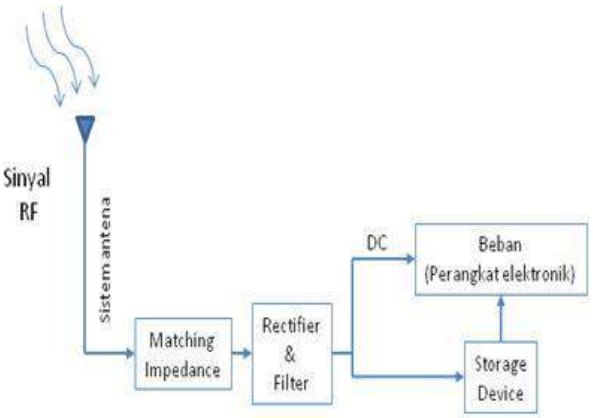
Gambar 1. Kopling Resonansi

Beam Laser

Konsep *beam* (arah) daya laser adalah transfer energi wireless berupa panas atau listrik dari satu lokasi ke lokasi lain dengan menggunakan sinar laser. Daya laser dapat ditransfer melalui udara atau ruang atau melalui serat optik sebagai sinyal komunikasi optik. Pada beam laser ini dilakukan transfer daya laser sehingga energi diterima pada bagian penerima dan mengubahnya menjadi energi listrik. *Beam* laser rentan bagi kesehatan dan juga perlu kondisi *line of sight* atau berhadapan langsung antara pemancar dan penerima, juga adanya redaman yang menyebabkan kehilangan energi akibat penyerapan di media. Kesemua itu menjadi kelemahan sistem ini. Seperti juga tenaga surya, di mana matahari menyinari sel photovoltaic yang mengubah sinar matahari tersebut menjadi energi, pada beam laser ini sel fotovoltaik mengubah sinar laser menjadi energi.

Penerimaan Frekuensi Radio

Sistem Transmisi Daya Wireless (Wireless Power Transmission/WPT) melalui penerimaan sinyal frekuensi radio merupakan sistem yang memanfaatkan sumber daya wireless berupa frekuensi radio yang ada di sekitar lingkungan yang bersumber dari berbagai pemancar gelombang radio yang ditangkap oleh antena penerima WPT.



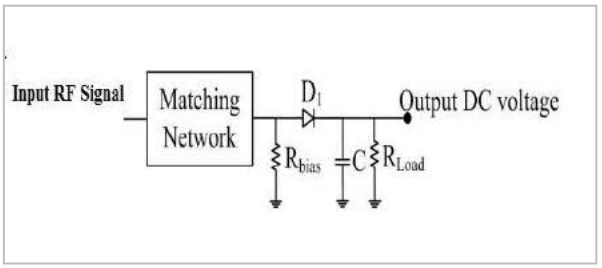
Gambar 2. Blok Sistem WPT

Pada sistem transmisi ini digunakan blok rectenna (rectifier antenna) yang terdiri dari sub bagian antena untuk menangkap sinyal frekuensi radio (RF) yang diinginkan dan sub bagian catu daya (*power supply*) guna proses penyearahan sekaligus penyaringan dan regulasi untuk menghasilkan output DC yang diinginkan. Matching impedance merupakan bagian internal sistem antena yang berfungsi untuk proses penyepadanan impedansi antara saluran transmisi dan penyearah (*rectifier*). Keluaran DC dapat langsung diberikan kepada beban atau juga disimpan ke suatu batere tertentu sebagai perangkat *storage*. Antena yang dapat digunakan untuk aplikasi WPT dapat dari berbagai jenis.

Rectenna

Rectenna adalah konsep kombinasi rangkaian penyearah dan antena. Nama rectenna pertama diperkenalkan oleh W.C. Brown dari Raytheon Company pada awal 1960-an. Padanya, sebuah low-pass filter akan meloloskan frekeunsi rendah yang diinginkan, kemudian setelah proses *matching* impedansi, bagian rectifier berupa dioda penyearah mengubah energi wireless yang diterima menjadi sinyal DC. Akhirnya sebuah filter memblokir harmonisa urutan tinggi yang dihasilkan oleh dioda untuk memperoleh efisiensi tinggi dari proses konversi energi tersebut. Efisiensi di sini merupakan parameter yang paling penting dari alat tersebut.

Sebuah rectenna sederhana dapat dibangun dari dioda Schottky ditempatkan di antara antena seperti Gambar 3. Dioda barrier Schottky (GaAs-W, Si dan GaAs) digunakan pada rangkaian penyearah karena memiliki waktu recovery mundur lebih cepat dan drop tegangan maju jauh lebih rendah dan memilii karakteristik RF yang baik. Dioda Schottky dengan tegangan ambang 230mV dan kapasitansi dioda dari 0.26pF dapat digunakan untuk rectifier. Sedang C berfungsi sebagai kapasitor pengisian. Pada frekuensi microwave, kapasitansi non linier dioda mengatur transfer daya maksimum untuk beban dan amplitudo keluaran rectifier sebagai impedansi masukan perubahan rectifier terhadap frekuensi.



Gambar 3. Dioda Schottky pada Rectenna (Sharma dan Singhal, 2015)

Antena yang digunakan dalam rectenna dapat dipraktekkan untuk loop, dipole ½λ, horn, Yagi-Uda atau mikrostrip. Untuk frekuensi ISM, antena slot juga dapat menjadi satu alternatif (Farizqi dan Alaydrus, 2014). Termasuk jenis mikrostrip, salah satu pertimbangan desainnya ada pada aspek pola radiasi (Hidayat, 2015). Antena patch dipole memiliki efisiensi tertinggi di antara semua. Namun penggunaannya dapat juga berupa antena parabola dan untuk tujuan bergerak (*mobile*) digunakan susunan antena bertingkat. Sebagian besar MPT (Microwave Power Transfer) menggunakan band 2,45 GHz atau 5,8 GHz yang dialokasikan oleh regulasi radio ITU-R. Pada sistem ini dibutuhkan antena diameter besar untuk menerima daya. Hal ini memiliki efisiensi lebih dari 90% sehingga efisien dalam pendekatan meski dengan konstruksi antena yang sulit didekati (Chaitanya dan Kumar, 2013).

Tabel 1. Kinerja Rectenna

Jenis Rectenna	Frekuensi kerja (GHz)	Efisiensi konversi puncak terukur (%)
Dipol cetak	2,45	85
Patch sirkular	2,45	81
Dual rhombik cetak	5,60	78
Patch segiempat	8,51	66

Bandwidth Rectenna

Terdapat dua kategori utama band kerja rectenna yaitu narrowband (band sempit) dan rectenna wideband (band luas). Telah banyak rectenna narrowband yang dikembangkan seperti rectenna patch dual-polarisasi pada 2,4 GHz dan rectenna 5,8 GHz dengan efisiensi konversi yang tinggi telah dirancang oleh McSpadden masing-masing pada tahun 1994 dan 1998. Namun, masih sangat sedikit rectenna wideband telah dikembangkan untuk menghasilkan energi dari wireless. Jenis wideband ini dapat mengumpulkan energi dari sistem operasi pada frekuensi yang berbeda untuk memaksimalkan daya output pada lokasi tertentu.

Efisiensi Rectenna

Efisiensi sistem rectenna pada dasarnya sama dengan fungsi transfer yang ada. Definisi umum dari efisiensi (η) digunakan disini sebagai rasio daya output *Pout* terhadap daya input *Pin*

$$\eta = Pout / Pin \quad (1)$$

Efisiensi (η) konversi seluruh sistem adalah daya DC di ujung penerima terhadap daya input AC yang ditangkap antena. Efisiensi ini sangat bergantung pada rapat daya *Pd* yang terdistribusi di bagian permukaan penerima. Rapat daya maksimum yang terjadi dapat dituliskan sebagai:

$$P_d = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \quad (2)$$

dimana *Pt* adalah daya kirim, *Gt* and *Gr* merupakan penguatan (gain) antena transmitter dan receiver antenna, dan R adalah jarak. Area permukaan efektif antena adalah *Aeff* adalah :

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi} \quad (3)$$

Sehingga daya yang diterima antena menjadi:

$$P_{in} = P_d . A_{eff} \quad (4)$$

Karena keluaran rectenna merupakan daya DC maka daya keluaran dapat diperoleh dari tegangan keluaran yang dihasilkan pada beban:

$$P_{out} = {V_{out}}^2, dc / R_{load} \quad (5)$$

Sehingga efisiensi rectenna diperoleh sebagai:

$$\eta = \left[\frac{{V_{out}}^2, dc}{R_{load}}\right] \frac{1}{P_d A_{eff}} \quad (6)$$

Efisiensi rectenna untuk berbagai dioda pada frekuensi yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 2. (Mohan, 2013)

Tabel 2. Efisiensi berbagai rectenna

Frekuensi (GHz)	Dioda schottky	Efisiensi (%)	
		Terukur	Terhitung
2,45	GaAs-W	92,5	90,5
5,80	Si	82,0	78,3
8,51	GaAs	62,5	66,2

Penyepadan Impedansi

Penyepadanan (matching) impedansi adalah teknik yang digunakan dalam sistem transfer daya dan sistem komunikasi untuk meningkatkan efisiensi sistem. Biasanya mencakup jaringan penyepadan berupa rangkaian LC untuk meminimalkan rasio reflect si daya ke sumber daya system (Gupta et al., 2012).



Gambar 4. Konsep penyepadan impedansi

Daya yang ditransfer ke beban mencapai maksimum ketika:
Zsumber = Z*beban, seperti pada Persamaan (8). Oleh karena itu, rangkaian dianggap sepadan (matching) dan efisiensi maksimum dicapai ketika impedansi beban (Z_{Load}) dari arah pandang sumber sepadan dengan impedansi sumber (Z_{Source}) dan sebaliknya.

$$P = I^2 Z = \frac{V^2}{Z_{source}} \left[\frac{1}{\frac{Z_{source}}{Z_{load}} + 2 + \frac{Z_{load}}{Z_{source}}}\right] \quad (7)$$

$$P_{max} = \frac{V^2}{4Z_{source}} \quad (8)$$

Pada Gambar 4 terlihat bahwa daya ditransfer ke beban seperti Persamaan (7) dengan impedansi sumber daya dinamakan sebagai Z_{Source} dan impedansi beban sebagai Z_{Load}.

Rangkaian Impedansi yang sepadan dapat dianggap sebagai jaringan dua port yang dapat digambarkan dengan Persamaan (9). Kondisi sepadan tercapai ketika parameter memenuhi Persamaan (10) dan (11).

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$Z_{source} = \sqrt{\frac{AB}{CD}} \quad (10)$$

$$Z_{load} = \sqrt{\frac{DB}{CA}} \quad (11)$$

Pada aplikasi ini penyepadanan impedansi (*matching impedance*) dapat menerapkan penyepadan ½λ untuk mendapatkan harga impedansi masukan penyearah sebesar 50 Ω. Dan untuk penyearah (*rectifier*) umumnya digunakan dioda Schotky.

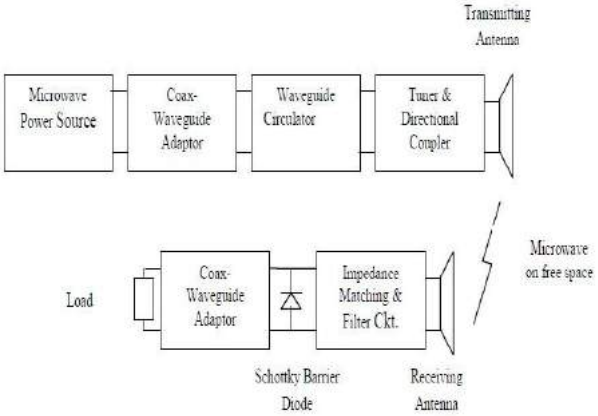
Transfer Daya Gelombang Mikro

Prinsip transfer daya gelombang mikro (Microwave Power Transfer/MPT) pertama diperkenalkan oleh William C. Brown, pelopor dalam teknologi transmisi daya wireless yang telah merancang, mengembangkan unit dan menunjukkan bagaimana daya dapat ditransfer melalui ruang bebas oleh microwave. Konsep sistem transmisi daya wireless dijelaskan dengan diagram blok fungsional yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pada sisi pengirim, sumber daya gelombang mikro menghasilkan daya mikrowave dan daya keluaran dikontrol oleh rangkaian kontrol elektronik.

Sirkulator waveguide ferit yang melindungi sumber gelombang mikro dari daya pantul tercermin terhubung dengan sumber daya microwave melalui adaptor coax-waveguide. Tuner menyepadankan impedansi antena pemancar dan sumber microwave. Sinyal yang diredam kemudian dipisahkan berdasarkan arah dari propagasi sinyal dengan suatu *directional coupler*. Antena pengirim memancarkan daya seragam melalui ruang bebas menuju rectenna tersebut.

Di sisi penerima, rectenna menerima daya yang ditransmisikan dan mengubah daya microwave menjadi sinyal DC. Rangkaian

penyepadan impedansi dan filter disediakan untuk mengatur agar impedansi keluaran dari sumber sinyal sama dengan rangkaian penyearah. Rangkaian penyearah berupa dioda barrier Schottky mengubah energi listrik microwave yang diterima menjadi sinyal DC (Mohammed et al., 2010).



Gambar 5. Konfigurasi MPT

Banyak sistem transmisi microwave yang menggunakan band ISM (Industrial, Scientific and Medicine) yaitu pada 2,45 GHz atau 5,8 GHz. Pilihan lain pada frekuensi 8,5 GHz, 10 GHz dan 35 GHz. Efisiensi tertinggi lebih dari 90% dicapai pada 2,45 GHz antara semua frekuensi tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan penggambaran beberapa desain rectenna seperti penyepadanan impedansi dan efisiensi konversi rectenna. Juga telah ditunjukkan bahwa rectenna dapat memanen energi wireless dengan efisien dalam kondisi tertentu dan memiliki potensi besar untuk menjadi pemasok listrik untuk beberapa aplikasi khusus. Berdasarkan studi yang ada di atas, komparasi tiga jenis metode transmisi WPT terlihat sebagaimana Tabel 3.

Tabel 3. Komparasi karakteristik WPT

	Gelombang radio	**Kopling resonansi**	**Kopling induktif**
Kuat medan	medan listrik	resonansi	medan magnetik
Metode	antena	resonator	koil
Efisiensi	rendah-tinggi	tinggi	tinggi
Jarak	pendek-panjang	sedang	pendek
Daya	rendah-tinggi	tinggi	tinggi
Keselamatan kerja	medan listrik	-	medan magnetik
Regulasi	gelombang radio	dalam diskusi	dalam diskusi

Untuk perolehan efisiensi rendah pada sistem transmisi daya wireless berjarak jauh, dapat diupayakan perbaikan efisiensi untuk menuju 100% melalui gelombang radio. Kemudian berdasarkan data teknis masing-masing sistem WPT yang diuraikan dalam tulisan ini, ada beberapa hal yang perlu digarisbawahi bahwa setidaknya terdapat beberapa keuntungan pemakaian rectenna yaitu adanya *lifetime* yang hampir tak terbatas dan tidak perlu diganti serta merupakan teknologi ramah lingkungan. Keuntungan lainnya adalah adanya kemampuan transfer daya listrik yang dihasilkan ke semua arah yang diinginkan. Faktor ini dite

ntukan oleh pengarahan (direktivitas) antena yang didesain. Kemudian juga aspek lain dari desain antena pada rectenna yang meliputi penguatan, pola radiasi, rentang frekuensi dan bandwidth antena serta rasio daya refleksi yang dihasilkan. Filter, *rectifier* dan *matching impedance* yang dipakai juga tidak terlepas dari perhatian perancangan.

KESIMPULAN

Pembahasan rinci pada efisiensi rectenna menunjukkan bahwa untuk mencapai efisiensi konversi energi yang tinggi, banyak parameter yang harus diperhitungkan yang meliputi jenis antena dan saluran transmisi yang dipilih, kesepadanan impedansi antena dan penyearah, karakteristik dioda Schottky serta filter lolos rendah yang dipilih.

Jenis dan desain antena pada rectenna juga merupakan satu faktor penting penentu performa efisiensi WPT yang terbentuk. Untuk keperluan sampai dengan jarak jauh maka WPT melalui gelombang radio adalah pilihan jenis mode transmisi yang paling baik dan lebih hemat untuk berbagai aplikasi dengan efisiensi tinggi.

Untuk pengembangan ke depan dapat dilakukan kajian lebih dalam pemanfaatan frekuensi radio tidak berbayar (ISM) untuk mendapatkan perolehan efisiensi setinggi mungkin dengan antena berpenguatan *(gain)* tinggi pada sistem microwave sehingga jarak jangkau semakin dapat ditingkatkan dalam pembangkitan sumber daya listrik terbarukan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Budiyanto, S. Penggunaan LTE sebagai Media Interoperabilitas Antar Generasi Komunikasi Nirkabel yang Berbeda. *SINERGI*. 2014; 18 (3): 180-185.

Chaitanya, T.K. dan Kumar, R.R. Power Transmission through Wireless Medium. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT).* 2013; 4 (5): 1334-

1336.

Farizqi, R., Alaydrus, Mudrik. Rancang Bangun Antena Slot Waveguide. *Jurnal Teknik Elektro* 2014; 5 (1): 1-8.

Gupta, D., Islam, M.S., Nuronnabi, K.M., Hossain, M.S. dan Hasan, M.Z. Design & Implementation of Cost Effective Wireless Power Transmission Model: Good Bye Wires. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2012; 2 (12): 1-9.

Hidayat, R. Model, Simulasi dan Analisis Pola Radiasi Susunan Uniform Antena Mikrostrip, *Jurnal Isu Teknologi,* STTM, Bandung. 2015; 9 (1): 3-11.

Mohammed, S.S. Ramasamy, K. dan Shanmuganantham, T. Wireless Power Transmission-A Next Generation Power Transmission System. *International Journal of Computer Applications (0975-8887).* 2010; 1 (13): 100-103.

Mohan, C., Raj, M.K. Wireless Power Transmission & Charging of Batteries in Multiple Electronic Accessories. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR).* 2013; 2 (1): 8-17.

Sharma, R. dan Singhal, P.K. Loop Antenna and Rectifier Design for RF Energy Harvesting at 900MHz. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).* 2015; 2 (4): 1214-1218.

Shinohara, N. Beam Efficiency of Wireless Power Transmission via Radio Waves from Short Range to Long Range. *Journal of The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*. 2010; 10 (4): 224-230.

Sumber Energi Terbarukan dan Pupuk Organik dari Limbah Kotoran Sapi

Abstract: In order to meet households energy needs, one of the groundbreaking efforts that needs to be done is to implement appropriate technology training in utilization of cow manure waste by recycling it into biogas and organic fertilizer. Animal husbandry in Bambankerep Sub-District of Ngaliyan, Semarang City, are sufficiently developed, however, the use of livestock manure has not been optimal, whereas livestock manure can be used as raw material to produce renewable energy in the form of biogas and organic fertilizer. Furthermore, Limited knowledge and skills of the people in Bambankerep sub-district in the utilization of cow manure waste by recycling it into biogas and organic fertilizer have become the main problem. Steps performed in Community service programs are as follow (1) Socialization of recycling livestock waste into a blessing; (2) training, (3) Monitoring and outreaching. The impact generated from this community service programs, among others are: (1) raising public awareness in the utilization of cow manure waste for biogas alternative energy, (2) increasing knowledge and skills of people in processing cow manure into energy and fertilizer, (3) growing number of business groups in cow manure organic fertilizer processing that are expected can improve the welfare of the people in Bambankerep sub-district, Mijen, Semarang City.

Abstrak: Dalam rangka pemenuhan keperluan energi rumah tangga, salah satu upaya terobosan yang perlu dilakukan adalah melaksanakan pelatihan teknologi tepat guna pemanfaatan limbah kotoran sapi menjadi biogas dan pupuk organik. Usaha peternakan di Kelurahan Bambankerep, Ngaliyan Semarang cukup berkembang, tapi pemanfaatan kotoran ternak selama ini belum optimal, padahal kotoran ternak dapat dijadikan sebagai bahan baku untuk menghasilkan energi terbarukan dalam bentuk biogas dan pupuk organik. Keterbatasannya pengetahuan dan keterampilan yang dimiliki masyarakat di Kelurahan Bambankerep mengolah limbah kotoran sapai menjadi biogas dan pupuk organik menjadi permasalahn utama. Tahapan program pengabdian masyarakat yang dilakukan

adalah: (1) Sosialisai pemanfaatan limbah kotoran hewan menjadi berkah; (2) pelatihan; (3) Monitoring dan Pendampingan. Dampak yang dihasilkan dari program pengabdian masyarakat ini antara lain: (1) meningkatkan kesadaran masyarakat untuk memanfaatkan limbah kotoran sapi untuk energi alternatif biogas, (2) meningkatnya pengetahuan dan ketrampilan masyarakat bidang pengolahan kotoran sapi menjadi energi dan pupuk, (3) tumbuhnya kelompok usaha pengolahan pupuk organik dari kotoran sapi sehingga diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat Kelurahan Bambankerep Ngaliyan Semarang.

Kata kunci : Limbah Kotoran Sapi, Biogas, Pupuk Organik.

PENDAHULUAN

Sumber daya energi mempunyai peran yang sangat penting bagi pembangunan ekonomi nasional. Energi diperlukan untuk pertumbuhan kegiatan industri, jasa, perhubungan dan rumah tangga. Dalam jangka panjang, peran energi akan lebih berkembang khususnya guna mendukung pertumbuhan sektor industri dan kegiatan lain yang terkait. Meskipun Indonesia adalah salah satu Negara penghasil minyak dan gas, namun berkurangnya cadangan minyak, penghapusan subsidi menyebabkan harga minyak naik dan kualitas lingkungan menurun akibat penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan. Olah karena itu, pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan.[1]

Salah satu dari energi terbarukan adalah biogas, biogas memiliki peluang yang besar dalam pengembangannya. Energi biogas dapat diperoleh dari air limbah rumah tangga, kotoran cair dari peternakan ayam, sapi, babi, sampah organik dari pasar, industri makanan dan sebagainya. Selain potensi yang besar, pemanfaatan energi biogas dengan digester biogas memiliki banyak keuntungan, yaitu mengurangi efek gas rumah kaca, mengurangi bau yang tidak sedap, mencegah penyebaran penyakit, menghasilkan panas dan daya (mekanis/ listrik) serta hasil samping berupa pupuk padat dan cair. Pemanfaatan limbah dengan

[1] Setiawan, A.I, 2008, *Memanfaatkan Kotoran Ternak Solusi Masalah Lingkungan dan Pemanfaatan Energi Alternatif*, Jakarta : Penebar Swadaya.

cara seperti ini secara ekonomi akan sangat kompetitif seiring naiknya harga bahan bakar minyak dan pupuk anorganik.[2]

Oleh karena itu pengembangan biogas dari limbah kotoran sapi merupakan salah satu alternatif pemecahan dalam rangka mencari sumber energi alternatif sekaligus sebagai upaya konservasi. Prinsip pembuatan instalasi reaktor biogas skala kecil sampai menengah adalah menampung limbah organik, baik berupa kotoran ternak, limbah tanaman, atau limbah industri pertanian, kemudian memroses limbah tersebut dan mengambil gasnya untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi serta menampung sisa hasil pemrosesan yang dapat dipergunakan sebagai pupuk organik. Teknologi pemanfaatan kotoran hewan menjadi energi walaupun sederhana namun mayoritas masyarakat petani/peternak di Indonesia belum mampu mamanfaatkannya, hal tersebut disebabkan karena rendahnya SDM peternak/petani, minimnya pelatihan atau penyuluhan kepada masyarakat, rendahnya kepedulian pemerintah daerah untuk serius mengoptimalkan sektor peternakan dan pertanian.[3]

ANALISIS SITUASI

Desa Babankerep, Kecamatan Ngaliyan Semarang memiliki potensi peternakan yang bagus. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik RI (BPS) dari 16 kecamatan dan 177 kelurahan di Kota Semarang jumlah sapi terbanyak di Desa Babankerep, Kecamatan Ngaliyan, yang menjadi tempat TPA Jatibarang, total populasi sapi mencapai 1.300 ekor.

Dari observasi yang kami lakukan potensi limbah kotoran sapi belum dimanfaatkan sebagai sumber energi yang bisa digunakan untuk keperluan sehari-hari, padahal potensi pemenfaatan kotoran sapi untuk biogas sangat besar. Eddy dkk (2003) melaporkan bahwa setiap ekor sapi per hari menghasilkan kotoran paling sedikit 10 kg, berpotensi menghasilkan 0,36 m^3 biogas. Dengan jumlah ternak sebanyak 1.300 ekor, maka sapi-sapi di Desa Babankerep, Kecamatan Ngaliyan Semarang tersebut akan menghasilkan kotoran tidak kurang dari 13.000 kg/hari. Tabel kesetaraan 1 m^3 biogas dapat dilihat pada tabel 1dibawah ini.

---

[2] Murtiyem dkk, 2006, *Membuat Kompos Dari Limbah Kakao dan Ternak*, *Kerjasama Balai Penelitian Ternak Ciawi dengan Poor Farmer Project*, Jakarta: Badan Litbang Partanian Departemen Pertanian.

[3] Akhmad Prabowo dkk, 2008, *Teknologi Budidaya Sapi Potong*, Jakarta: Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian, Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian.

Tabel 1. Kesetaraan biogas dengan sumber bahan bakar lain[4]

Bahan bakar	Jumlah
Elpiji	0,46 kg
Minyak tanah	0,62 liter
Minyak solar	0,52 liter
Bensin	0,80 liter
Gas kota	1,50 m3
Kayu bakar	3,50 kg

Alasan utama masyarakat belum mampu mengelola potensi kotoran hewan tersebut adalah karena keterbatasannya pengetahuan dan keterampilan yang mereka miliki untuk mengolah limbah peternakan dan pertanian menjadi energi dan pupuk. Kurangnya sosialisasi, pelatihan dan pendampingan kepada peeternak dan warga sekitar menjadi faktor utama tidak termanfaatkannya limbah kotoran sapi.

Ditinjau dari aspek sosial bahwa penerapan teknologi baru kepada masyarakat merupakan suatu tantangan tersendiri akibat rendahnya latar belakang pendidikan, pengetahuan dan wawasan yang mereka miliki. Begitu juga dengan penerapan teknologi biogas. Tidak pernah terbayangkan bahwa kotoran sapi dapat menghasilkan energi. Selain itu juga perasaan jijik terhadap makanan yang dimasak menggunakan makanan yang dimasak menggunakan biogas. Untuk itu, program percepatan difusi dan penerapan iptek biogas ini segera dilakukan untuk melakukan konversi energi yang dihasilkan dari kotoran sapi menjadi biogas dan bagaimana mensosialisasikan produk biogas tersebut kepada masyarakat sehingga dapat dijadikan sebagai rintisan wirausaha baru.

KONDISI DAMPINGAN YANG DIHARAPKAN

Setelah mengikuti pelatihan ini diharapkan masyarakat Desa Babankerep, Kecamatan Ngaliyan Semarang dapat meningkatkan pengetahuannya di bidang pengolahan kotoran sapi menjadi energi dan pupuk, tersedianya energi alternatif terbaharukan untuk kebutuhan rumah tangga, tumbuhnya usaha-usaha baru di wilayah tersebut sehingga meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Dan yang lebih penting lagi adalah masyarakat Desa Babankerep, Kecamatan Ngaliyan

[4] Teguh Wikan Widodo, 2007, *Teknologi Biogas Dan Aplikasinya Untuk Masyarakat Pedesaan. Makalah disampaikan Pada Temu Komunikasi Dan Praktek Pemecahan Masalah Sektor Peternakan*. Jakarta: Badan Litbang Partanian Departemen Pertanian.

Semarang dapat dapat menyediakan sendiri energi alternatif terbaharukan sehinggan bisa mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian bahan bakar minyak bumi yang tidak bisa diperbaharui.

LANDASAN TEORI

1. Limbah

Limbah adalah sisa suatu usaha atau kegiatan, yang mengandung bahan berbahaya atau beracun yang karena sifat, konsentrasi, atau jumlahnya, baik secara langsung atau tidak langsung akan dapat membahayakan lingkungan, kesehatan, kelangsungan hidup manusia atau makhluk hidup lainnya[5]. Setiap limbah perlu dikarakteristik terlebih dahulu sebelum rancangan proses dimulai. Sifat limbah cair yang perlu diketahui adalah volume aliran, konsentrasi organic, karakteristik dan toksisitas. Tingkat bahaya keracunan yang disebabkan oleh limbah juga bergantung pada jenis dan karakteristik limbah. Berdasarkan sumber atau asal limbah, maka limbah dapat dibagi kedalam beberapa golongan yaitu :

a. Limbah domestik, yaitu semua limbah yang berasal dari kamar mandi, dapur, tempat cuci pakaian, dan lain sebagainya, yang secara kuantitatif limbah tadi terdiri atas zat organik baik padat maupun cair,bahan berbahaya dan beracun (B-3), garam terlarut, lemak.
b. Limbah nondomestik, yaitu limbah yang berasal dari pabrik, industri, pertanian, peternakan, perikanan, dan transportasi serta sumber-sumber lainnya. Limbah pertanian biasanya terdiri atas pestisida, bahan pupuk dan lainnya.[6]

2. Limbah Ternak

Semua jenis ternak menghasilkan kotoran ternak yang jumlah dan kandungan haranya bervariasi satu sama lainnya. Kandungan unsur hara dalam kotoran ternak ruminansia umumnya jauh lebih rendah dibandingkan dengan kotoran ternak unggas (Tabel 1). Hal ini erat berkaitan dengan kualitas pakan yang diberikan

Tabel 2. Kandungan unsur hara beberapa jenis kotoran ternak

Jenis Pukan	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
Domba	2,45	1,1	3,5	1,5	0,76	0,5
Sapi	2,0	1,5	2,0	4,0	1,0	0,5
Unggas	5,0	3,0	1,5	4,0	1,0	2,0
Kuda	2,0	1,5	1,5	1,5	1,0	0,5
Kelinci	2,6	2,5	1,9	2,1	0,5	0,4

[5] M[illegible], Jakarta : Rajawali.

[6] Kristanto, P, 2002, *Ekologi Industri*, Yogyakarta:ANDI.

Kandungan unsur hara N dari ternak pemakan hijauan berkisar antara 2,0-2,6%. Selain unsur N, kotoran kelinci juga mengandung unsur P yang cukup tinggi (2,5%) yang hampir menyamai kotoran unggas (3,0%). Dibandingkan dengan ternak lainnya, kotoran ternak domba dan sapi mengandung lebih banyak unsur K. Kotoran ternak sapi memiliki kandungan unsur Ca yang sama dengan kotoran ternak unggas (4,0%), dan jauh lebih banyak dibandingkan dengan ternak lainnya. Sementara itu, kandungan unsur Mg dan S yang kurang lebih serupa terdapat dalam kotoran ternak yang berkisar antara 0,5-1,0% (Mg) dan 0,4-2,0% (S).

3. Potensi Kotoran Sapi

Usaha peternakan sapi potong, baik usaha pembibitan maupun usaha penggemukan dilakukan tentunya dengan harapan mendapatkan keuntungan maksimal dari usaha yang dijalankan. Usaha ternak pembibitan sapi potong merupakan usaha jangka panjang, dengan keuntungan kecil (R/C:1,17) dan memiliki resiko usaha yang cukup besar. Sementara itu, usaha ternak penggemukan sapi potong merupakan usaha jangka pendek, namun memiliki keuntungan yang masih kecil (R/C:1,22) dan dicirikan dengan biaya produksi mahal (pakan) yang tentunya memerlukan modal besar.

Dengan demikian, dalam menjalankan usahanya, peternak sapi potong memerlukan tambahan pendapatan. Sejalan dengan hal tersebut, produk hasil olahan limbah ternak seperti pupuk padatan, pupuk cair (bio urin) dan gas bio dapat digunakan sebagai sumber pendapatan tambahan. Pupuk padatan hasil olahan kotoran padat sapi potong dapat diproduksi sejumlah 5 kg/ekor/hari, dengan biaya produksi sebesar Rp. 1.018/kg. Pupuk padatan ini dapat dijual dengan harga Rp 1.250/kg, sehingga akan didapatkan keuntungan sebesar Rp 232/kg atau Rp. 1.160/ekor/hari atau Rp. 34.800/ ekor/bln.

Dengan skala usaha rata-rata peternak sapi potong rakyat sejumlah 4 ekor/KK, maka dapat diharapkan keuntungan sejumlah Rp. 139.200/4 ekor/ bln dari usaha pembuatan pupuk padat. Sementara itu, hasil olahan kotoran cair ternak sapi potong atau pupuk cair dapat diproduksi sejumlah 5 ltr/ekor/hari, dengan biaya produksi Rp. 7.330/ltr. Pupuk cair tersebut dapat dijual dengan harga Rp 10.000/ltr, sehingga memberikan keuntungan sebesar Rp 2.670/ltr atau Rp. 13.350/ ekor/hari atau Rp. 400.500/ekor/bln. Peternak yang memiliki rata-rata 4 ekor sapi potong di rumahnya tentunya akan mendapatkan keuntungan sebesar Rp. 1.602.000/4 ekor/bln dari usaha produksi pupuk cair.

Selain pupuk padat dan cair, kotoran sapi potong dapat digunakan sebagai bahan baku biogas atau gas bio. Produksi gas bio dari 4 ekor sapi potong rata-rata berjumlah 1,44 m3, yang setara dengan kompor dua tungku selama 4 jam atau setara dengan + 2,99 liter minyak tanah/hari, atau senilai Rp. 24.000/hari atau Rp. 720.000/bulan, bila menggunakan harga minyak tanah Rp. 8.000,-/liter. Produksi gas bio ini akan memberikan keuntungan sekitar Rp 620.000/bulan dengan memperhitungkan biaya produksi berupa nilai penyusutan instalasi biogas dan tenaga kerja. Selain itu, dari instalasi biogas ini juga akan didapatkan bahan baku pupuk organik padat sejumlah 12,8 kg/hari, dan bahan baku pupuk cair sejumlah 200,5 kg/hari. Oleh karena itu, dapat diharapkan produksi pupuk padat + 6,4 kg/hari yang memberikan keuntungan sebesar Rp. 1.485/hari atau Rp. 44.544/bulan. Pupuk cair dapat diproduksi 100 liter/hari dengan harga jual Rp 1.500/liter, memberikan keuntungan Rp. 75.000/hari atau Rp. 2.250.000/bulan. Secara keseluruhan, instalasi biogas yang dipasang akan memberikan keuntungan usaha sebesar Rp 620.000 (gas bio) + Rp 44.544 (pupuk padat) + Rp 2.250.000 (pupuk cair) = Rp. 2.914.000 per bulannya.

Dari uraian di atas, kegiatan pengolahan limbah kotoran ternak sapi potong ternyata memberikan keuntungan usaha yang cukup besar. Tanpa pembuatan biogas, atau dengan hanya melakukan usaha produksi pupuk padat dan cair, maka dalam usaha ternak skala 4 ekor/KK akan dapat tambahan pendapatan sebesar Rp. 139.200/bulan dari pupuk padat. Selain itu, juga akan didapatkan tambahan penghasilan dari pupuk cair sebesar Rp. 1.602.000/bulan. Secara keseluruhan usaha pembuatan pupuk padat dan cair akan memberikan tambahan pendapatan sebesar Rp. 1.741.200/ bulan. Tambahan pendapatan yang jauh lebih besar akan didapatkan apabila dipasang instalasi biogas yang memberikan tambahan penghasilan sebesar Rp. 2.914.000 per bulannya.

4. Biogas

Biogas adalah gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi bahanbahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara). Pada umumnya semua jenis bahan organik bisa diproses untuk menghasilkan biogas, namun demikian hanya bahan organik (padat, cair) homogen seperti kotoran dan urine (air kencing) hewan ternak yang cocok untuk sistem biogas sederhana. Di samping itu juga sangat mungkin menyatukan saluran pembuangan di kamar mandi atau WC ke dalam system biogas. Di daerah yang banyak industri pemrosesan makanan antara lain tahu, tempe, ikan pindang atau brem bisa menyatukan saluran limbahnya ke dalam sistem biogas, sehingga limbah industri tersebut tidak mencemari lingkungan di sekitarnya. Hal ini memungkinkan karena limbah industri tersebut di atas berasal

dari bahan organik yang homogen. Jenis bahan organik yang diproses sangat mempengaruhi produktivitas sistem biogas di samping parameter-parameter lain seperti temperatur digester, pH, tekanan, dan kelembaban udara.

Salah satu cara menentukan bahan organik yang sesuai untuk menjadi bahan masukan sistem biogas adalah dengan mengetahui perbandingan karbon (C) dan nitrogen (N) atau disebut rasio C/N. Beberapa percobaan yang telah dilakukan oleh ISAT menunjukkan bahwa aktivitas metabolisme dari bakteri methanogenik akan optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8-20.

Bahan organik dimasukkan ke dalam ruangan tertutup kedap udara (disebut Digester) sehingga bakteri anaeroba akan membusukkan bahasan organik tersebut yang kemudian menghasilkan gas (disebut biogas). Biogas yang telah berkumpul di dalam digester selanjutnya dialirkan melalui pipa penyalur gas menuju tabung penyimpan gas atau langsung ke lokasi pembuangannya.

Biogas dapat dipergunakan dengan cara yang sama seperti gas-gas yang mudah terbakar lainnya. Pembakaran biogas dilakukan melalui proses pencampuran dengan sebagian oksigen (O_2). Nilai kalori dari 1 meter kubik biogas sekitar 6.000 watt jam yang setara dengan setengah liter minyak diesel. Oleh karena itu, biogas sangat cocok digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan pengganti minyak tanah, LPG, butana, batubara, maupun bahan-bahan lain yang berasal dari fosil.

Namun demikian, untuk mendapatkan hasil pembakaran yang optimal, perlu dilakukan pra kondisi sebelum biogas dibakar, yaitu melalui proses pemurnian/penyaringan karena biogas mengandung beberapa gas lain yang tidak menguntungkan. Sebagai salah satu contoh, kandungan gas hidrogen sulfida yang tinggi yang terdapat dalam biogas jika dicampur dengan oksigen dengan perbandingan 1:20, maka akan menghasilkan gas yang sangat mudah meledak. Tetapi sejauh ini belum pernah dilaporkan terjadinya ledakan pada sistem biogas sederhana. Di samping itu, dari proses produksi biogas akan dihasilkan sisa kotoran ternak yang dapat langsung dipergunakan sebagai pupuk organik pada tanaman/budidaya pertanian. Limbah biogas, yaitu kotoran ternak yang telah hilang gasnya (*slurry*) merupakan pupuk organik yang sangat kaya akan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman. Bahkan, unsur-unsur tertentu seperti protein, selulose, lignin dan lain-lain tidak dapat digantikan oleh pupuk kimia. Pupuk organik dari biogas telah dicobakan pada tanaman jagung, bawang merah dan padi. Komposisi gas yang terdapat di dalam Biogas dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Komposisi Gas yang terdapat dalam Biogas

Jenis Gas	Volume (%)
Metana (CH_4)	40 – 70
Karbondioksida (CO_2)	30 – 60
Hidrogen (H_2)	0 - 1
Hidrogen Sulfida	0 – 3

5. Pupuk Organik

Pupuk organik merupakan hasil akhir dan atau hasil antara dari perubahan atau peruraian bagian dan sisa-sisa tanaman dan hewan. Misalnya bungkil, guano, tepung tulang dan sebagainya. Karena pupuk organik berasal dari bahan organik yang mengandung segala macam unsur maka pupuk ini pun mengandung hampir semua unsur (baik makro maupun mikro). Hanya saja, ketersediaan unsur tersebut biasanya dalam jumlah yang sedikit. Pupuk organik diantaranya ditandai dengan ciri-ciri :[7]

- Nitrogen terdapat dalam bentuk persenyawaan organik sehingga mudah dihisap tanaman.
- Tidak meninggalkan sisa asam anorganik didalam tanah.
- Mempunyai kadar persenyawaan C organik yang tinggi, misalnya hidrat arang.

Pupuk organik (kompos) merupakan hasil perombakan bahan organik oleh mikrobia dengan hasil akhir berupa kompos yang memiliki nisbah C/N yang rendah. Bahan yang ideal untuk dikomposkan memiliki nisbah C/N sekitar 30, sedangkan kompos yang dihasilkan memiliki nisbah C/N < 20. Bahan organik yang memiliki nisbah C/N jauh lebih tinggi di atas 30 akan terombak dalam waktu yang lama, sebaliknya jika nisbah tersebut terlalu rendah akan terjadi kehilangan N karena menguap selama proses perombakan berlangsung. Kompos yang dihasilkan dengan fermentasi menggunakan teknologi mikrobia efektif dikenal dengan nama bokashi. Dengan cara ini proses pembuatan kompos dapat berlangsung lebih singkat dibandingkan cara konvensional.[8]

Penggunaan pupuk organik yang dipadukan dengan penggunaan pupuk kimia dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan pengurangan penggunakan pupuk kimia, baik pada lahan sawah maupun lahan kering. Telah banyak dilaporkan bahwa terdapat interaksi positif pada penggunaan pupuk organik dan pupuk kimia secara terpadu. Penggunaan pupuk kimia secara

---

[7] Murbandono, L.H.S., 2000, *Membuat Kompos*, Jakarta: Penebar Swadaya,

[8] Ridwan. 2006. *Kotoran Ternak sebagai Pupuk dan Sumber Energi*. Diterbitkan pada Harian Independen Singgalang. Rabu, 1 Februari 2006.

bijaksana diharapkan memberikan dampak yang lebih baik dimasa depan. Tidak hanya pada kondisi lahan dan hasil panen yang lebih baik, tetapi juga pada kelestarian lingkungan.[9]

Pupuk organik dalam bentuk yang telah dikomposkan ataupun segar berperan penting dalam perbaikan sifat kimia, fisika, dan biologi tanah serta sebagai sumber nutrisi tanaman. Secara umum kandungan nutrisi hara dalam pupuk organik tergolong rendah dan agak lambat tersedia, sehingga diperlukan dalam jumlah cukup banyak. Namun, pupuk organik yang telah dikomposkan dapat menyediakan hara dalam waktu yang lebih cepat dibandingkan dalam bentuk segar, karena selama proses pengomposan telah terjadi proses dekomposisi yang dilakukan oleh beberapa macam mikroba, baik dalam kondisi aerob maupun anaerob. Sumber bahan kompos antara lain berasal dari limbah organik seperti sisa-sisa tanaman (jerami, batang, dahan), sampah rumah tangga, kotoran ternak (sapi, kambing, ayam), arang sekam, dan abu dapur[10]. Sumber utama bahan organik bagi tanah berasal dari jaringan tanaman, baik serupa sampah-sampah tanaman (serasah) ataupun sisa-sisa tanaman yang telah mati. Sumber bahan organik lainnya adalah hewan. Bahan–bahan organik yang berasal dari serasah, sisa-sisa tanaman yang mati, limbah atau kotoran hewan dan bangkai hewan itu sendiri, didalam tanah akan diaduk-aduk dan dipindahkan oleh jasad renik yang selanjutnya dengan kegiatan berbagai jasad tanah bahan organik itu melalui berbagai proses yang rumit dirombak menjadi bahan organik tanah yang mempunyai arti penting.[11]

6. Proses Pembentukan Pupuk Organik

Selama proses dekomposisi bahan organik mentah (sampah) menjadi kompos akan terjadi berbagai perubahan hayati yang dilakukan oleh mikroorgaisme sebagai aktivator. Adapun perubahannya sebagai berikut :

a. Penguraian karbohidrat, selulosa, hemiselulosa, lemak dan lilin menjadi CO_2 dan H_2O (air).
b. Protein menjadi ammonia, CO_2 dan air.
c. Pembebasan unsur hara dari senyawa-senyawa organik menjadi senyawa yang dapat diserap oleh tanaman.

---

[9] Musnamar, E. I., 2005, *Pupuk Organik Padat: Pembuatan dan Aplikasi*, Jakarta: Penebar Swadaya.

[10] Deptan, 2006.Pedoman-Pengelolaan-Limbah-Industri-Kelapa-sawit, http://www.scribd.com/doc/154337975/Deptan-2006-Pedoman-Pengelolaan-Limbah-Industri-Kelapa-Sawit diakses tanggal 30 September 2014

[11] Sutejo, 1990, *Pupuk dan cara pemupukan*, Jakarta: Rineka Cipta.

d. Terjadi pengikatan beberapa jenis unsur hara didalam sel mikroorganisme, terutama nitrogen, fosfor, dan kalium.

Dengan perubahan tersebut maka kadar karbohidrat akan hilang atau turun dan senyawa nitrogen yang larut (amonia) akan meningkat. Dengan demikian, C/N semakin rendah dan relatif stabil mendekati C/N tanah.[12]

7. Potensi Kotoran Sapi sebagai Sumber Energi Alternatif Biogas

Teknologi biogas telah berkembang sejak lama namun aplikasi penggunaannya sebagai sumber energi alternatif belum berkembang secara luas. Beberapa kendala antara lain karena kurangnya "technical expertise", tidak berfungsinya reaktor biogas akibat kebocoran atau kesalahan konstruksi, desain reaktor yang tidak "*user friendly*", penanganan masih manual, dan biaya konstruksi yang cukup mahal.

Untuk reaktor biogas skala kelompok tani ternak reaktor di desain dengan kapasitas 18 m3 untuk menampung kotoran sapi sebanyak 10-12 ekor. Berdasarkan perhitungan desain, reaktor mampu menghasilkan biogas sebanyak 6m^3/hari. Produksi gas metana dipengaruhi oleh C/N rasio input (kotoran ternak), residence time, pH, suhu dan toksisitas. Suhu digester berkisar 25-27 ^oC dan pH 7- 7,8 menghasilkan biogas dengan kandungan metana (CH_4) sekitar 77%.

Untuk membuat reaktor biogas skala rumah tangga diperlukan beberapa hal berikut: (1) Volume reaktor (plastik): 4000 liter, (2) Volume penampung gas (plastik): 2500 liter, (3) Kompor biogas: 1 buah, (4) Drum pengaduk bahan: 1 buah, (5) Pengaman gas: 1 buah, (6) Selang saluran gas: ± 10 m, (7) Kebutuhan bahan baku: kotoran ternak dari 2-3 ekor sapi/kerbau, dan (8) Biogas yang dihasilkan: 4 m^3 perhari (setara dengan 2,5 liter minyak tanah).

Adapun cara pengoperasian reaktor biogas skala rumah tangga:

1. Buat campuran kotoran ternak dan air dengan perbandingan 1:1 (bahan biogas).
2. Masukkan bahan biogas ke dalam reaktor melalui tempat pengisian sebanyak 2000 liter, selanjutnya akan berlangsung proses produksi biogas ke dalam reaktor.
3. Setelah kurang lebih 10 hari reaktor gas dan penampung biogas akan terlihat mengembung dan mengeras karena adanya biogas yang dihasilkan. Biogas sudah dapat digunakan sebagai bahan bakar, kompor biogas dapat dioperasikan.

[12] Sudradjat, H.R., 2007, *Mengelola Sampah Kota*, Jakarta: Penebar Swadaya,

4. Sekali-sekali reaktor biogas digoyangkan supaya terjadi penguraian yang sempurna dan gas yang terbentuk di bagian bawah naik ke atas, lakukan juga pada setiap pengisian bahan bakar.
5. Pengisian bahan biogas selanjutnya dapat dilakukan setiap hari, yaitu sebanyak ± 40 liter setiap pagi dan sore. Sisa pengolahan bahan biogas berupa sludge (lumpur) secara otomatis akan keluar dari reaktor setiap kali dilakukan pengisian bahan biogas. Sisa hasil pengolahan bahan biogas tersebut dapat digunakan langsung sebagai pupuk organik, baik dalam keadaan basah maupun kering.

Cara pengoperasian kompor biogas: (1) buka sedikit kran gas yang ada pada kompor; (2) nyalakan korek api dan sulut tepat di atas tungku kompor; (3) apabila menginginkan api yang lebih besar, kran gas dapat dibuka lebih besar lagi, demikian pula sebaliknya. Api dapat distel sesuai dngan kebutuhan dan keinginan.

Pemeliharaan dan perawatan reaktor biogas: (1) hindarkan reaktor dari gangguan anak, tangan jahil ataupun dari ternak yang dapat merusak reaktor dengan cara memagar dan memberi atap supaya air tidak dapat masuk ke dalam galian reaktor; dan (2) isilah selalu pengaman gas dengan air sampai penuh. Jangan biarkan sampai kosong karena gas yang dihasilkan akan terbuang melalui pengaman gas.

8. Potensi Kotoran Sapi sebagai Pupuk Organik

Kotoran sapi bagi sebagian orang adalah hal yang menjijikkan, namun tahukah bahwa kotoran sapi sangat bermanfaat terutama bagi para petani karena dapat menjadi kompos. Proses pengomposan adalah proses menurunkan C/N bahan organik hingga sama dengan C/N tanah (< 20). Selama proses pengomposan, terjadi perubahan-perubahan unsur kimia yaitu:1) karbohidrat, selulosa, hemiselulosa, lemak dan lilin menjadi CO_2 dan H_2O, 2) penguraian senyawa organik menjadi senyawa yang dapat diserap tanaman. Kompos merupakan pupuk organik yang berasal dari sisa tanaman dan kotoran hewan yang telah mengalami proses dekomposisi atau pelapukan. Selama ini sisa tanaman dan kotoran hewan tersebut belum sepenuhnya dimanfaatkan sebagai pengganti pupuk buatan.

Kompos yang baik adalah yang sudah cukup mengalami pelapukan dan dicirikan oleh warna yang sudah berbeda dengan warna bahan pembentuknya, tidak berbau, kadar air rendah dan sesuai suhu ruang. Proses pembuatan dan pemanfaatan kompos dirasa masih perlu ditingkatkan agar dapat dimanfaatkan secara lebih efektif, menambah pendapatan peternak dan mengatasi pencemaran lingkungan. Kompos merupakan salah satu komponen

untuk meningkatkan kesuburan tanah dengan memperbaiki kerusakan fisik tanah akibat pemakaian pupuk anorganik (kimia) pada tanah secara berlebihan yang berakibat rusaknya struktur tanah dalam jangka waktu lama.

Cara pembuatan pupuk organik dari limbah kotoran sapi adalah sebagai berikut :

Bahan-bahan yang dibutuhkan :

- Kotoran sapi : 80-83%
- Kapur gamping : 2%
- Pemacu mikroorganisme (*Stardec*) : 0,25%
- Serbuk gergaji : 5%
- Abu sekam : 10%
- Air secukupnya

Alat yang digunakan :

- Sekop
- Cangkul
- Gerobak sorong
- Tempat pembuatan dan penyimpanan (semacam Gudang)

Proses pembuatan.

1. Kotoran sapi (faeses dan urine) yang bercampur dengan sisa pakan, di kumpulkan pada satu tempat, ditiriskan atau dikering anginkan selama satu minggu agar tidak terlalu basah.
2. Kotoran sapi yang sudah ditiriskan tersebut kemudian dipindahkan ke lokasi pembuatan dan diberi kalsit/kapur dan dekomposer. Untuk membuat 1 ton bahan pembuatan kompos (kotoran ternak) membutuhkan 20 kg kapur, 50 kg ampas gergaji, 100 kg abu sekam dan 2,5 kg dekomposer (*stardec*) dan seluruh bahan dicampur lalu diaduk merata.
3. Setelah satu minggu diperam, campuran tadi diaduk/dibalik secara merata untuk menambah suplai oksigen dan meningkatkan homogenitas bahan. Pada tahap ini diharapkan terjadi peningkatan suhu bisa diukur dengan memasukkan telapak tangan ke dalam tumpukan bahan, bila terasa hangat berarti terjadi proses pemeraman.
4. Minggu kedua dilakukan pembalikan lagi. Demikian seterusnya sampai pada minggu keempat. Pada saat ini pupuk telah matang dengan warna pupuk coklat kehitaman bertekstur remah dan tidak berbau.
5. Pemeraman dilakukan selama 1 bulan. Kelembaban dan temperatur harus tetap dijaga agar sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk hidup dan berkembang.

6. Kemudian pupuk diayak atau disaring untuk mendapatkan bentuk yang seragam serta memisahkan dari bahan yang tidak diharapkan (misalnya batu, potongan kayu, rafia) sehingga pupuk yang dihasilkan benar-benar berkualitas.
7. Selanjutnya pupuk organik siap diaplikasikan ke lahan sebagai pupuk dasar atau dapat disimpan ada tempat yang terlindung dari terik matahari dan hujan

IMPLEMENTASI KEGIATAN

Permasalahan pengabdian masyarakat adalah bagaimana teknologi tepat guna dapat digunakan untuk mengolah limbah kotoran sapi di Kelurahan Bambankerep Ngaliyan Semarang, sehingga limbah kotoran sapi yang awalnya tidak berdaya guna serta mencemari lingkungan bisa bermanfaat untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat setempat.Untuk memecahkan masalah tersebut diatas, maka dilakukan pengolahan limbah kotoran sapi menjadi biogas dan pupuk organik. Dimana biogas merupakan sumber energi alternatif yang terbarukan. Pupuk organik dari kotoran sapi.

Program pengabdian kepada kepada masyarakat ini dilaksanakan dalam beberapa tahap yaitu:

Persiapan

Tahap awal yang kami lakukan dalam kegiatan pengabdian masyarakat ini adalah observasi lingkungan kelurahan Babankerep, Kecamatan Ngaliyan Semarang. Kegiatan ini bertujuan untuk melihat sejauh mana pemanfaatan limbah kotoran sapi. Observasi ini kami lakukan pada bulan selama satu bulan, yakni di bulan Januari 2014. Dalam observasi ini kami melibatkan Kelompok Tani Ternak Tegal Sari, pihak kelurahan Bambankerep dan masyarakat di lingkungan Kelurahan Bambankerep. Metode yang kami gunakan dalam observasi ini adalah wawancara dan pengamatan, serta pengumpulan data fisik. Selain itu kami juga menggali informasi mengenai upaya warga/paguyuban setempat dan pemerintah dalam mencari energi alternatif melalui pemanfaatan limbah kotoran sapi. Hasil survei tentang potensi peternakan di kelurahan Bambankerep Kelurahan Ngaliyan dapat dilihat pada table 4.

Tabel 4. Hasil survei kondisi masyarakat

Aktivitas Survey	Hasil
Jumlah KK	56 KK
Rata-Rata Jumlah Anggota KK	4 Orang

Rata-rata Jumlah ternak Sapi	2-4 ekor
Rata-rata Jumlah Kotoran sapi	15-20 kg
Rata-rata masyarakat memasak menggunakan	Kompor gas
Rata-rata model rumah masyarakat	Bangunan
Tingkat pendidikan masyarakat	SD
Rata-rata kondisi ekonomi masyarakat	Menengah kebawah
Tanggapan masyarakat tentang energi biogas sebagai energi alternatif	Tertarik
Rata-rata pekerjaan masyarakat	Peternak, buruh

Berdasarkan data hasil survey di kelurahan Bambankerep, kecamatan Ngaliyan Semarang, peneliti mengambil kesimpulan bahwa penerapan teknologi biogas berbahan kotoran hewan sangat dibutuhkan masyarakat diwilayah tersebut. Potensi limbah kotoran sapi hanya di anggap sebagai limbah yang mencemari lingkungan dan belum termanfaatkan secara optimal. Dari hasil observasi awal juga didapatkan nahwa masyarakat belum memiliki pengetahuan dan ketrampilan yang cukup dalam usaha pengolahan limbah kotoran sapi menjadi pupuk organik yang bernilai ekonomi tinggi. Sebagian besar masyarakat menanggapi positif dan tertarik tentang pengolahan limbah kotoran sapi menjadi energi biogas sebagai energi alternatif yang terbarukan. Sebagian besar peternak sapi di kelurahan Bambankerep juga bekerja sebagi pekerja industri. Para peternak sapi di kelurahan ini tergabung dalam Kelompok Tani Ternak Tegal Sari Kelurahan Bambankerep Kec. Ngaliyan Semarang. Sapi-sapi dari setiap anggota kelompok tani ternak ini di kumpulkan dalam satu kandang, yang bertempat 300 m dari kantor kelurahan Bambankerep. Anggota kelompok Tani Tegal Sari ini berjumlah 46 orang, masing-masing anggota rata-rata memiliki sapi sebanyak sapi 2-4 ekor. Eddy dkk (2003) melaporkan bahwa setiap ekor sapi per hari menghasilkan kotoran paling sedikit 10 kg, berpotensi menghasilkan 0,36 m3 biogas. Setiap hari tidak kurang 2.240 kg kotoran sapi di hasilkan di kandang kelompok tani tegal sari Kelurahan Bambankerep. Ini merupakan aset yang berharga bagi kelurahan ini apabila bisa termanfaatkan dan dikelola dengan baik dan benar.

Selain melakukan observasi di kelurahan Bambankerep Ngaliyan Semarang, obserservasi juga di lakukan di kelurahan Ngadirgo kelurahan Ngaliyan semarang. Pada kelurahan Ngadirgo telah terbentuk Kelompok Tani (GAPOKTAN) "MAJU MAKMUR" kelurahan ngadirgo RT kelurahan

Ngadirgo RT. 01 RW. 02 Kec. Ngaliyan Semarang. Kelompok ini bergerak di bidang peternakan sapi perah. Observasi di daerah ini bertujuan untuk menjadikan Kelurahan Ngadirgo sebagai tempat study banding kelompok Tani Ternak dari kelurahan Bambankerep. Alasan Memilih kelompok tani maju makmur Kelurahan Ngadirgo:

1. Kelurahan ngadirgo memiliki kelompok tani yang unggul baik dalam ternak kambing maupun ternak sapi perah.
2. Dalam kelompok tani maju makmur desa ngadirgo tersebut telah di bangun satu unit digester untuk pengolahan limbah kotoran sapi perah.

Pelaksanaan

Proses pelaksanaan terbagi menjadi 2, yaitu, **pertama**, **Sosialisasi.** Sosialisasi yang dilakukan dalam program pengabdian masyarakat ini bertujuan untuk : Memberi pengetahuan yang dibutuhkan oleh masyarakat mengenai pengolahan limbah kotoran sapi menjadi biogas dan pupuk organik. Sasaran program ini adalah kelompok Tani Ternak Tegal Sari Kelurahan Bambankerep Ngaliyan Semarang. Sosialisasi ini dilakukan dalam rangka: (1) memberikan pengetahuan kepada masyarakat tentang potensinya pemanfaatan limbah kotoran sapi sehinggan bernilai ekonomis tinggi, (2) memperkenalkan teknologi biogas dari limbah kotoran sapi sebagai energi alternatif terbarukan, (3) memperkenalkan teknologi pengolahan limbah kotoran sapi menjadi pupuk organik yang bernilai tinggi. Sosialisasi ini dilakukan pada dua kelompok yaitu :

1. Kelompok peternak sapi pria

Sosialisasi pada kelompok ternak sapi ini dilaksanakan dua kali. Sosialisasi pertama dilaksanakan pada hari/tanggal : Jumat/25 Juli 2014, pukul 20.00-22.00 bertempat di Bapak Ngaliman (seketaris Kelompok Tani Ternak Tegal Sari Kelurahan Bambankerep). Kegiatan ini diikuti oleh 42 peserta. Materi sosialisasi yang di berikan pada kesempatan ini adalah Potensi limbah kotoran sapi. Sosialisasi kedua dilaksanakan pada hari/tanggal: Rabu/3 September 2014, pukul 20.00-22.00. Materi yang disampaikan antara lain : (1) Teknik pembuatan instalasi biogas dari kotoran sapi, (2) Teknis pengoperasian alat biogas dan perawatanya. Pada saat sosialisasi antuisme masyarakat sangat baik, hal ini ditunjukkan dengan pertanyaan yang diajukan. Masyarakat Kelurahan Bambankerep sangat antusias terhadap pengabdian yang akan dilaksanakan karena pada dasarnya kotoran sapi yang berada di lingkungan peternakan kelurahan tersebut telah lama menyebabkan pencemaran lingkungan (menimbulkan bau yang tidak sedap dan rendahkan tingkat kebersihan di lingkungan peternakan).

2. Kelompok istri peternak

Kelompok istri peternak sapi menjadi sasaran sosialisasi selain peternak sapi di kelurahan Bambankerep dikarenakan sebagian besar istri peternak sapi tidak bekerja hanya sebagi ibu rumah tangga. Dengan adanya ssosialisasi pemanfaatan limbah kotoran sapi menjadi pupuk organik dan biogás ini diharapakan tumbuh kesadaran dana kemauan untuk bisa memanfaatkan limbah kotoran sapi menjadi sesuatu yang bernilai ekonomi tinggi. Sosialisasi pada kelompok istri peternak sapi dilaksanakan pada hari/tanggal : Rabu/13 Agustus 2014, pukul 09.00-13.00, bertempat di rumah Ketua RW 4 Kelurahan Bambankerep. Kegiatan ini diikuti oleh 15 peserta. Materi yang disampaikan antara lain: (1) Pengolahan limbah kotoran sapi menjadi pupuk organik, (2) Teknik pengoperasian alat biogas dan perawatannya, (3) Menumbuhkan usaha baru mandiri untuk meningkatkan kesejahteraan keluarga, (4) Manajemen pengolahan dan pemasaran produk. Antusiasme para istri peternak sapi ini sangat besar. Besar harapan mereka pemanfaatan limbah kotoran sapi menjadi pupuk organik bisa membuka lapangan pekerjaan bagi para ibu rumah tangga di kelurahan Bambankerep. Selain itu mereka juga berharap untuk tetap Ceramah, yaitu dengan menyampaikan informasi dan memberi pengarahan tentang manfaat biogas serta potensi pengembangan biogas secara ekonomis didampingi dalam pembentukan kelompok usaha baru dalam hal pengolahan limbah kotoran sapi menjadi pupuk organik.

Metode yang digunakan dalam kegiatan sosialisasi adalah sebagi berikut :

- Ceramah, yaitu dengan menyampaikan informasi dan memberi pengarahan tentang manfaat biogas serta potensi pengembangan biogas secara ekonomis.
- Diskusi/tanya jawab: masyarakat di beri kesempatan sebesar-besarnya untuk bertanya tentang hal-hal yang belum di pahami, serta kendala yang mungkin timbul dalam pelaksanaan.

Kedua, Pelatihan. Menurut Nitisemito (1994) " Pelatihan adalah suatu kegiatan dari perusahaan yang bermaksud untuk dapat memperbaiki dan mengembangkan sikap, tingkah laku, ketrampilan dan pengetahuan dari para karyawan yang sesuai dengan keinginan perusahaan yang bersangkutan."

Setelah dilakukan sosialisasi mengenai potensi limbah kotoran sapi, pengolahan limbah kotoran sapi menjadi biogas dan pupuk organik, langkah selanjutnya dalam pengabdian ini adalah melakukan pelatihan pembuatan biogas dan pupuk organik dari limbah kotoran sapi. Metode yang digunakan dalam tahap pelatihan adalah:

- Ceramah, dengan narasumber Bapak Ramadhan dari Kelompok Tani (GAPOKTAN) "MAJU MAKMUR" Kelurahan Ngadirgo. Materi yang

disampaikan adalah Biogas sumber energi terbaharukan. Selain itu juga disampaikan pengalaman yang didapat oleh kelompok peternak sapi perah di Ngadirgo sebelum pembangunan instalasi biogás yang ada di kelurahan mereka.

- Demonstrasi, dan praktek langsung pembuatan biogas dari limbah kotoran sapi yaitu dengan menunjukkan cara pembuatan biogas skala rumah tangga sebagai energi alternatif ramah lingkungan.
- Praktikum, yaitu melakukan praktek tentang produksi, pengolahan, perawatan biogas yang sudah ada. Selain praktik pengolahan limbah kotoran sapi menajadi biogás juga dilaksanakan praktik pembuatan pupuk organik dari limbah kotoran sapi.
- Diskusi/tanya jawab: masyarakat di beri kesempatan sebesar-besarnya untuk bertanya tentang hal-hal yang belum di pahami, serta kendala yang mungkin timbul dalam pelaksanaan. Dalam kegiatan tanya jawab, banyak kelompok peternak dari kelurahan Bambankerep bertanya kepeda kelompok peternak sapi perah dari kelurahan Ngadirgo. Hal ini dilakukan dalam rangka menggali informasi dan pengetahuan sebanyak-banyaknya mengenai biogás dari kotoran sapi maupun pembangunan instalasi biogás.

Pada pelaksanaan studi banding ini Kelompok Tani Ternak Tegal Sari Kelurahan Bambankerep Kec. Ngaliyan Semarang di ajak untuk melihat secara langsung instalasi biogas yang ada di Kelompok Tani (GAPOKTAN) "MAJU MAKMUR" Kelurahan Ngadirgo RT kelurahan Ngadirgo RT. 01 RW. 02 Kec. Ngaliyan Semarang.

Kegiatan ini dilaksanakan pada hari/tanggal: Kamis/14 agustus 2014 (09.00-10.00), bertempat di rumah Ketua Kelompok Tani (GAPOKTAN) "MAJU MAKMUR. Kegiatan ini di ikuti oleh 15 peserta. Pelatihan pembuatan biogas dari kotoran sapi telah dilaksanakan dengan praktik langsung menggunakan instalasi biogás yang ada di Kelompok Tani (GAPOKTAN) "MAJU MAKMUR" Kelurahan Ngadirgo. Setiap peserta di beri kesempatan untuk pratik langsung pembuatan biogás dari limbah kororan sapi. Langkahnya sebagai berikut:

1. Buat campuran kotoran ternak dan air dengan perbandingan 1 : 1 (bahan biogas).
2. Masukkan bahan biogas ke dalam reaktor melalui tempat pengisian sebanyak 2000 liter, selanjutnya akan berlangsung proses produksi biogas di dalam reaktor.

3. Setelah kurang lebih 10 hari reaktor biogas dan penampung biogas akan terlihat mengembung dan mengeras karena adanya biogas yang dihasilkan. Biogas sudah dapat digunakan sebagai bahan bakar, kompor biogas dapat dioperasikan.
4. Sekali-sekali reaktor biogas digoyangkan supaya terjadi penguraian yang sempurna dan gas yang terbentuk di bagian bawah naik ke atas, lakukan juga pada setiap pengisian reaktor.
5. Pengisian bahan biogas selanjutnya dapat dilakukan setiap hari, yaitu sebanyak kurang lebih 40 liter setiap pagi dan sore hari. Sisa engolahan bahan biogas berupa sludge (lumpur) secara otomatis akan keluar dari reaktor setiap kali dilakukan pengisian bahan biogas. Sisa hasil pengolahan bahan biogas tersebut dapat digunakan langsung sebagai pupuk organik, baik dalam keadaan basah maupun kering.

Setiap seperta antusias mengikuti pelatihan pembuatan biogás ini. Setiap peserta di beri kesempatan untuk praktik langsung pembuatan biogás dari limbah kotoran sapi menggunakan instalsi yang ada di kelompok tani Maju Makmur Kelurahan Ngadirgo. Kegiatan Pelatihan Pembuatan Pupuk Organik yang Berkualitas dari Limbah kotoran sapi untuk kelompok peternak sapi di kelurahan Bambankerep juga telah dilaksanakan dengan peserta istri peternak Kelompok Tani Ternak Tegal Sari, dan 1 orang penyuluh (peneliti) dan 3 orang pelatih (mahasiswa Tadris Kimia FITK IAIN Walisngo). Kegiatan tersebut meliputi pelatihan dan praktek langsung tentang pembuatan pupuk organik yang berbasiskan limbah kotoran sapi. Peserta di bagi menjadi 5 kelompok kecil yang terdiri dari 3 anggota. Masing-masing kelompok ini kemudian di beri alat dan bahan untuk pembuatan pupuk organik dari limbah kotorsan sapi. Setiap kelompok wajib memopraktekkan cara pembuatan pupuk organik dengan di dampingi oleh mahasiswa Tadris Kimia yang sudah berpengalaman mengnai pengolahan limbah kotoran sapi menjadi pupuk organik.

Pendampingan/Monitoring

Setelah dilakukan proses pendidikan dan pelatihan oleh tim difusi dan penerapan iptek langkah berikutnya melakukan program pendampingan terhadap hasil yang telah dilakukan oleh masyarakat, pendampingan ini dilakukan setiap 2 minggu sekali. Pendampingan dilakukan dari bulan Agustus-September 2014. Pelaksanaan Monitoring dan pendampingan di lakukan pada hari/tanggal : Minggu/17 Agustus 2014, 31 Agustus 2014, 14 September 2014. Tujuan program pendampingan ini untuk memastikan apakah kondisi masyarakat dilapangan sudah sesuai dengan harapan yang telah ditetapkan. Setelah proses sosialisasi dan pelatihan biogas dan pupuk organik dari limbah

kotoran sapi, di kelurahan Bambankerep telah terbentuk kelompok usaha pengolahan limbah kotoran sapi menjadi pupuk organik. Kelompok usaha pengolahan pupuk organik ini beranggotakan ibu-ibu rumah tangga warga kelurahan Bambankerep dan juga istri peternak Kelompok Tani Ternak Tegal Sari. Berikut beberapa gambar kegiatan pendampingan melalui kunjungan dan musyawarah antara peneliti, masyarakat dan mitra.

- Pendampingan ini akan dilakukan setiap 2 minggu sekali
- Mendampingi masyarakat dalam kelompok usaha baru pengolahan limbah kotoran sapi menjadi pupuk organik
- Membantu pemasaran pupuk organik dari kelompok usaha baru yang terbentuk
- Membantu masyarakat dalam menyusun proposal pengajuan pembangunan digester di kelurahan Bambankerep kepada Dinas Lingkungan Hidup.

Penyusunan Laporan

Setelah kegiatan pengabdian masyarakat ini selesai dilaksanakan, maka di susun laporan kegiatan sebagai bukti bahwa kegiatan ini telah terlaksana

HASIL SOSIALISASI DAN PELATIHAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang telah dilakukan tentang pemanfaatan limbah kotoran sapi untuk energi alternatif pengganti elpiji dan pupuk organik berdampak positif terhadap masyarakat. Praktek pembuatan biogas dari kotoran sapi dilakukan dengan studi banding ke kelompok tani ternak (GAPOKTAN) MAJU MAKMUR Kelurahan Ngadirgo RT. 01 RW. 02 Kec. Ngaliyan semarang. Kelurahan Ngadirgo merupakan Kelurahan percontohan dalam pemanfaatan limbah kotoran sapi untuk biogas. Pada saat studi banding kelompok peternak Kelurahan Bambankerep banyak menimba ilmu dari kelompok peternak sapi perah yang ada di Kelurahan Ngadirgo, bagaimana memanfaatkan limbah kotoran sapi menjadi biogas. Di sini para peternak dari Bambankerep mempraktekkan secara langsung tahapan-tahapan pembuatan biogas dari kotoran sapi, mereka juga banyak bertanya tentang pembuatan digester dan perkiraan biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan digester biogas.

Perubahan yang bisa dilihat dari masyarakat Kelurahan Bambankerep Kecamatan Ngaliyan Semarang setelah mengikuti pelatihan dan studi banding pemanfaatan limbah kotoran sapi antara lain:

1. Meningkatkan kesadaran masyarakat khususnya Kelompok Tani Ternak Tegal Sari tentang : a) limbah ternak berupa kotoran sapi dapat diolah

menjadi bahan yang bernilai ekonomis agar tidak mencermari lingkungan, b) Kotoran sapi dapat diolah menjadi pupuk organik (kompos) yang berguna untuk tanaman.

2. Tumbuhnya minat masyarakat untuk pembangun instalasi biogas.
3. Dapat meningkatkan ketrampilan masyarakat dalam membuat pupuk organik (kompos) yang berkualitas dari kotoran sapi.
4. Terbentuknya kelompok usaha pengolahan limbah kotoran sapi menjadi pupuk organik yang berniali ekonomis di Kelurahan Bambankerep sehingga hal ini menambah penghasilan masyarakat setempat.
5. Dihasilkannya kompos yang bermutu dengan ciri : warna coklat kehitaman, struktur gembur, berbutir halus, tidak berbau dan kandungan unsur hara yakni: C-organik, N-total, P-tersedi, K-tersedia, C/N. Kondisi kompos yang dihasilkan sudah sesuai dengan kriteria kompos yang bermutu menurut Isroi (2008) yakni kompos yang memiliki ciri-ciri : Berwarna coklat tua hingga hitam mirip dengan warna tanah, tidak larut dalam air, meski sebagian kompos dapat membentuk suspensi, nisbah C/N sebesar 10 – 20, tergantung dari bahan baku dan derajat humifikasinya, berefek baik jika diaplikasikan pada tanah, suhunya kurang lebih sama dengan suhu lingkungan, dan tidak berbau.
6. Lingkungan peternakan sapi menjadi lebih bersih, karena kotoran sapi yang awalnya mencemari lingkungan, menyebabkan bau sekarang termanfaatkan untuk usaha baru yaitu pembuatan pupuk organik.
7. Pembangunan instalasi biogas (digester) di Kelurahan Bambankerep masih terkendala karena biaya, karena pembuatan instalasi biogas cukup mahal (29 jt).

FAKTOR PENDUKUNG DAN PENGHAMBAT

Berdasarkan evaluasi pelaksanaan dan hasil kegiatan dapat diidentifikasi faktor pendukung dan penghambat dalam melaksanakan program pengabdian masyarakat ini. Secara umum faktor pendukung dan penghambat dalam kegiatan ini adalah:

Faktor Pendukung:

1. Kualifikasi tim pengabdi adalah dosen Kimia dan mahasiswa Tadris Kimia dengan bidang keahlian Kimia dan Pendidikan Kimia
2. Antusiasme peserta pelatihan yang cukup tinggi karena sebagian besar dari peserta tidak memiliki pengetahuan yang cukup mengenai pemanfaatan limbah kotoran sapi menjadi biogas dan pupuk organik.

3. Kondisi alam lingkungan/potensi lokal yang dimiliki kelurahan Bambankerep, semangat dari para tokoh masyarakat dan dukungan moral dari Kepala desa.
4. Keterbukaan berbagi ilmu dan bantuan dari kelompok tani ternak (GAPOKTAN) MAJU MAKMUR Kelurahan Ngadirgo RT. 01 RW. 02 Kec. Ngaliyan semarang tentang sesuk beluk pengolahan limbah kotoran sapi.
5. Ketersediaan dana kegiatan dari LP2M sebagai pendukung penyelenggaraan

Faktor Penghambat:

1. Keterbatasan waktu untuk pelaksanaan pelatihan, sehingga beberapa materi tentang pemasaran produk dirasakan masih
2. Keterbatasan biaya dalam pembangunan intalasi biogas. Untuk membangun satu buah instalasi biogas membutuhkan dana sekitar 29 juta rupiah.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa program pengabdian masyarakat yang telah dilakukan bidang teknologi tepat guna pemanfaatan kotoran ternak menjadi biogas dan pupuk organik di Kelurahan Bambankerep Ngaliyan Semarang dapat disimpulkan sebagai berikut:

a. Ditinjau dari aspek capaian berdasarkan tujuan, substansi dan usaha program percepatan difusi dan penerapan iptek ini dipandang sangat efektif untuk membangun kemandirian masyarakat yang berbasis potensi lokal yakni limbah kotoran sapi.
b. Ditinjau dari aspek hasil, manfaat dan dampak yang dihasilkan dari program ini sangat banyak yaitu: meningkatkan kesadaran masyarakat untuk memanfaatkan limbah kotoran sapi untuk energi alternatif biogas, meningkatnya pengetahuan dan ketrampilan masyarakat bidang pengolahan kotoran sapi menjadi biogas dan pupuk, tumbuhnya kelompok usaha pengolahan pupuk organik dari kotoran sapi di kelurahan Bambankerep, sehingga meningkatkan kesejahteraan masyarakat Kelurahan Bambankerep Ngaliyan Semarang

Rekomendasi

Peternak sapi di kelurahan Bambankerep Ngaliyan telah berhasil membuat pupuk organik dari kotoran sapi namun belum dipasarkan. Agar pengelolaan dalam pembuatan dan pemasaran pupuk organik kotoran sapi berlangsung

lancar maka perlu dibentuk kelompok usaha pemasaran pupuk organik yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

Afandhie Rosmarkam & Nasih Widya Yuwono, 2002, *Ilmu Kesuburan Tanah*, Yogyakarta: Penerbit Kanisius

Akhmad Prabowo dkk, 2008, *Teknologi Budidaya Sapi Potong*, Jakarta: Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian, Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian

Deptan, 2006.Pedoman-Pengelolaan-Limbah-Industri-Kelapa-sawit, http://www.scribd.com/doc/154337975/Deptan-2006-Pedoman-Pengelolaan-Limbah-Industri-Kelapa-Sawit diakses tanggal 30 September 2014

Eddy Nurtjahya dkk, 2003, *Pemanfaatan Limbah Ternak Ruminansia Untuk Mengurangi Pencemaran Lingkungan*, *Makalah Pengantar Falsafah Sains*, Bogor:Program Pasca Sarjana/S3 Institut Pertanian Bogor.

Kristanto, P, 2002, *Ekologi Industri*, Yogyakarta:ANDI,.

Mahida, U.N, 1984, *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*, Jakarta : Rajawali

Murbandono, L.H.S., 2000, *Membuat Kompos*, Jakarta: Penebar Swadaya,.

Murtiyem dkk, 2006, *Membuat Kompos Dari Limbah Kakao dan Ternak*, *Kerjasama Balai Penelitian Ternak Ciawi dengan Poor Farmer Project*, Jakarta: Badan Litbang Partanian Departemen Pertanian.

Musnamar, E. I., 2005, *Pupuk Organik Padat: Pembuatan dan Aplikasi*, Jakarta: Penebar Swadaya.

Ridwan. 2006. *Kotoran Ternak sebagai Pupuk dan Sumber Energi*. Diterbitkan pada Harian Independen Singgalang. Rabu, 1 Februari 2006.

Setiawan, A.I, 2008, *Memanfaatkan Kotoran Ternak Solusi Masalah Lingkungan dan Pemanfaatan Energi Alternatif,* Jakarta : Penebar Swadaya.

Sutejo, 1990, *Pupuk dan cara pemupukan*, Jakarta: Rineka Cipta.

Teguh Wikan Widodo, 2007, *Teknologi Biogas Dan Aplikasinya Untuk Masyarakat Pedesaan. Makalah disampaikan Pada Temu Komunikasi Dan Praktek Pemecahan Masalah Sektor Peternakan*. Jakarta: Badan Litbang Partanian Departemen Pertanian.

Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, Vol. 12, No. 2, Juni 2015, pp.179 - 188
ISSN 1693-2390 print/ISSN 2407-0939 online

SUPPORT VECTOR REGRESSION UNTUK PREDIKSI PRODUKTIVITAS KELAPA SAWIT DI PROVINSI RIAU

Mustakim[1], Agus Buono[2], Irman Hermadi[3]
[1] Jurusan Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293
Email: mustakim@uin-suska.ac.id
[2,3] Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
Jl. Meranti Wing 20 Level 5-6, Bogor, 16680 Telp/Faks. +62 251 862558
Email: [2]agusbuono@apps.ipb.ac.id, [3] irmanhermadi@apps.ipb.ac.id

(Received: 7April 2015; Revised: 2 Juni 2015; Accepted: 25 Juni 2015)

ABSTRAK

Krisis energi yang melanda wilayah Provinsi Riau dan sekitarnya memberikan dampak penurunan nilai ekonomi masyarakat, hal tersebut disebabkan salah satunya adalah negara selalu bergantung kepada sumber energi fosil. Upaya pemerintah untuk mengatasi krisis energi telah dilakukan dengan mengganti energi fosil dengan energi alternatif terbarukan dari limbah kelapa sawit. Produksi dan produktifitas kelapa sawit di Provinsi Riau memiliki peringkat terbesar di Indonesia, hal ini menjadi gambaran akan terwujudnya energi alternatif masa depan di Riau. Penelitian ini melakukan prediksi produksi dan produktifitas untuk kedepannya dengan menggunakan metode *Support Vector Regression*. Dari hasil percobaan yang dilakukan, diperoleh nilai prediksi untuk kedepannya mengalami penurunan hingga 52% dan hanya mengalami kenaikan 5 dari 74 lokasi sebesar 8% . Kernel SVR terbaik dari kombinasi percobaan ini adalah *Radial Basis Function*(RBF) dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 95% dan nilai *error* galat (MSE) sebesar 6% terdapat pada *fold* 1 dengan rentang $\gamma=2^0$ dan C 2^3.Hasil prediksi menunjukkan penurunan persentase produktifitas kelapa sawit untuk periode tahun berikutnya. Selisih data aktual dengan prediksi untuk rata-rata seluruh lokasi mencapai 10% dengan nilai penurunan hingga 52% dan 5 lokasi yang mengalami kenaikan sebesar 8% untuk periode selanjutnya.

Kata Kunci: Energi Terbarukan, Kelapa Sawit, *Radial Basis Function, Support Vector Regression*

ABSTRACT

The energy crisis hitting the Riau Province affects the economic impairment of society. One of the reason is that the country always depends on fossil energy resource. Government efforts to overcome the energy crisis has been done by replacing fossil energy with renewable alternative energy from palm oil waste. The production and productivity of palm oil in Riau Province has the highest rank in Indonesia, this becomes a future picture about realization of alternative energy in Riau. This research predicts on the future production and productivity by using Support Vector Regression. The results of experiments showed that the prediction value for the future have declined by 52% and increased only 5 out of the 74 locations at 8%. The best SVR kernel of this combination experiment are Radial Basis Function with a coefficient of determination (R2) at 95% and an error value galat (MSE) at 6% in fold 1 ranging from $\gamma = 2^0$ *and C* 2^3*. Research result for percentage prediction of productifity palm oil that descent next year. Between actual data and prediction data have average 10% for all location with descent 52% and sector 5 location have 8% for next period*

Keywords: *Oil Palm, Radial Basis Function, Renewable Energy, Support Vector Regression*

Corresponding Author
Mustakim,
Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau,
Email: mustakim@uin-suska.ac.id

Pendahuluan

Perkembangan energi di Indonesia saat ini telah mengalami perubahan secara signifikan dari negara pengekspor menjadi negara pengimpor. Berbagai kebijakan pemerintah yang ditetapkan untuk menyelamatkan energi terus dilakukan, namun hal itu dirasakan oleh berbagai pihak belum

Copyright © 2015, SITEKIN, ISSN 2407-0939

secara maksimal. Krisis energi yang dialami sebagian besar wilayah pelosok indonesia memberikan dampak negatif bagi pertumbuhan sektor ekonomi nasional. Setiap tahunnya kirsis energi selalu melanda wilayah-wilayah penghasil energi utama di negara ini, tidak terlepas Pulau Kalimantan dan Provinsi Riau.

Gambaran pengelolaan energi nasional 2006-2025 menyatakan bahwa persoalan terbesar terkait energi di Indonesia yaitu struktur Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) masih bergantung kepada migas dan subsidi Bahan Bakar Minyak (BBM), industri energi yang belum optimal, keterbatasan infrastruktur energi, belum tercapainya harga ekonomi energi serta pemanfaatan energi belum efisien [5]. Hal demikian yang menyebabkan produktivitas energi dan perekonomian di Indonesia semakin melemah, terutama terkait permasalahan ketergantungan terhadap BBM yang semakin lama energi fosil akan semakin berkurang [18].

Terlepas dari hal di atas, berdasarkan Undang-undang No. 30/ 2007 tentang energi pasal 20 ayat 4 yaitu penyediaan dan pemanfaatan energi baru dan terbarukan wajib ditingkatkan oleh pemerintah pusat dan pemerintah daerah sesuai dengan kewenangannya. Energi terbarukan yang dimaksud dalam undang-undang tersebut salah satunya adalah energi biomassa dengan berbahan baku kelapa sawit [11]. Bahan baku kelapa sawit atau limbah kelapa sawit dan dengan teknologi konversi energi maka energi ini dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik sebagai sumber bahan bakar utama PLTU [13]**.** Energi listrik yang dihasilkan oleh konversi energi ini sangat bergantung dari limbah yang dihasilkan oleh pusat pengolahan minyak kelapa sawit [12].

Provinsi Riau merupakan sebuah Provinsi dengan luas 8,91 juta Ha sangat berpotensi untuk menghasilkan kelapa sawit terbesar di Indonesia karena memiliki lahan perkebunan seluas 2,26 juta Ha dengan rata-rata produksi sebesar 6,93 juta ton per tahun yang tersebar di berbagai kabupaten [4]. Produktivitas kelapa sawit di Provinsi Riau setiap tahun mengalami peningkatan baik produksi maupun luas lahan perkebunan. Hal ini menjadi gambaran akan terwujudnya energi alternatif berbahan baku kelapa sawit untuk masa mendatang dengan berbagai proyeksi limbah yang dihasilkan sebagai pengganti energi fosil. Dari sumber yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik (BPS) terdapat nilai penurunan disuatu daerah, hal ini disebabkan karena perubahan/ penanaman ulang kelapa sawit yang telah mencapai batas usia produksi.

Keterkaitan antara energi alternatif masa depan dengan produksi kelapa sawit tidak terlepas dengan kondisi dan proyeksi sumber-sumber yang dihasilkan untuk jangka waktu yang lama. Kondisi ini mampu memberikan gambaran efektifnya sebuah daerah dalam mengembangkan energi terbarukan, dengan sumber yang memadai dan tidak kurang pasokan bahan bakunya [11]. Oleh sebab itu, rencana strategis untuk mewujudkan pembangunan sumber bahan baku energi alternatif adalah dengan melakukan prediksi terhadap produktivitas bahan baku serta daerah penghasil bahan baku tersebut.

Perkembangan teknologi komputasi telah banyak menghasilkan model-model kecerdasan komputasional yang dapat diterapkan untuk penyelesaian berbagai kasus seperti prediksi. Berbagai riset telah banyak dilakukan dengan menerapkan metode *Support Vector Regression* (SVR) untuk menyelesaikan kasus prediksi dengan akurasi yang baik dibandingkan metode yang lainnya. SVR merupakan metode yang dapat mengatasi *overfitting*, sehingga akan menghasilkan performansi yang bagus [16], memberikan kesimpulan tentang keunggulan dan hasil akurasi [9] dan dapat diterapkan untuk berbagai kasus dengan data kontiniu [15]. Tahun 2009, produksi dan produktifitas kelapa sawit pernah diprediksi menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN) akan tetapi tidak menyebutkan akurasi dari hasil prediksi tersebut [7].

Dalam penelitian ini akan dilakukan kombinasi percobaan berbasis *mechine learning* menggunakan metode SVR untuk mengetahui prediksi kedepannya terkait produktifitas kelapa sawit sebagai sumber energi alternaif di Riau. Data training dan testing yang digunakan yaitu data produksi kelapa sawit yang berasal dari BPS Provinsi Riau dengan mengacu data 8 Tahun terakhir terdiri dari 74 Kecamatan. Tujuan dari penelitian ini yaitu mencari model terbaik untuk melihat pola data antara observasi dan prediksi, selain itu bagaimana perbandingan antara observasi data aktual dengan hasil prediksi yang diperoleh dari kombinasi percobaan pada kernel terbaik.

Metode Penelitian

Metode penelitian dimulai dari perencanaan, studi pustaka, pengamatan objek penelitian, wawancara kepada beberapa pihak yang terlibat, pengumpulan data. Kemudian melakukan percobaan metode SVR dengan data-data yang telah diperoleh, beberpa langkah dalam percobaan tersebut digambarkan pada Gambar 1.

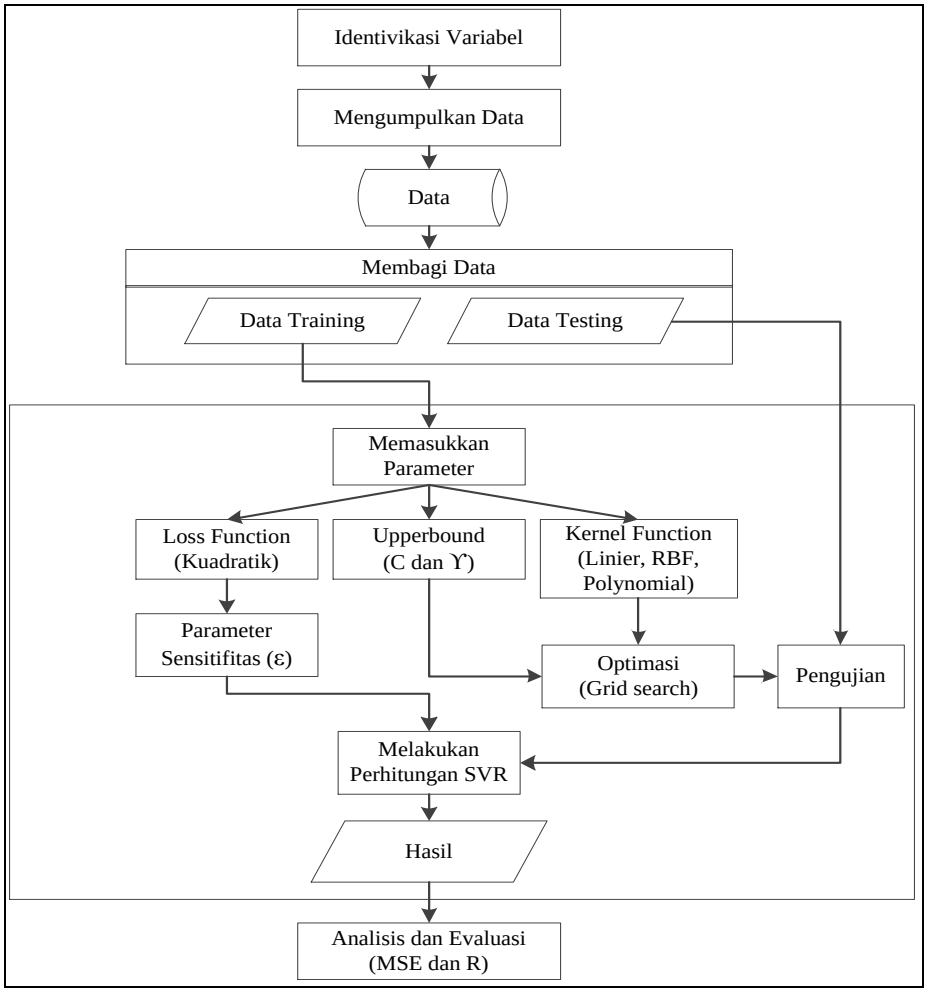
Min-Max Normalization

Normalization atau normalisasi data merupakan bagian dari data transformasi, yaitu teknik mengubah data menjadi nilai yang lebih mudah dipahami [14]. Tujuan normalisasi data

adalah mendapatkan bobot yang sama dari semua atribut data dan tidak bervariasi atau hasil dari pembobotan tersebut tidak terdapat atribut yang lebih dominan atau dianggap lebih utama dari pada yang lain.

Nilai rentang dari data memiliki ciri sangat bervariasi, sehingga nilai yang diperoleh harus diskalakan kedalam batas nilai tertentu supaya tidak terdapat dimensi data yang terlalu besar ataupun terlalu kecil yang dapat mempengaruhi hasil pengelompokan. Setiap nilai dalam data dikurangkan dengan nilai paling kecil dan dibagi dengan nilai paling besar kurang nilai paling kecil, sehingga skala rentang nilai yang didapatkan berada pada [0,0] hingga [1,0]. Min-max melakukan transformasi *linear* pada data, menggunakan nilai minimum dan nilai maksimum. Normalisasi min-max mempertahankan hubungan antar nilai data asli [10].Dengan demikian Min-Max Normalisasi secara matematis dapat dituliskan dalam formula berikut:

$$v' = \frac{v - \min}{\max - \min} \quad (1)$$



Gambar 1. Langkah percobaan pada metode SVR

Support Vector Regression (SVR)

SVR merupakan penerapan *Support Vector Machine* (SVM) untuk kasus regresi. Dalam kasus regresi *output* berupa bilangan riil atau kontinyu. SVR merupakan metode yang dapat mengatasi *overfitting*, sehingga akan menghasilkan performansi yang bagus [22].

Smola dan Scholkopf (2004) menjelaskan mengenai SVR dengan memisalkan suatu kondisi yang terdapat λ set data training, (x_j, y_j) dengan j=1,2,...λ dengan input $x = \{x_1,x_2,x_3\} \subseteq R^N$ dan output yang bersangkutan $y = \{y_i, ... ,y_\lambda\} \subseteq R^N$. Dengan SVR, akan ditemukan suatu fungsi f(x) yang mempunyai deviasi paling besar ε dari target aktual untuk semua data *training*. Maka dengan SVR ketika nilai ε sama dengan 0 akan

Copyright © 2015, SITEKIN, ISSN 2407-0939

Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, Vol. 12, No. 2, Juni 2015, pp.179 - 188
ISSN 1693-2390 print/ISSN 2407-0939 online

didapatkan regresi yang sempurna. Berdasarkan dari data, SVR ingin menemukan suatu fungsi regresi f(x) yang dapat mengaproksimasi *output* ke suatu target aktual, dengan *eror* toleransi-ε, dan kompleksitas yang minimal. Fungsi regresi f(x) dapat dinyatakan dengan formula sebagai berikut [22]:

$$f(x) = w^T \varphi(x) + b \tag{2}$$

Dimana φ(x) menunjukkan suatu titik didalam ruang fitur berdimensi lebih tinggi, hasil pemetaan dari input vektor x di dalam ruang input yang berdimensi lebih rendah. Koefisien w dan b diestimasi dengan cara meminimalkan fungsi resiko (*risk function*) yang didefinisikan dalam persamaan:

$$\min \frac{1}{2}\|w\|^2 + C\frac{1}{\lambda}\sum_{i=1}^{\lambda} L_{\in}(y_i, f(x_i)) \tag{3a}$$

yang memenuhi:

$$\begin{aligned} &y_i - w\varphi(x_i) - b \le \varepsilon \\ &w\varphi(x_i) - y_i + b \le \varepsilon, i = 1,2,...,\lambda \end{aligned} \tag{3b}$$

Dimana,

$$L_{\varepsilon}(y_i, f(x_i)) = \begin{cases} |y_i - f(x_i)| - \varepsilon |y_i - f(x_i)| \ge 0 \\ 0, \textit{untuk yang lain} \end{cases} \tag{3c}$$

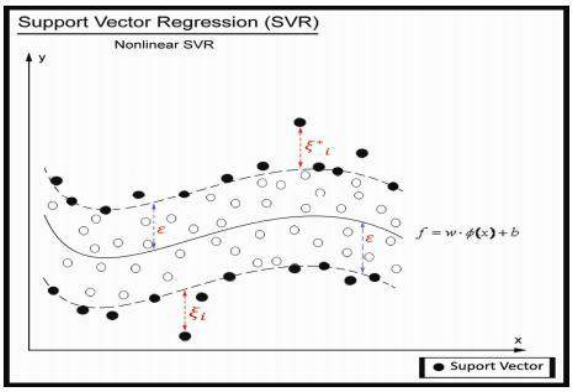
Faktor $\|w\|^2$ dinamakan reguralisasi. Meminimalkan $\|w\|^2$ akan membuat suatu fungsi setipis mungkin, sehingga dapat mengontrol kapasitas fungsi. *Empirical error* diukur dengan ε-*insensitiveloss function* yang diharuskan meminimalkan norm dari w agar mendapatkan generalisasi yang baik untuk fungsi regresi *f(x)*[22].Oleh karena itu diperlukan untuk menyelesaikan problem optimasi berikut:

$$\min \frac{1}{2}\|w\|^2 \tag{4a}$$

yang memenuhi:

$$\begin{aligned} &y_i - w\varphi(x_i) - b \le \varepsilon \\ &w\varphi(x_i) - y_i + b \le \varepsilon, i = 1,2,...,\lambda \end{aligned} \tag{4b}$$

Diasumsikan bahwa ada suatu fungsi *f* yang dapat mengaproksimasi semua titik (x^i,y^i), dengan presisi ε. Dalam kasus ini kita asumsikan bahwa semua titik ada dalam rentang f ± ε (*feasible*). Dalam hal ketidaklayakan (*infeasible*), dimana mungkin ada beberapa titik yang mungkin keluar dari rentang f ± ε, perlu ditambahkan variable slack ξ, ξ* untuk mengatasi masalah pembatas yang tidak layak (*infeasible constraint*) dalam problem optimasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Penambahan variabel *slack* pada SVR
(Sumber: Smola dan Schölkopf 2003)

Selanjutnya problem optimasi di atas bisa diformulasikan sebagai berikut:

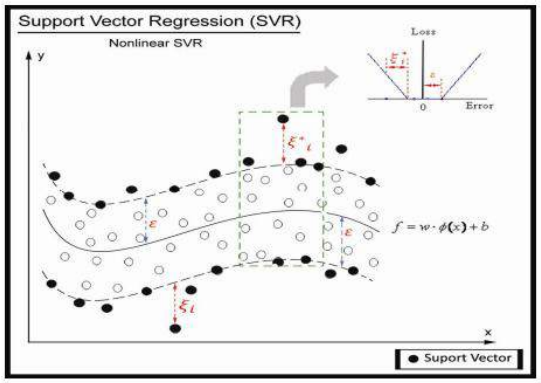
$$\min \frac{1}{2}\|w\|^2 + C\frac{1}{\lambda}\sum_{i=1}^{\lambda}(\xi_i, \xi_i^*) \tag{5a}$$

Dengan memenuhi:

$$\begin{aligned} &y_i - w^T\varphi(x_i) - b - \xi_i \le \in, i = 1,2,...,\lambda \\ &w\varphi(x_i) - y_i + b - \xi_i^* \le \in, i = 1,2,...,\lambda \\ &\xi_i, \xi_i^* \ge 0 \end{aligned} \tag{5b}$$

Konstanta C > 0 menentukan tawar menawar (*trade off*) antara ketipisan fungsi *f* dan batas atas deviasi lebih dari ε yang masih dapat ditoleransi. Semua deviasi lebih besar daripada ε akan dikenakan pinalti sebesar C. Dalam SVR, ε setara dengan akurasi dari aproksimasi terhadap data training. Nilai ε yang kecil terkait dengan nilai yang tinggi pada variable slack ξ* dan akurasi aproksimasi yang tinggi. Sebaliknya, nilai yang besar untuk ε berkaitan dengan nilai ξ* yang kecil dan aproksimasi yang rendah seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 3.

Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, Vol. 12, No. 2, Juni 2015, pp.179 - 188
ISSN 1693-2390 print/ISSN 2407-0939 online



Gambar 3 Ilustrasi proses SVR
(Sumber: Smola dan Schölkopf 2003)

Nilai yang tinggi untuk variabel *slack* akan membuat *empiricalerror* mempunyai pengaruh yang besar terhadap faktor regulasi. Dalam SVR, *support vector* adalah data *training* yang terletak pada dan diluar batas *f* dari fungsi keputusan, karena itu jumlah *support vector* menurun dengan naiknya ε (Smola dan Schölkopf 2003).

Terdapat 3 fungsi kernel pada model SVR, yaitu *Linear*, *Polynomial* dan *Radial Basis Function* (RBF). Fungsi-fungsi kernel tersebut dalam LIBSVM [21] diformulasikan sebagai berikut :

Kernel *Linear*

$$k(x,y) = x^T y + C \quad (6)$$

Kernel *Polynomial*

$$k(x,y) = (\varrho\, x^T y + C)^d \quad (7)$$

Kernel *Radian Basis Function* (RBF)

$$k(x,y) = exp(-\Upsilon||x-y||^2) \quad (8)$$

Dalam regresi ada beberapa ukuran ukuran *error* yang sering dipakai untuk menilai performansi suatu fungsi prediksi. Jika y_i menyatakan nilai prediksi untuk data ke-i dan $\hat{y}_i$ adalah nilai *output* aktual data ke-i dan m adalah banyaknya data, maka beberapa ukuran *error* yang sering dipakai adalah:

Mean squared error (MSE)

$$MSE = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}(\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (9)$$

Mean absolute deviation (MAD)

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{m}|\hat{y}_i - y_i|}{m} \quad (10)$$

Mean absolute percentage error (MAPE)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{m} APE_I}{m} \quad (11)$$

Dimana

$$APE = \frac{\sum_{i=1}^{m}|\hat{y}_i - y_i|}{m} \text{ x100} \quad (12)$$

Dengan melihat salah satu atau lebih ukuran *error* diatas, dapat dipilih metode mana yang terbaik untuk suatu set data, semakin kecil nilai MSE, MAD atau MAPE maka semakin bagus[21].

K-Fold Cross Falidation

K-fold cross validation dilakukan untuk membagi data menjadi *training set* dan *test set*. Inti dari validasi tipe ini adalah membagi data secara acak ke dalam k himpunan bagian yang diinginkan. *K-fold cross validation* mengulang k-kali untuk membagi sebuah himpunan secara acak menjadi k himpunan bagian yang paling bebas, setiap ulangan disisakan satu himpunan bagian untuk uji dan himpunan bagian lainnya untuk pelatihan [6].

K himpunan bagian dipilih satu himpunan bagian menjadi data pengujian dan (k-1) dijadikan sebagai data pelatihan. Namun, secara teori tidak ada tolak ukur yang pasti untuk nilai k. Keuntungan *k-fold cross validation* dibandingkan dengan variasi *cross validation* seperti *Repeated random sub-sampling validation* adalah semua data digunakan baik untuk data uji maupun data latih [3].

Grid Search Optimation

Metode *Grid search* merupakan salah satu metode yang sederhana untuk mengatasi permasalahan optimasi [19]. Metode ini melibatkan penyusunan *grid* yang cocok dalam suatu ruang dimensi, mengevaluasi fungsi objektif dari seluruh titik *grid*, dan menemukan titik *grid* yang sesuai dengan fungsi objektif yang memiliki nilai optimum. Prinsip kerja metode ini

Copyright © 2015, SITEKIN, ISSN 2407-0939

Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, Vol. 12, No. 2, Juni 2015, pp.179 - 188
ISSN 1693-2390 print/ISSN 2407-0939 online

secara sederhana adalah dengan menentukan beberapa nilai parameter pada rentang tertentu, kemudian memilih parameter pada nilai terbaik pada rentang tersebut dan melakukan pencarian berulang pada *grid*[8].

Hasil dan Pembahasan

Pemilihan Data dan Prediktor

Pemilihan data alternatif dilakukan dengan praposes data Kecamatan di Riau yang mengacu kepada aturan Standar Minimum Produksi (SMP) dari setiap wilayah. Beberapa perusahaan dan Dinas menetapkan SMP yang digunakan sebagai target untuk kelayakan bahan baku energi terbarukan adalah 1.000 Ton/ Periode atau minimum rata-rata HPP 1.000 Ton/ Tahun. Dari 142 Kecamatan hanya 74 Kecamatan yang memenuhi standar ketetapan minimum produksi yang berada diatas 1.000 Ton/ Periode. Dengan demikian data inilah yang dijadikan sebagai acuan dalam penelitian ini sebagai data prediktornya.

Setelah menetapkan dan memperoleh titik-titik data yang akan digunakan untuk melakukan prediksi, langkah selanjutnya adalah membagi data menjadi dua bagian yaitu *training set data* dan *test set data*. Pembagian ini dilakukan berdasarkan *k-fold cross falidation* dengan membagi data secara acak ke dalam k himpunan bagian dengan semua data digunakan baik untuk data uji maupun data latih [3]. Data akan dibagi menjadi *4-fold* yang masing-masing *fold* terdiri dari 24 data latih dan 8 data uji. Ilustrasi data latih dan data uji terdapat pada Gambar 4 berikut:

Fold-1	Latih (1-8)	Latih (9-16)	Latih (17-24)	Uji (25-32)
Fold-2	Latih (1-8)	Latih (9-16)	Uji (17-24)	Latih (25-32)
Fold-3	Latih (1-8)	Uji (9-16)	Latih (17-24)	Latih (25-32)
Fold-4	Uji (1-8)	Latih (9-16)	Latih (17-24)	Latih (25-32)

Gambar 4. Ilustrasi data latih dan data uji pada *K-fold cross validation* yang digunakan

Penggunaan data yang akan diproses menggunakan SVR berdasarkan data normalisasi yang memprediksi dengan data dirinya sendiri dalam bentuk *time series*. Riset yang sama telah dilakukan oleh Ayuning Pramesthi Pintoasari tahun 2011 untuk prediksi alokasi *check-incounter* bandara Soekarno-Hatta 10 tahun kedepan, riset ini menggunakan data *time series* untuk meprediksi jumlah penumpang ditahun atau periode selanjutnya menggunakan data-data 10 tahun terakhir sebagai prediktornya [17].

Optimasi dan Fungsi Kernel SVR

SVR membutuhkan parameter yang sesuai dengan kernelnya dalam melakukan pelatihan. Untuk mendapatkan kernel yang optimal, pada saat pelatihan dilakukan optimasi menggunakan *grid search*. Terdapat 2 Parameter yang dioptimalkan dengan *grid search* yaitu parameter C dan parameter γ. Parameter C merupakan nilai pinalti terhadap galat model SVR, sedangkan parameter γ adalah parameter yang digunakan sebagai masukan untuk fungsi-fungsi kernel yang akan digunakan. Kernel RBF dan *polynomial* memerlukan parameter C dan γ, sedangkan pada kernel *linear* hanya memerlukan parameter C [1]. Untuk mencari nilai optimum dari parameter C dan γ dilakukan proses kombinasi percobaan pelatihan dan pengujian sebanyak 220 kali kombinasi percobaan untuk RBF, 44 kali kombinasi percobaan untuk *linear* dan 220 kali kombinasi percobaan untuk *polynomial* dengan variasi nilai parameter C dan γ sehingga dihasilkan sebuah model yang optimal. Selain dari parameter C dan γ, dilakukan pengujian dengan menerapkan parameter *New-SVR* dengan nilai 4. Kinerja model fungsi kernel dapat diketahui melalui nilai *corelation coefitient* (R) dan nilai galat *Mean Squared Error* (MSE). Model yang terbaik adalah model dengan nilai R terbesar (mendekati 1) dan nilai galat MSE terkecil (mendekati 0).

Simulasi yang dilakukan untuk mencari akurasi terbaik pada kernel RBF dan *polynomial* adalah dengan kombinasi C antara 2^{-6} sampai dengan 2^{5} dan kombinasi γ antara 2^{-1} sampai dengan 2^{4} dengan 220 kombinasi percobaan. Demikian juga untuk kernel *linear* yaitu antara 2^{-6} sampai dengan 2^{5} kombinasi C. Model kombinasi ini juga dilakukan oleh Hendra Gunawan untuk mencari akurasi terbaik pada kasus prediksi produksi padi pada tahun 2012 yang menghasilkan akurasi diatas 95% [6].

Kombinasi Percobaan Kernel SVR

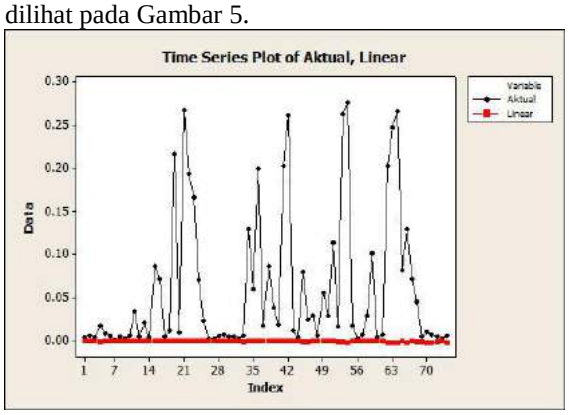
Sesuai dengan simulasi yang jalankan dengan melakukan optimasi *grid search* pada 4 *fold cross falidation* diperoleh nilai MSE dan korelasi (R) beragam. Dari keempat *fold* memiliki nilai R atau dinyatakan dalam bentuk koefisien determinasi (R^2) maksimum 0,949855 pada *fold* 1 kernel RBF serta memiliki nilai MSE minimum 0,013948 pada *fold* 2 kernel RBF. Percobaan ini terus dilakukan sampai mendapatkan model terbaik.

Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, Vol. 12, No. 2, Juni 2015, pp.179 - 188
ISSN 1693-2390 print/ISSN 2407-0939 online

Percobaan pada Kernel Linear

Pada kernel *linear* beberapa tahapan dan langkah yang dilakukan adalah dengan mengoptimalkan paramater C. Sesuai dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan oleh beberapa peneliti, kernel *linear* merupakan kernel yang paling sederhana dibandingkan dengan yang lain. Melakukan kombinasi percobaan yang berada pada rentang 2^{-6} sampai dengan 2^{5} menghasilkan MSE minimum 0,053308 atau 5% dengan R^2 maksimum 0,921253 atau 92%. Hal ini cukup memberikan akurasi tinggi pada penelitian ini jika tanpa membandingkan hasil percobaan kernel yang lain.

Prediksi diambil berdasarkan model terbaik hasil kombinasi percobaan yang telah dilakukan. Hubungan yang kuat antara observasi dan prediksi menunjukkan korelasi yang semakin kuat dan semakin kecil pula ukuran galat antara nilai yang diamati dan prediksi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.

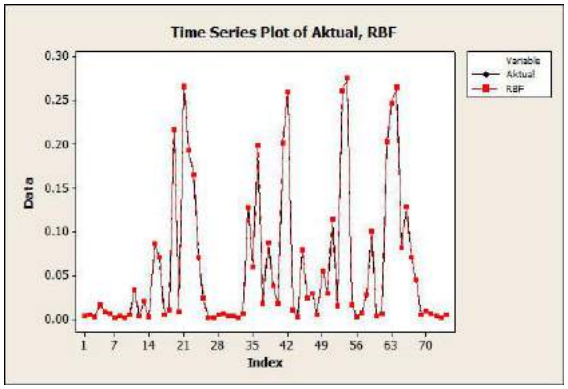


Gambar 5. Perbandingan hasil prediksi kernel *linear* dengan observasi pada produksi kelapa sawit dalam bentuk normal

Percobaan pada Kernel RBF

Berbeda dengan kernel *linear*, kernel RBF akan mongotimalkan nilai γ pada rentang 2^{-1} sampai dengan 2^{4} dan parameter C pada rentang yang sama dengan kernel liner dapat dipeloreh nilai nilai galat terkecil pada *fold* 2 sebesar 1,4% dengan koefisien determinasi terbesar pada *fold* 1 sebesar 95%.

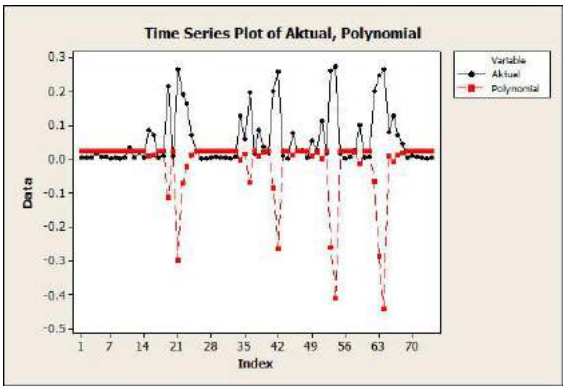
Hubungan antara observasi dan prediksi pada kernel RBF memiliki pola yang lebih baik dibandingkan dengan kernel *linear*, hal ini disebabkan bahwa kernel RBF merupakan kernel yang menghasilkan nilai koefisien kolerasi terbaik diantra yang lainnya. Gambar 6 berikut merupakan perbandingan antara hasil prediksi dan observasi pada kernel RBF.



Gambar 6. Perbandingan hasil prediksi kernel RBF dengan observasi pada produksi kelapa sawit dalam bentuk normal

Percobaan pada Kernel Polynomial

Sama halnya dengan RBF, kernel *polynomial* mongotimalkan nilai γ dan C dengan rentang yang sama seperti pada RBF. Percobaan terbaik pada *polynomial* terdapat pada *fold* 1 pada rentang γ dan C antara 2^{-1} dan 2^{0} dengan nilai galat 18% dan koefisien determinasi sebsar 62%. Hubungan antara observasi dan prediksi pada kernel *polynomial* ditunjukkan pada Gambar 7 berikut:



Gambar 7. Perbandingan hasil prediksi kernel *polynomial* dengan observasi pada produksi kelapa sawit dalam bentuk normal

Apabila dilihat pada Gambar 7 diatas bahwa hasil prediksi semakin menjauhi dari nilai observasinya, makin tinggi nilai observasi maka semakin rendah nilai prediksi yang dihasilkan. Beberapa penelitian sebelumnya dengan kasus berbeda, kesimpulan yang dihasilkan dari prediksi *polynomial* merupakan kernel terburuk dibandingkan dengan dua kernel RBF dan *linear*.

Kernel SVR Terhadap Model Terbaik

Pada kasus ini kernel yang paling tidak direkomendasikan adalah *polynomial* dan *linear*, karena kedua kernel ini memiliki hasil prediksi

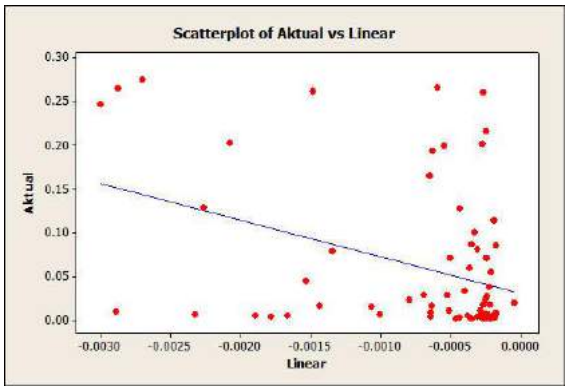
Copyright © 2015, SITEKIN, ISSN 2407-0939

yang memiliki rentang sangat jauh dengan observasinya. Sedangkan pada kernel RBF menghasilkan model terbaik diantara kernel yang lain. RBF memiliki pola yang mengikuti nilai observasinya serta menghasilkan selisih paling sedikit antara obeservasi dan prediksinya hal tersebut telah ditunjukkan dan dibuktikan pada Gambar 5, 6 serta 7 diatas. Nilai galat dan koefisien determinasi dari ketiga kernel tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

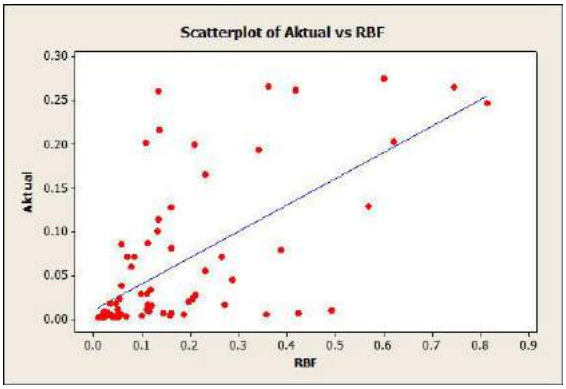
Tabel 1. MSE dan R^2 pada masing-masing kernel

Kernel	**MSE**	**R^2**
Linear	0,10	0,92
Radial Basis Function	0,06	0,95
Polynomial	0.18	0,62

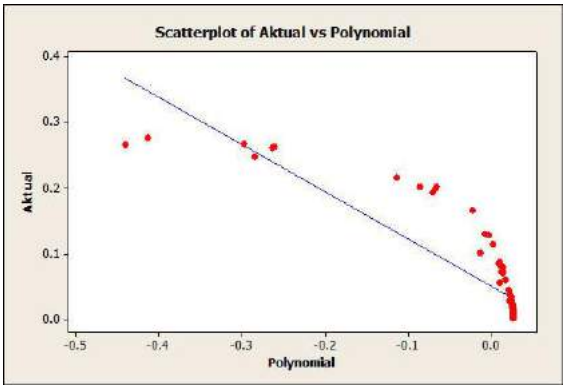
Dapat dilihat bahwa ketiga kernel tersebut memiliki rentang tidak terlalu jauh antara yang satu dengan yang lain. Pada nilai galat antara ketiganya memiliki selisih dibawah 15% dengan nilai terendah pada kernel RBF, sedangkan koefisien korelasi antara kedua kernel masih dibilang cukup tinggi dibandingkan kernel RBF yaitu memiliki selisih dibawah 35%. Penyebab ketiga kernel memiliki rentang korelasi yang masih tinggi dan hanya memiliki selisih yang tidak terlalu jauh yaitu terkait permasalahan data latih dan data uji yang kecil. Kurangnya kumpulan data yang besar dapat menyebabkan pola yang dibentuk tidak berfariatif. Berdasarkan skaterplot pola yang dibentuk dari ketiga kernel tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 8(a), 8(b) dan 8(c) berikut:



Gambar 8(a). Scaterplot hasil prediksi kernel *linear* dengan observasi



Gambar 8(b). Scaterplot hasil prediksi kernel *RBF* dengan observasi



Gambar 8(c). Scaterplot hasil prediksi kernel *Polynomial* dengan observasi

Jika ditelaah lebih mendalam, model prediksi yang menunjukkan tingkat korelasi tertinggi dan nilai galat terendah dari percobaan adalah dengan menggunakan kernel RBF. Hal ini sesuai dengan panduan SVM yang menjelaskan bahwa kernel RBF memang lebih unggul dalam kasus-kasus *machine-learning* pada umumnya [8].

Dari hasil percobaan yang dilakukan terkait kasus prediksi untuk periode selanjutnya terdapat 52% secara keseluruhan dari semua lokasi mengalami penurunan produksi hingga mencapai 10%. Sedangkan untuk nilai kenaikan hanya mencapai 8% terdapat pada 5 lokasi alternatif penghasil kelapa sawit. Dengan demikian dapat dikatakan untuk setiap periode selanjutnya produksi kelapa sawit di Riau rata-rata akan mengalami kenaikan yang sangat kecil. Jika dilihat dari data percobaan yang digunakan, keadaan tersebut memiliki kesamaan pada periode 2006 ke 2007 yang hanya mengalami kenaikan produksi yang sangat minim untuk keseluruhan wilayah.

Kesimpulan

Dari percobaan yang dilakukan diperoleh model terbaik SVR yaitu pada kernel RBF dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 95% dengan nilai *error* galat (MSE) sebesar 6% terdapat pada *fold* 1 dengan rentang $\gamma=2^0$ dan C 2^3. Penentuan optimasi dari parameter C pada setiap kernel yaitu semakin tinggi atau besar nilai C maka semakin besar pula nilai MSE yaitu pada C pada rentang 2^4 dan 2^5 dan γ pada rentang 2^{-5} dan 2^4.Berdasarkan hasil perbandingan diperoleh model terbaik pada RBF yaitu pada *fold* 1 dengan nilai MSE sebesar 6% dan R^2 sebesar 95% dengan rentang nilai $\gamma=2^0$ dan C 2^3. Dalam percobaan ini juga diperoleh nilai MSE terkecil 1,4% pada *fold* 2 akan tetapi pada rentang terbaik hanya memiliki nilai koefisien kolerasi sebesar 67%. Oleh karena itu model diambil berdasarkan nilai koefisien diterminasi tertinggi yaitu pada *fold 1*.

Dari skaterplot dapat dilihat bahwa kernel *Linear* dan *Polynomial* lebih cenderung menjauhi data aktualnya dibandingkan dengan kernel RBF. Secara konsep dan matematis prediksi akan diambil berdasarkan model terbaik dengan pola data yang tidak saling berjauhan secara signifikan. Hasil prediksi menunjukkan penurunan persentase produktifitas kelapa sawit untuk periode berikutnya. Nilai selisih data aktual dengan prediksi untuk rata-rata seluruh lokasi mencapai 10% dengan nilai penurunan hingga 52% dan 5 lokasi yang mengalami kenaikan sebesar 8% untuk periode selanjutnya.

Daftar Pustaka

[1] Adhani, G., Buono, A., Faqih, A., Support Vector Regression modelling for rainfall prediction in dry season based on Southern Oscillation Index and NINO3.4,*International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems*, 2013, pp:315-320.

[2] Apriani, I., Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit Sebagai Energi Alternatif Terbaharukan (Biogas), Tesis, Program Studi Teknologi Mesin Bioinformatika, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2009.

[3] Buono, A., Agmalaro, M. A., Faqih, M.,Statistical Downscaling Model Based-on Support Vector Regression to Predict Monthly Rainfall: A Case Study in Indramayu District,*Converence Asian Federation for Information Technology in Agriculture*, 2013.

[4] Badan Pusat Statistik Provinsi Riau,*Riau Dalam Angka 2006-2013 dan Kabupaten Dalam Angka 2006-2013*. 2013.

[5] Elinur, Analisis Konsumsi dan Penyediaan Energi dalam Perekonomian Indonesia, Tesis, Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2011.

[6] Gunawan, H., Seleksi Hyperspectral Band Menggunakan Recursive Feature Elimination untuk Prediksi Produksi Padi dengan Support Vector Regression, Tesis, Program Studi Ilmu Komputer, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2012.

[7] Hermantoro, R. W. P., Prediksi Produksi Kelapa Sawit Berdasarkan Kualitas Lahan Menggunakan Model Artificial Neural Nettwork (ANN),*Jurnal Agroteknose*,4(2), 2009.

[8] Hidayat, R., Sistem Prediksi Status Gizi Balita dengan Menggunakan Support Vector Regression, Skripsi, Program Studi Ilmu Komputer, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2013.

[9] Ibrahim,N.,Wibowo, A., Support Vector Regression with Missing Data Treatment Based Variables Selection for Water Level Prediction of Galas River in Kelantan Malaysia,*Wseas Transactions on Mathematics*, 13(1), 2014, E-ISSN: 2224-2880.

[10] Jain, Y. K., Bhandare, S. K., Min Max Normalization Based Data Perturbation Method for Privacy Protection,*International Journal of Computer & communication Technology*, 2(8), 2011.

[11] Kusdiana, D., Kondisi Rill Kebutuhan Energi di Indonesia dan Sumber-sumber Energi Alternatif Terbarukan, Diektorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008.

[12] Kusuma, I. P., Studi Pemanfaatan Biomassa Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Kalimantan Selatan (Studi Kasus Kabupaten Tanah Laut). *Prociding Seminar Nasional Teknologi Industri.*2011.

[13] Mahajoeno, E., Pengembangan Energi Terbarukan Dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit, Tesis, Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2008.

[14] Patel,V. R., Mehta, R. G., Impact of Outlier Removal and Normalization Approach in

Copyright © 2015, SITEKIN, ISSN 2407-0939

Modified K-Means Clustering Algorithm, *IJCSI International Journal of Computer Science Issues.* 8(5), 2011.

[15] Paz,J. F., A Support Vector Regression Approach to Predict Carbon Dioxide Exchange, A.P. de Leon F. de Carvalho et al. (Eds.): *Distrib. Computing & Artif. Intell., AISC* 79, 2010, pp. 157–164.

[16] Piantari, E., Feature Selection Data Hiperspektral Untuk Prediksi Produktivitas Padi dengan Algoritme Genetika Support Vector Regression,Skripsi, Program Studi Teknologi Ilmu Komputer, Institut Pertanian Bogor, Bogor,2011.

[17] Pintoasari, A. P., Penentuan Alokasi Check-In Counter Terminal Bandara untuk 10 Tahun kedepan dengan Metode Support Vector Regession,Tesis, Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia. 2010.

[18] Pudyantoro A. R., Dampak Kebijakan Fiskal dan Sektor Hulu Migas Terhadap Perekonomian Provinsi Riau,Tesis, Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2013.

[19] Rao, S. S.,*Engineering Optimization: Theory and Practice*,2009,John Wiley and Sons, Newyork.

[20] Saepudin, A., Energi Terbarukan (Biogas) dari Limbah Kelapa Sawit, Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik,Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), 2010.

[21] Santosa, B.,*Data Mining Teknik Pemanfaatan Data untuk Keperluan Bisnis*. 2007. Graha Ilmu. Yogyakarta.

[22] Smola, A., Schölkopf , B., "A Tutorial on Support Vector Regression", NeuroCOLT, Technical Report NC-TR-98-030, *Royal Holloway College, University of London* UK, 2003.

Survei Penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Di Tanah Laut Berdasarkan Citra Radar Banjarmasin

Hanif Kurniadi[1], Arifah Dwi Yuliani[2], Ismah Atikah Khairunnisa[3], Syadza Siskayani Putri[4], Eko Wardoyo[5], Imma Redha Nugraheni[6]

1,6 Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jalan Perhubungan I No.5 Pondok Betung, Pd. Aren, Tangerang Selatan
5 Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Angkasa I No.2 Kemayoran, Jakarta Pusat, DKI Jakarta

Email: hanifkurniadi21@gmail.com

Abstrack :*Indonesia's electricity consumption has increased every year. One way to overcome this problem is by utilizing renewable energy sources such as wind. Utilization of this energy uses wind turbines installed at locations that have met the requirements. Therefore, information on wind conditions in several layers is required by using radar products such as CAPPI, PPI, and HWIND which are processed using Rainbow 5 software and then interpreted in a daily wind speed graph. Data obtained from radar imagery of Syamsudin Noor Meteorological Station-Banjarmasin. And to determine the boundary conditions of the wind layer is determined according to the length of the turbine blades to calculate the minimum wind speed needed to drive the turbine blades. The results of this study show that wind conditions in layers of 100 to 600 meters tend to be the same, making it difficult to determine the maximum height of the wind layer and from 7 days of the observation sample, it is found that some average wind speeds per day are 4.076923 m / s, 4.777778 m / s, 4.393939 m / s, 0.75 m / s, 0.72973 m / s, 3.678571 m / s, and 1.4375 m / s, which are known to have not met the minimum wind speed requirements for wind farm (PLTB) to produce optimal energy.*

Keywords : Renewable Energy, PLTB, Weather Radar, Wind

Abstrak : Konsumsi listrik Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya. Salah satu untuk mengatasi masalah tersebut dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti angin. Pemanfaatan energi ini menggunakan turbin angin yang dipasang pada lokasi yang telah memenuhi syarat. Karena itu, diperlukan informasi kondisi angin dibeberapa lapisan dengan menggunakan produk radar seperti CAPPI, PPI, dan HWIND yang diolah menggunakan perangkat lunak Rainbow 5 lalu diintrepretasikan dalam grafik kecepatan angin harian. Data diperoleh dari citra radar Stasiun Meteorologi Kelas II Syamsudin Noor-Banjarmasin. Dan untuk menentukan kondisi batas lapisan angin ditentukan sesuai panjang dari baling-baling turbin untuk memperhitungkan kecepatan angin minimal yang diperlukan untuk menggerakkan baling-baling turbin. Hasil penelitian ini memperlihatkan kondisi angin di lapisan 100 hingga 600 meter cenderung sama, sehingga sulit untuk menentukan ketinggian lapisan angin maksimum dan dari 7 hari sebagai sampel pengamatan didapatkan beberapa kecepatan angin rata-rata perhari antara lain 4.076923 m/s, 4.777778 m/s, 4.393939 m/s, 0,75 m/s, 0.72973 m/s, 3.678571 m/s, dan 1.4375 m/s yang diketahui belum memenuhi persyaratan kecepatan angin minimum yang diperlukan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) untuk menghasilkan energi yang optimal.

Kata kunci : Energi Terbarukan, PLTB, Radar Cuaca, Angin

1. PENDAHULUAN

Manusia tumbuh dalam ketergantungan energi, membuat energi menjadi salah satu faktor penting dalam perkembangan berkelanjutan (Azizi dkk., 2014). Data dari kementerian ESDM konsumsi listrik Indonesia setiap tahunnya terus meningkat, terakhir pada tahun 2017

mencapai 1.012 Kilowatt per Hour (KWH)/kapita, naik sebesar 5,9 persen dari tahun sebelumnya (Kementerian ESDM. 2018). Fakta bahwa bahan penyumbang 45% sumber energi di seluruh dunia dihasilkan dari minyak dan pengaruh harga sumber energi sangat berpengaruh pada produktivitas ril, inflasi, dan biaya ini sangat menentukan kesejahteraan relatif masyarakat (Liun dan Sunardi, 2014). Meskipun memiliki dampak buruk bagi lingkungan, permintaan energi yang berasal dari bahan bakar fosil terus meningkat (Azizi dkk., 2014). Adanya ancaman perubahan iklim, membuat dunia untuk bekerja menggunakan energi terbarukan (Aydin dkk., 2009). Sehingga menurut Septiadi dkk. (2009) karena keterbatasannya serta dampak kerusakan lingkungan yang dihasilkan oleh sumber energi fosil, maka kita perlu melakukan penganekaragaman pemanfaatan sumber energi non fosil.

Salah satu energi terbarukan yang tidak ada habisnya dan ramah lingkungan adalah angin (Pandian dan Iyappan, 2015). Energi angin juga dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil (Global Wind Energy Council. 2013 dan Teng dan Yu. 2005). Di dunia, kapasitas pembangkit listrik tenaga angin yang terpasang menempati urutan kedua setelah pembangkit tenaga air (Renewable Global status report. 2011). Wakeyama dan Ehara (2010) menyatakan bahwa memperkenalkan pemakaian energi terbarukan adalah hal yang penting apalagi dilihat dari potensinya dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Seperti penelitian mereka yang dilakukan di Jepang, memanfaatkan angin dalam pengembangan energi yang bertujuan untuk mengurangi dampak gas rumah kaca akibat pengaruh gas CO_2 akibat bahan bakar fosil.

Informasi mengenai energi angin merupakan hal yang mendasar yang sangat penting dalam upaya pemanfaatannya secara maksimal. Pengetahuan tentang lokasi yang tepat sumber energi angin untuk dimanfaatkan adalah hal sangat krusial. Tapi ternyata menentukan lokasi untuk pembangkit listrik tenaga angin tidaklah mudah. Penentuan lokasi ini sangat kompleks dan membutuhkan penelitian mengenai pemilihan lokasi yang yang tepat (Abdel Hamid, 2011). Potensi pembangunan sumber energi terbarukan bergantung pada geografis serta infrastruktur yang ada saat ini (Simoes dkk., 2017). Menurut Bennui dkk. (2007) pembangunan juga melibatkan berbagai macam persyaratan untuk menentukan lokasi pembangkit listrik tenaga angin seperti persyaratan fisik, ekonomi, sosial, lingkungan, dan politik, serta syarat-syarat teknis yang memungkinkan adanya perbedaan tujuan.

Penelitian yang dilakukan oleh Habibie. dkk (2011) mengenai potensi pembangkit listrik energi angin juga pernah dilakukan di Indonesia sebelumnya yaitu di daerah Maluku dan Sulawesi pada tahun 2011 yang didapatkan dengan kecepatan angin minimum 2,5 m/s turbin angin dapat berputar dan menghasilkan listrik. Namun, kondisi ini berbeda setiap daerah tergantung kondisi geografis dan meteorologis sekitar turbin angin. Seperti penelitian yang dilakukan di Mesir yang memiliki angin minimum sebesar 5 m/s agar dapat menggerakkan turbin (Abdel Hamid, 2011). Karenanya dalam pembangunan pembangkit listrik tenaga angin atau PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap faktor-faktor sekitar tempat turbin akan dipasang. Seperti penelitian mengenai kemiringan tempat turbin, angin minimum, dan mempertimbangkan syarat tempat berdirinya turbin lainnya (Pandian dan Iyappan, 2015). Turbin angin atau kincir angin merupakan suatu alat yang mengubah energi gerak angin menjadi energi gerak berupa putaran baling-baling atau kincir, sehingga putaran kincir dapat memutar generator, yang menghasilkan energi listrik (Sumiati dan Zamri. 2013). Baling-baling merupakan komponen utama. Karena dalam prinsip pemanfaatan energi angin secara langsung melalui baling-baling. Sehingga dapat berputar dan menghasilkan energi listrik.

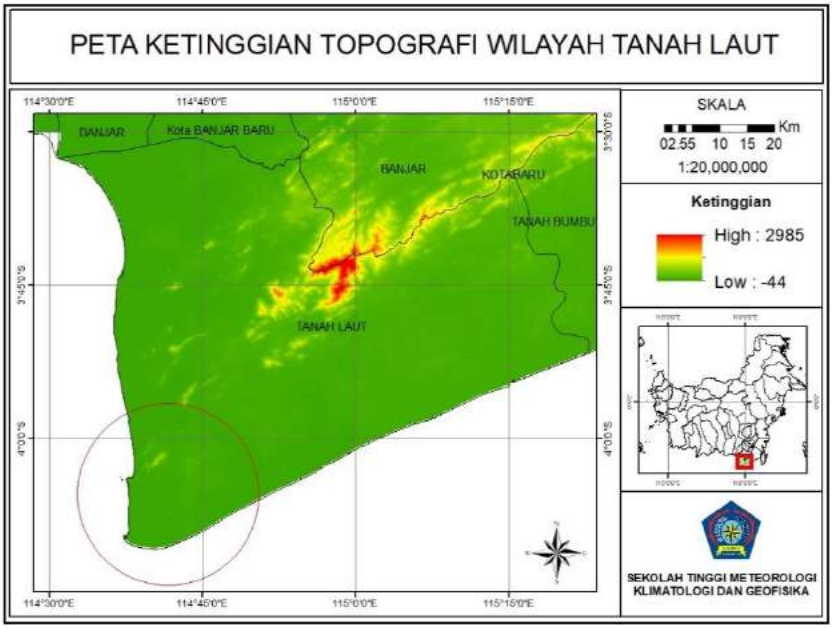
Dalam beberapa penelitian sebelumnya mengenai turbin angin, masih jarang yang memanfaatkan produk radar khususnya produk V. Dimana itu merupakan produk radar yang

menunjukkan kecepatan dan arah angin pada daerah yang diamati radar. Radar juga dapat melihat kecepatan dan arah angin tiap lapisan yang diperlukan dengan sudut azimuth 360^0 dan elevasi maksimum $19{,}5^0$ dari radar. Dengan memanfaatkan produk radar yang tersedia di perangkat lunak pengolah data radar seperti *Rainbow* untuk mengolah data dari radar *gematronik*, kita dapat mengetahui kondisi angin di area *scanning* radar baik secara vertikal maupun horizontal. Adanya fitur ini, dapat mempermudah dalam mengidentifikasi keadaan angin sesuai dengan kebutuhan.

Sehingga dalam penelitian mengenai penentuan tempat turbin angin ini, kami mengidentifikasi kondisi angin pada lapisan tertentu sesuai panjang dari baling-baling turbin untuk memperhitungkan kecepatan angin yang diperlukan untuk menggerakkan baling-baling turbin sehingga dapat digunakan dalam pertimbangan dalam penentuan penempatan turbin nantinya.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada pada koordinat 114°30'20" - 115°23'31" BT dan 3°30'33" - 4°11'38" LS yang merupakan wilayah kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Dalam penelitian ini digunakan data arah dan kecepatan angin yang diperoleh dari pengamatan radar Stasiun Meteorologi Kelas II Syamsudin Noor-Banjarmasin. Data yang digunakan adalah data satu bulan pada bulan September 2018 karena memiliki angin minimum berdasarkan perhitungan statistik dari 3 stasiun pengamatan yaitu Stasiun Meteorologi Kelas II Syamsudin Noor-Banjarmasin, Stasiun Klimatologi Kotabaru, dan Stasiun Klimatologi Banjarmasin yang dilakukan selama 2010-2018. Kecepatan angin minimum rata-rata dipilih untuk mengetahui kemampuan baling-baling berputar dalam konsdisi angin minimum untuk menghasilkan energi yang optimal pada waktu tersebut.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini digunakan aplikasi pengolahan data radar *Rainbow 5* dan *Microsoft Excel* 2016. Penggunaan *Microsoft Excel* 2016 untuk memudahkan peneliti dan pembaca dalam membaca data dari hasil keluaran aplikasi *Rainbow 5*. Data yang digunakan dari pengamatan radar Stasiun Meteorologi Kelas II Syamsudin Noor-Banjarmasin adalah data mentah (*rawdata*). Data mentah ini kemudian diolah menggunakan aplikasi *Rainbow 5*.

Beberapa produk olahan yang digunakan pada aplikasi *Rainbow 5* adalah CAPPI, PPI, dan HWIND. Pemilihan ketiga produk tersebut didasarkan pada prinsip keluaran data radar *Velocity* (V) yang mengukur pergerakan massa udara mendekati atau menjauhi radar kemudian untuk menentukan kecepatan angin dalam massa udara yang diamati.

2.1. CAPPI

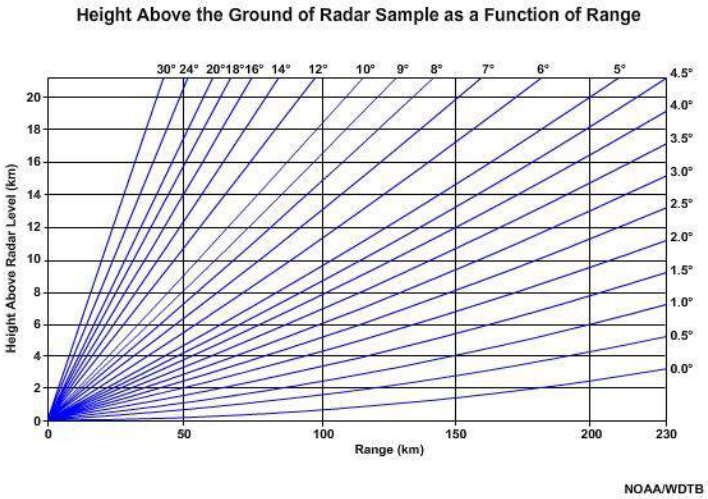
Produk CAPPI atau *Constan Altitude PPI* dipilih untuk mengetahui pergerakan massa udara, apakah mendekati arah radar dengan indikasi berwarna hijau atau sebaliknya yaitu bergerak menjauhi radar dengan legenda berwarna merah. Algoritma CAPPI hanya menampilkan keluaran dari data yang ada pada ketinggian yang diinginkan, sehingga jika data kosong maka keluaran juga akan kosong. Untuk itu, di dalam penelitian ini kami menggunakan algoritma *Pseudo* CAPPI karena keluaran pada ketinggian yang memiliki data kosong dihasilkan dari nilai interpolasi data-data di sekitarnya.

2.2. PPI

Produk PPI atau *Plan Position Indikator* dipilih karena dapat mengetahui nilai kecepatan udara disetiap elevasi yang pilih. Produk ini juga dihasilkan dalam waktu yang relatif lebih cepat dibandingkan dengan scan volume. Produk ini cukup baik dalam menggambarkan kondisi cuaca pada sudut elevasi mendekati permukaan.

2.3. HWIND

HWIND atau *Horizontal WIND* merupakan produk radar yang berfungsi untuk melihat arah dan kecepatan angin. Produk HWIND menunjukkan nilai arah angin horizontal.



Gambar 2. Perbandingan jarak dan ketinggian beam radar pada elevasi tertentu.

Pada gambar 2 terlihat bahwa semakin jauh sinyal radar bergerak maka ketinggian setiap jalur *beam* radar akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh kelengkungan bumi. Penyimpangan ini dapat terjadi akibat perbedaan indeks bias udara, yang menentukan apakah sinyal radar akan dibiaskan ketika berpindah dari material satu ke material lainnya (METED). Dengan mengacu pada hubungan antara jarak dan ketinggian elevasi radar, dimana lokasi Tanah Laut yang berjarak kurang lebih 70 km dari radar, sehingga elevasi terendah yang terukur sekitar ketinggian 200 m (Gambar 2).

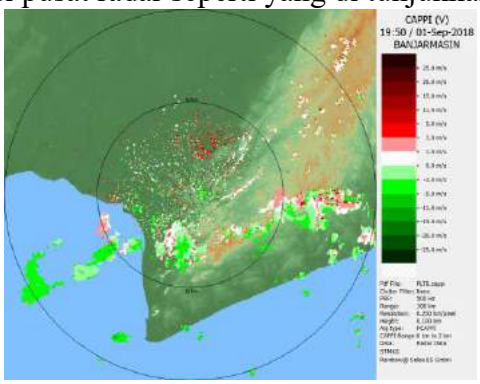
Disamping itu diketahui bahwa tinggi menara baja kincir angin adalah 80 meter dan panjang baling-baling adalah 57 meter maka informasi angin yang dibutuhkan pada lapisan 23

hingga 137 meter sebelum ditambah dengan ketinggian topografi penempatan lokasi PLTB. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Prinz. Dkk. (2005) elevasi maksimum untuk mendapatkan potensi maksimal secara teknis adalah kurang dari 2000 meter.

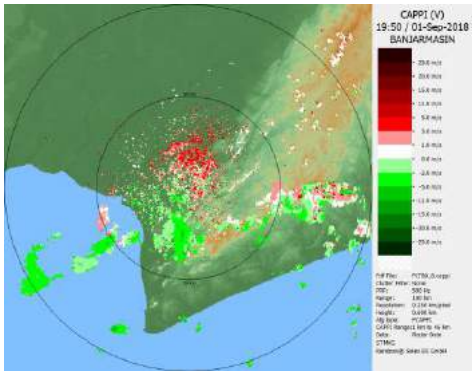
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini kami menggunakan tiga produk radar untuk mengintrepetasikan kondisi angin di daerah Tanah Laut yang akan di gunakan untuk pebangunan PLTB (Pembangkit Litrik Tenaga Bayu) yaitu CAPPI, PPI, dan HWIND. Masing-masing produk tersebut memiliki fungsi yang berbeda. PPI dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui angin sebenarnya dalam elevasi 0,5 dan 1,5. Sedangkan CAPPI terbagi menjadi dua yaitu CAPPI dan *pseudo* CAPPI, dalam hal ini kami menggunakan *pseudo* CAPPI. Produk ini merupakan hasil interpolasi berdasarkan elevasi dari PPI untuk mengetahui kondisi angin berdasarkan ketinggian dalam satuan kilometer. Dan HWIND digunakan untuk mengetahui arah dan kecepatan angin dalam tampilan *wind barb*.

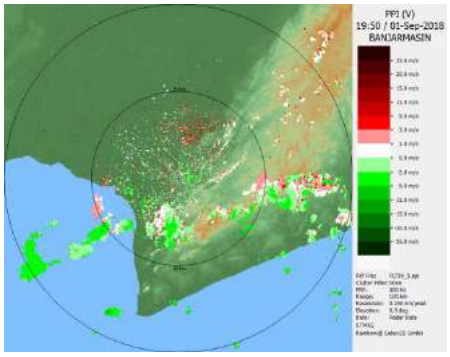
Seperti yang di tunjukkan pada gambar 3 kondisi angin 100 m dan gambar 4 angin 600 m yang merupakan hasil dari *pseudo* CAPPI memiliki arah dan kecepatan angin yang relatif sama. Hal ini terjadi akibat *pseudo* CAPPI merupakan hasil dari interpolasi PPI, dimana pada ketinggian tersebut masih dalam satu lingkup PPI elevasi 0,5 (gambar 4) pada posisi 70 km dari pusat radar seperti yang di tunjukkan gambar 2.



Gambar 3. Angin ketinggian 100 meter

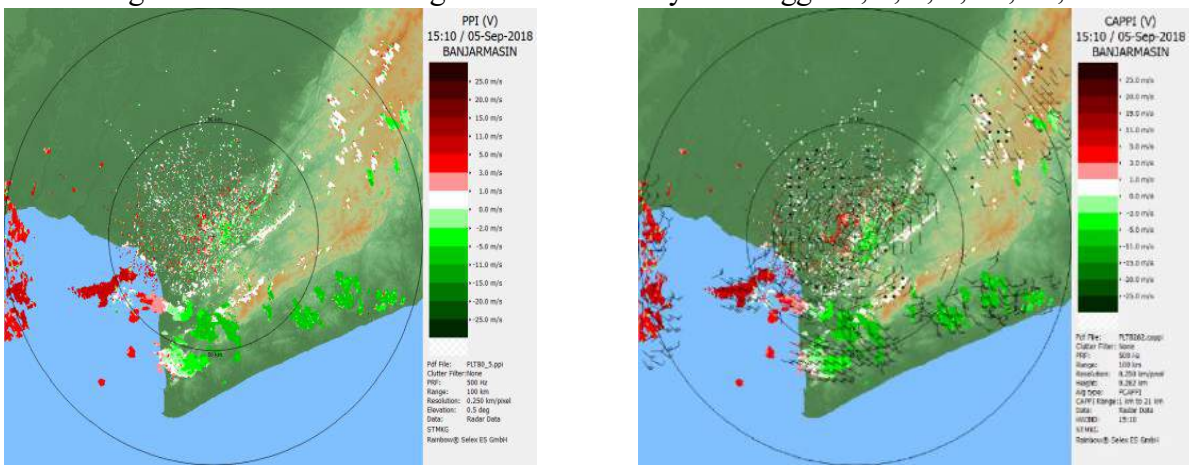


Gambar 4. Angin ketinggian 600 meter



Gambar 5. Angin elevasi 0,5

Sehingga, kondisi angin yang dihasilkan citra radar dari lapisan 100 sampai 600 m cenderung memiliki kondisi yang sama. Pada penelitian ini kami hanya menggunakan 7 hari untuk mengidentifikasi kondisi angin di Tanah Laut yaitu tanggal 1, 4, 5, 7, 17, 19, 20 karena

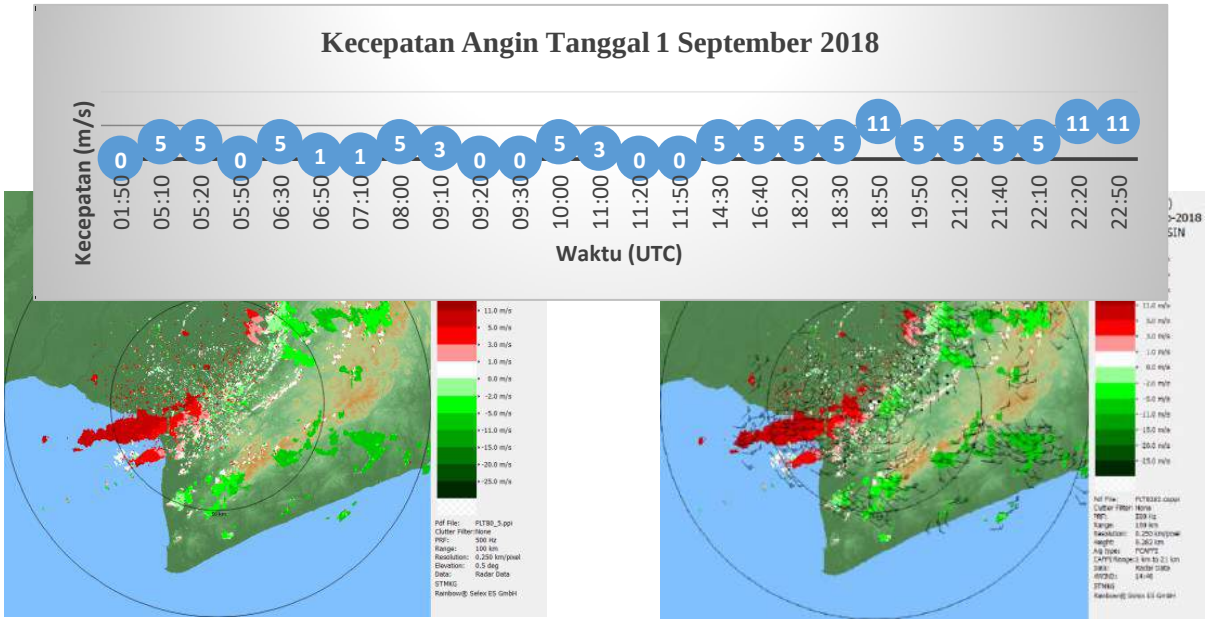


keterbatasan radar dan data. Berikut kondisi angin pada berbagai tanggal penilitian.

Gambar 6. Sampel perbandingan data PPI 0,5 (kiri) dengan *pseudo* CAPPI 282 m (kanan) tanggal 1, 4, 5, 7

Berdasarkan gambar diatas masing-masing hari menunjukkan kondisi angin sebenarnya yang di tunjukkan oleh produk PPI sama dengan produk CAPPI yang di *overlay* dengn produk HWIND. Dari sampel menunjukkan kondisi angin pada daerah penelitian. Adanya kesamaan citra radar tersebut berarti hasil dari produk CAPPI bisa mewakili kondisi angin sebenarnya di lapisan tertentu. Dan berikut kondisi kecepatan angin diberbagai tanggal penelitian dari citra radar yang diintrepretasi dalam bentuk grafik.

3.1. Tanggal 1

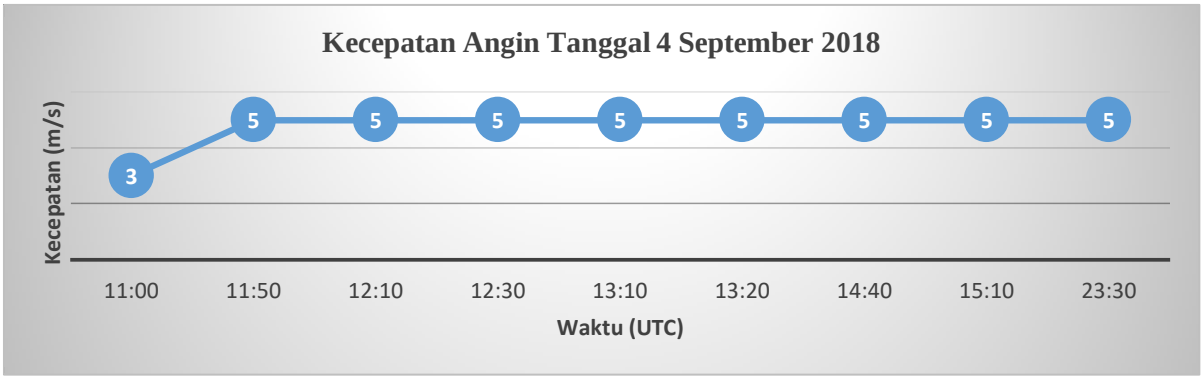


Gambar 7. Grafik nilai kecepatan tanggal 1

Berdasarkan grafik hari kecepatan angin pada tanggal 1 sebagian besar angin menunjukkan kecepatan angin 5 m/s dengan kecepatan maksimum hari itu 11 m/s. Dan juga diperoleh rata-

rata kecepatan angin sekitar 4.076923 m/s, dimana kondisi ini belum memenuhi batas minimum kecepatan angin yang diperlukan untuk PLTB.

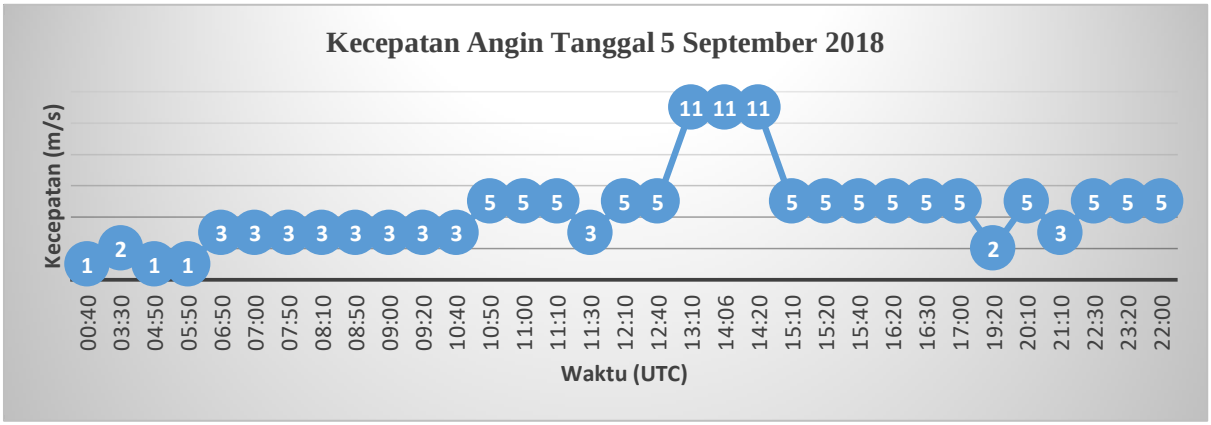
3.2. Tanggal 4



Gambar 8. Grafik nilai kecepatan tanggal 4

Berdasarkan hasil pehitungan kecepatan angin rata-rata tanggal 4 adalah 4.777778. Hal ini menunjukkan bahwa pada tanggal 4 belum memenuhi kriteria dalam kecepatan minimum yang diperlukan PLTB untuk menghasilkan energi yang optimal.

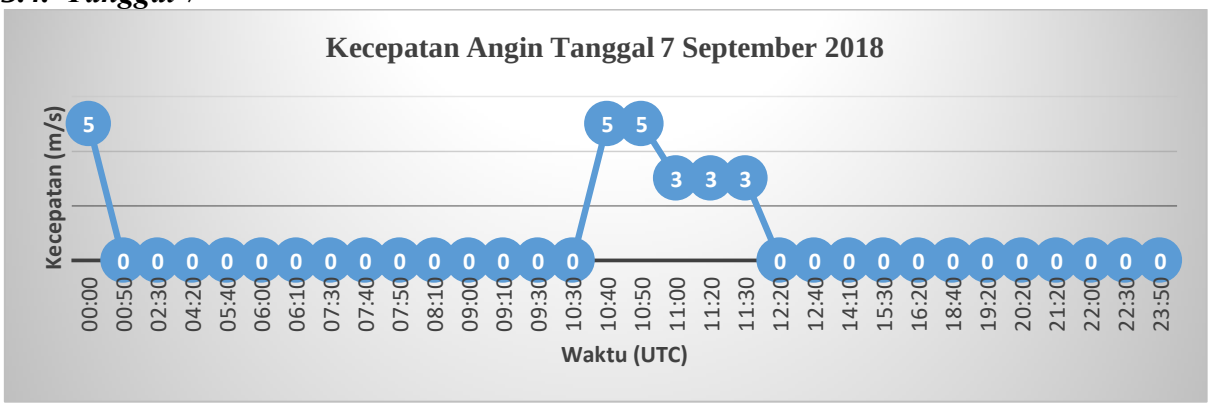
3.3. Tanggal 5



Gambar 9. Grafik nilai kecepatan tanggal 5

Berdasarkan gambar 7 terlihat 3 kecepatan maksimum angin sekitar 11 m/s dan kecepatan minimumnya lebih banyak yaitu sekitar 3 m/s. Dari hasil perhitungan didapat kecepatan angin rata-rata tanggal 5 adalah 4.393939. Hal ini menunjukkan bahwa pada tanggal 5 belum memenuhi kriteria dalam kecepatan minimum yang diperlukan PLTB untuk menghasilkan energi yang optimal.

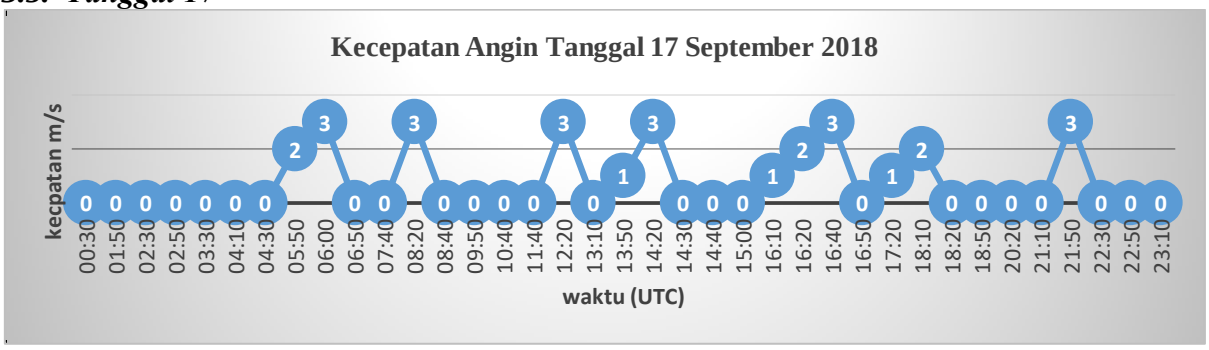
3.4. Tanggal 7



Gambar 10. Grafik nilai kecepatan tanggal 7

Berdasarkan hasil pehitungan kecepatan angin rata-rata tanggal 7 adalah 0.75. Nilai ini sangat kurang untuk mencapai nilai kecepatan minimum yang diperlukan PLTB untuk menghasilkan energi yang optimal. Terdapat banyak nilai 0, hal ini mungkin disebabkan karena tidak adanya partikel yang mengembalikkan energi yang dipancarkan radar ataupun arah gerak partikel yang tegak lurus terhadap *beam*. Sehingga radar mengira nilai tersebut adalah 0.

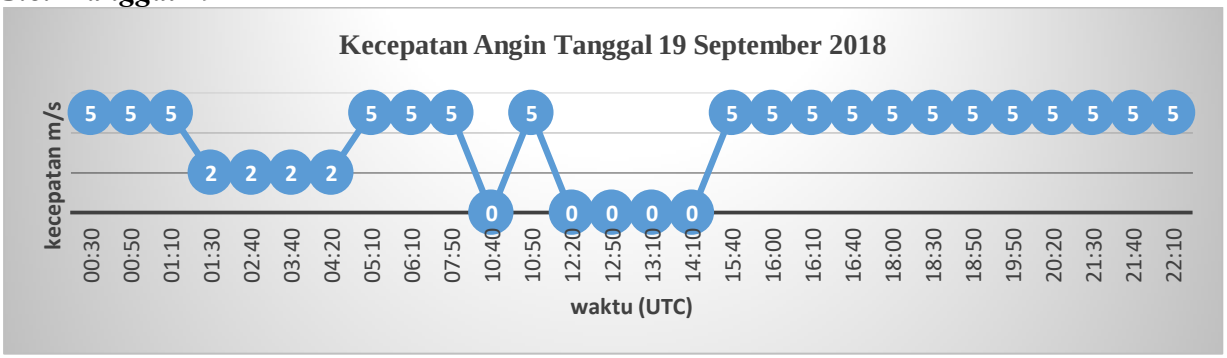
3.5. Tanggal 17



Gambar 11. Grafik nilai kecepatan tanggal 17

Tanggal 17 hampir sama dengan tanggal 7 terdapat banyak kecepatan angin yang bernilai 0. Berdasarkan hasil pehitungan kecepatan angin rata-rata tanggal 17 adalah 0.72973. Hal ini menunjukkan bahwa pada tanggal 17 belum memenuhi kriteria dalam kecepatan minimum yang diperlukan PLTB untuk menghasilkan energi yang optimal dengan batas minimum kecepatan 5 m/s.

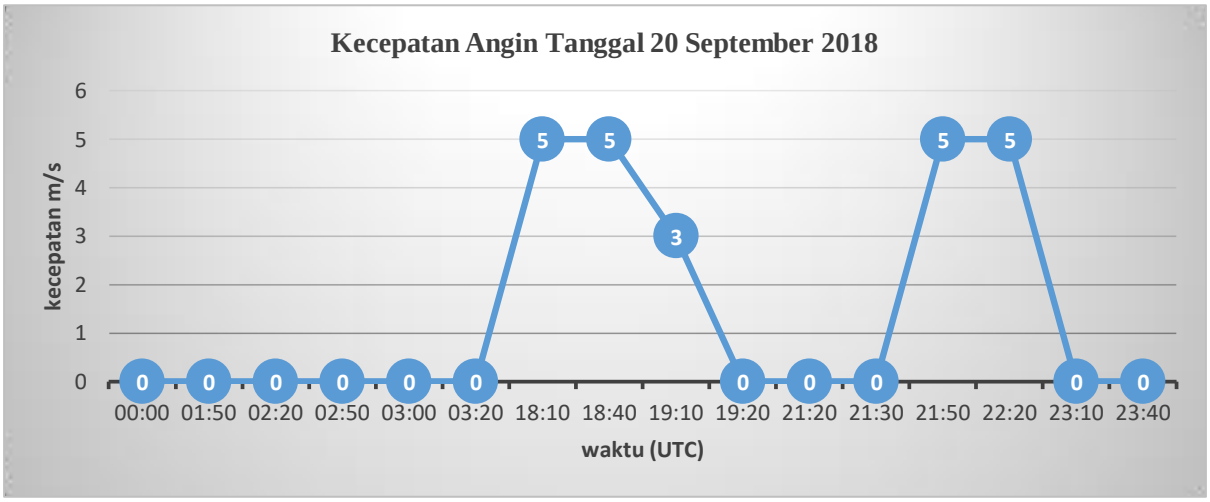
3.6. Tanggal 19



Gambar 12. Grafik nilai kecepatan tanggal 19

Walaupun terlihat kabanyakan nilai kecepatan angin diatas 5m/s, namun berdasarkan hasil pehitungan kecepatan angin rata-rata tanggal 19 adalah 3.678571 m/s. Nilai ini belum menunjukkan bahwa pada tanggal 19 belum memenuhi kriteria dalam kecepatan minimum yang diperlukan PLTB untuk menghasilkan energi yang optimal dengan batas minimum.

3.7. Tanggal 20



Gambar 13. Grafik nilai kecepatan tanggal 20

Terlihat kabanyakan nilai kecepatan angin diatas minimum yaitu 0 m/s. Hal ini sama dengan tanggal 7 dan 17 dimungkinkan karena tidak adanya partikel yang mampu membalikkan energi ke radar atau terdapat *zero isodop*. Sehingga radar membaca di wilayah tersebut mempunyai nilai kecepatan 0. Dan berdasarkan hasil pehitungan kecepatan angin rata-rata tanggal 20 adalah 1.4375 m/s. Nilai ini belum menunjukkan bahwa pada tanggal 20 belum memenuhi kriteria dalam kecepatan minimum yang diperlukan PLTB untuk menghasilkan energi yang optimal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hari pengamatan pada bulan september dengan citra radar diperoleh kecepatan angin rata-rata semua tanggal tidak memenuhi kriteria minimum untuk memenuhi syarat PLTB yang ideal. Seperti pada tanggal 1 diperoleh kecepatan angin rata-rata 4.076923 m/s, tanggal 4 yaitu 4.777778 m/s, tanggal 5 bernilai 4.393939 m/s, tanggal 7 dengan kecepatan 0,75, tanggal 17 yakni 0.72973 m/s, tanggal 19 yaitu 3.678571 m/s, dan tanggal 20 bernilai

1.4375 m/s. Hal ini berarti pada wilayah Tanah Laut kurang cocok untuk berdirinya PLTB karena pada bulan dengan kecepatan angin terendah (September) memiliki kecepatan rata-rata kurang dari 5 m/s yang menyebabkan kurang optimalnya kinerja PLTB dalam menghasilkan energi. Selain itu, dalam penilitian didapatkan bahwa kondisi angin pada lapisan kajian yaitu 100 hingga 600 meter dengan menggunakan *pseudo* CAPPI menunjukkan bahwa kondisi angin cenderung sama. Kondisi ini sulit untuk menentukan posisi ketinggian PLTB dari permukaan tanah untuk mendapatkan kecepatan angin yang optimal di lapisan tertentu.

5. SARAN

Terdapat banyak jam dalam beberapa hari yang memiliki kecepatan 0 m/s. Hal ini karena radar hanya menghitung kecepatan angin secara radial dan juga menangkap informasi jika ada partikel yang dapat mengembalikan energi yang di pancarkan radar. Sehingga dalam mengitrepetasikan angin cenderung *underestimate*. Pada penilitian selanjutnya dalam mengitrepetasikan angin perlapisan dapat menambahkan metode yang lain seperti dengan satelit, radiosonde, ataupun sensor lainnya yang dapat menghitung kondisi atmosfer secara vertikal.

DAFTAR PUSTAKA

Abdel Hamid, R. H. (2011). A GIS-DSS for wind farms industry in Egypt. *2011 International Conference & Utility Exhibition on Power and Energy Systems: Issues and Prospects for Asia (ICUE).*

Aydin, N. Y., Kentel, E., & Duzgun, S. . (2010). GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: a case study from Western Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(1)*, 364–373.

Azizi, A., Malekmohammadi, B., Jafari, H. R., Nasiri, H., & Amini Parsa, V. (2014). Land suitability assessment for wind power plant site selection using ANP-DEMATEL in a GIS environment: case study of Ardabil province, Iran. . *Environmental Monitoring and Assessment, 186(10)*, 6695–6709.

Bennui, A., Rattanamanee, P., Peutpaiboon, U. (2007). Site Selection For Large Wind Turbine Using GIS. *PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment* (hal. 561-566). Songkhla: ICEE.

ESDM. (2018, 1 11). *Inilah Konsumsi Listrik Nasional*. Diambil kembali dari Kata Data: https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2018/01/11/inilah-konsumsi-listrik-nasional

Habibie, M. N., Sasmito, A., Kurniawan, R. (2011). Kajian Potensi Energi Angin Di Wilayah Sulawesi Dan Maluku. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika, 12(2)*, 181-187.

Liun, E., Sunardi. (2014). Perbandingan Harga Energi Dari Sumber Energi Baru Terbarukan Dan Fosil. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, 16(2)*, 119-130.

Pandian, P. K., Iyappan, L. (2015). Developing A Geospatial Based Approach To Locate Wind Farms In Pollachi Taluk, Tamil Nadu, India. *International Journal of Technical Research and Application, 12(1)*, 30-34.

Prinz, T., Biberacher, M., Gadocha, S., Mittlböck, M., Schardinger, I., & Zocher, D. (2005). Energie und Raumentwicklung - Räumliche Potenziale Erneuerbarer Energieträger (Energy and Spatial Development - Spatial explicit renewable energy potential). *Österreichische Raumordnungskonferenz (ÖROK) Schriftenreihe*, 178.

Septiadi, D. dkk. (2009). Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan (Studi Wilayah Ambon Dan Sekitarnya). *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika, 10(1)*, 22-28.

Simoes, S., Zeyringer, M., Huld, T., Schmidt, J., & Mayr, D. (2013). The impact of location on competitiveness of wind and PV electricity generation - Case study for Austria. *2013 10th International Conference on the European Energy Market (EEM).*

Sumiati, R., & Zamri, A. (2013). Rancangan Bangun Miniatur Turbin Angin Pembangkit Listrik Untuk Media Pembelajaran. *Jurnal Teknik Mesin, 3(2)*, 1-8.

Teng, J., & Yu, C. (2005). Assessments for the Impacts and Benefits of Wind Farm Placement. *2005 IEEE Region 10 Cenference* (hal. 1-6). IEEE.

Wakeyama, T.Ehara, S. (2010). Potential estimation of renewable energy resource in Tohoku area and Tokyo metropolitan, Japan. *International Conference on Environmental Engineering and Applications.*, 44-48.

TATA KELOLA ENERGI TERBARUKAN DI SEKTOR KETENAGLISTRIKAN DALAM KERANGKA PEMBANGUNAN HUKUM NASIONAL

(RENEWABLE ENERGY GOVERNANCE IN THE ELECTRICITY SECTOR IN THE NATIONAL LAW DEVELOPMENT FRAME WORK)

Oleh: Nunuk Febriananingsih
Pusat Analisa dan Evaluasi Hukum Nasional
Badan Pembinaan Hukum Nasional, Kementerian Hukum dan HAM RI
Email: febrianasdalh1@gmail.com

ABSTRAK

Listrik merupakan sumber daya energi yang strategis dan sangat penting bagi hajat hidup rakyat banyak. Pemerintah sudah berusaha untuk membebaskan Indonesia dari krisis energi listrik dan berupaya mencari alternatif penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT). Pemerintah telah berkomitmen bahwa EBT akan terus dikembangkan untuk menjamin ketahanan energi di Indonesia serta memenuhi permintaan listrik yang kian bertambah. Pemerintah menetapkan target 23% porsi energi bersih dalam bauran energi nasional di tahun 2025 dan 31% pada tahun 2030 melalui Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Pemerintah telah menerbitkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik (selanjutnya disebut Permen ESDM 50/2017) sebagaimana diubah Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya mineral Nomor 53 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik (Permen ESDM 53/2018) yang masih mengalami kendala dalam implementasinya. Beberapa persoalan tersebut diantaranya adalah bagaimana tata kelola EBT di Indonesia, faktor penyebab pertumbuhan pengelolaan EBT yang belum optimal, kebijakan peraturan perundang-undangan terkait EBT di sektor ketenagalistrikan yang perlu dievaluasi. Kajian ini menggunakanpendekatan deskriptif analitis dengan menggunakan metode yuridis normatif yaitu menganalisas norma hukum yang terdapat dalam peraturan perundang-undangan dan implementasinya di lapangan. Hasil penelitian didapatkan bahwa saat ini perkembangan EBT di Indonesia masih menghadapi banyak tantangan yang tercermin dari lambatnya pertumbuhan kontribusi EBT terhadap pasokan energi nasional. Faktor lambannya pertumbuhan EBT disebabkan beberapa hal antara lain Permen 50/2017 mengalami banyak kendala dalam implementasinya, baik dari sisi pembiayaan, kepastian hukum, teknologi dan keadilan.

Kata Kunci: Ketenagalistrikan, Energi Baru Terbarukan, EBT, *BOOT*.

ABSTRACT

Electricity is a strategic energy for many people. The government has been tried to Indonesia's freedom from crisis of electricity and looking for alternative of renewable energy. The government has committed that EBT will be developed to ensure energy security in Indonesia.

The government has set a target of 23% for energy mix in 2025 and 31% stated on National Energy Policy (KEN) and General Plan of National Energy. Indonesia has Ministry of ESDM Regulation Number 50 Year 2017 on Utilization of Renewable Energy Sources for Electric Powe Supply (hereinafter reffered to as Permen 50/2017) as amended by Regulation of the Minister of Energy and Mineral Resources Number 53 Year 2018 concerning Amendment to the Regulation of the Minister of Energy and Mineral Resources Number 50 Year 2017 concerning Utilization of Renewable Energy Resources for Electric Power Supply (hereinafter reffered to as Permen 53/2018) which is still experiencing abstacles in its implementation. Some of these problems include how about renewable energy management in Indonesia, causative factor the growth of EBT management that has not been optimal, regulatory policies related to EBT in the electricity sector that need to be evaluated and future steps in order to realize legal development in the EBT sector according to the target of RUEN. This study using descriptive analytical approach with using juridical normative method, analyzing of legal norm in regulatin and its implementation. The result of study showing that EBT implementation in Indonesia facing many challenges. The slowgoing factor of EBT growth is due to several thing, among others, that Minister Regulation Number 50 Year 2017 facing many obstacles in its implementation, both in term of financing, legal certeanty, technology and justice.

Keywords: *Electricity, Renewable Energy, EBT, BOOT.*

A. Pendahuluan

Bangsa Indonesia saat ini sudah menapaki kaki tahun ketiga pembangunan jangka panjang. Apakah kita akan berhasil menuju visi Bangsa 20 tahun yaitu Indonesia yang mandiri, maju, adil dan makmur? Visi ini mengarah pada pencapaian tujuan nasional, seperti tertuang dalam Pembukaan UUD, dan harus dapat diukur untuk dapat mengetahui tingkat kemandirian, kemajuan, keadilan dan kemakmuran yang kita capai. Untuk mencapai visi tersebut pembangunan hukum diarahkan untuk mendukung terwujudnya Sistem Hukum Nasional yang mantap bersumber pada Pancasila dan Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia 1945, yang mencakup pembangunan materi hukum, struktur hukum, dan budaya hukum termasuk pembangunan hukum sektor energi.[1] Sektor energi merupakan salah satu agenda prioritas dalam RPJMN 2015-2019. Agenda ini masuk dalam agenda Nawacita yang ke-7 dalam rangka mewujudkan kemandirian ekonomi dengan menggerakkan sektor-sektor strategis ekonomi domestik. Pasal 33 ayat (2) UUDNRI Tahun 1945 menyatakan bahwa "Cabang-cabang produksi yang penting bagi

[1] Badan Pembangunan Hukum Nasional, Dokumen Pembangunan Hukum Nasional Tahun 2016, BPHN, Jakarta, 2016, hlm. 17

Negara dan yang menguasai hajat hidup orang banyak dikuasai oleh Negara". Dari sinilah pijakan dari makna kedaulatan energi harus dibangun. Agenda pembangunan bidang dalam Buku II Lampiran RPJMN 2015-2019 juga mengusung isu strategis yang selaras yaitu bidang pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan hidup. Khusus yang menyangkut isu sektor energi adalah: (1) penguatan pasokan, bauran dan efisiensi konsumsi energi.[2]

Energi merupakan sektor penting bagi pembangunan Indonesia. Tidak hanya dalam soal pemasukan kepada Devisa Negara, tetapi juga menentukan dalam perkembangan kemajuan peradaban bangsa Indonesia. Energi merupakan sumber daya alam penting dan strategis yang menguasai hajat hidup orang banyak sehingga menjadi kewenangan Negara untuk menguasainya dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat sesuai dengan Pasal 33 Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945.[3]

Tata kelola energi meliputi penyediaan, pemanfaatan dan pengusahaan harus dilakukan secara berkelanjutan. Dalam mengelola sektor energi untuk jangka panjang perlu dilakukan perencanaan yang terintegrasi pada pengembangan sumber daya energi agar dapat menjamin ketersediaan energi jangka panjang. Indonesia adalah Negara yang memiliki keanekaragaman sumber daya alam yang berlimpah, termasuk sumber daya energi. Peranan Indonesia di bidang energi sangat besar, misalnya Indonesia adalah salah satu eksportir batubara dan LNG *(Liquified Naturan Gas)* terbesar di dunia. Kekayaan tersebut sebenarnya merupakan modal untuk menjadi Negara besar. Namun demikian, sampai saat ini permintaan energi di Indonesia masih didominasi oleh energi yang tidak terbarukan yaitu *(unrenewable energy)* yaitu energi fosil**.** Pada tahun 2013, energi fosil menyumbang 94.3% dari total keseluruhan kebutuhan energi, sementara sisanya yaitu 5,7% dipenuhi dari Energi Baru dan Terbarukan (selanjutnya disbut EBT).[4]

---

2 Ibid., hlm. 259-261

3 Badan Pembinaan Hukum Nasional, Analisis dan Evaluasi Hukum Dalam Rangka Kedaulatan Energi, Laporan Akhir Tim Pokja, Jakarta, 2016, hlm. 1.

4 Muhammad AS Hikam: *Ketahanan Energi Indonesia 2015-2025 Tantangan dan Harapan* (Jakarta: CV. Rumah Buku, 2014), hlm. 8.

Pasokan energi diproyeksikan akan tumbuh rata-rata sebesar 5,2% per tahun pada kurun waktu 2012-2025. Bauran energi pada tahun 2012 didominasi oleh minyak bumi (39%), diikuti batubara (22%), dan gas bumi (17%). Mengingat cadangan energi fosil Indonesia terbatas jika dibandingkan dengan cadangan dunia, dimana minyak hanya 0,20%, gas 1,60% dan batubara 1,10% maka peranan minyak dan gas diperkirakan akan menurun dan digantikan oleh peningkatan pasokan batubara dan energi baru terbarukan (EBT) sehingga dirasa perlu segera mengoptimalkan pemanfaatan sumber EBT.[5]

Indonesia memiliki 6 (enam) sumber daya EBT, yakni energi air, surya, angin, arus laut, bio energi dan panas bumi. Potensi Indonesia untuk mengolah atau memanfaatkan sumber EBT tersebut sangatlah mungkin sebab potensi EBT cukup besar. Akan tetapi hingga saat ini pemanfaatannya masih sangat kecil dan belum maksimal dimanfaatkan. Menyadari hal tersebut pemerintah Indonesia perlahan mulai merubah paradigma terhadap EBT dengan cara tidak lagi memandang bahwa EBT ini merupakan energi alternatif melainkan memandang EBT sebagai energi yang penting. Secara nyata, hal ini terlihat dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) pemerintah, dimana dalam RUEN ini pemerintah telah menargetkan EBT dari 11,9% menjadi 23% hingga tahun 2025, dan diharapkan pada tahun 2020 sudah mencapai 17-18%. Untuk mencapai hal ini tidaklah mudah, perlu disusun strategi dalam pengelolaan energi, diantaranya melalui pembangunan pembangkit listrik dengan EBT, salah satunya adalah pembangkit listrik tanaga bayu (PLTB) yang di bangun di Sidrap Sulawesi Selatan, yang diresmikan Presiden Jokowi pada tanggal 2 Juni 2018. Dengan memiliki 30 (tigapuluh) *wind turbin generator* (WTG) atau kincir angin, PLTB Sidrap akan menghasilkan listrik sebesar 75 Mega Watt (MW) dan diproyeksikan akan mampu mengaliri listrik kepada 70.000 pelanggan di wilayah Sulawesi Selatan. PLTB Sidrap merupakan pembangkit tenaga bayu pertama dan terbesar di Indonesia

[5] Agus Sugiyono, Permasalahan dan Kebijakan Energi Saat Ini, dalam Prosiding Peluncuran Buku Outlook Energi Indonesia 2014 & Seminar Bersama BPPT dan BKK-PII, Jakarta, Tahun 2015, hlm. 10

yang memanfaatkan lahan kurang lebih 100 hektar.[6]

Dalam perkembangannya, berbagai masalah dalam menjaga keberlanjutan pasokan energi dalam memenuhi kebutuhan energi untuk jangka panjang bisa saja terjadi. Dalam pembangunan berkelanjutan *(Sustainable Development Goals)* memasukkan energi agar seluruh negara dapat memastikan bahwa akses energi haruslah terjangkau, andal, modern dan berkelanjutan bagi semua pihak sebab energi berperan sebagai faktor penting dalam pembangunan berkelanjutan. Saat ini perkembangan EBT di Indonesia masih menghadapi banyak tantangan yang tercermin dari lambatnya pertumbuhan kontribusi EBT terhadap pasokan energi nasional, bahkan pada tahun 2014 hingga 2016 saja hanya bergeser dari 6% hingga 7%. Faktor lambannya pertumbuhan EBT disebabkan beberapa hal antara lain tantangan pembiayaan, tantangan teknologi dan tantangan dari sisi kebijakan pemerintah dalam rangka tata kelola EBT yang seringkali efektivitas peraturannya menimbulkan berbagai persoalan.[7]

Berdasarkan latar belakang diatas, dalam artikel ini penulis akan membahas terkait 3 (tiga) hal yaitu: Bagaimana kebijakan tata kelola EBT di Indonesia? Faktor-faktor yang menyebabkan pertumbuhan pengelolaan EBT sektor ketenagalistrikan belum optimal? Dan terkahirBagaimana evaluasi kebijakan peraturan perundang-undangan terkait EBT di sektor ketenagalistrikan?

B. Metode Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan diatas, kajian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan yuridis normatif. Penelitian normatif adalah penelitian yang dilakukan dengan cara meneliti bahan pustaka atau data sekunder. Pemikiran normatif didasarkan pada penelitian yang mencakup (1) asas-asas hukum, (2) sistematik hukum, (3) taraf sinkronisasi vertikal dan horisontal, (4) perbandingan hukum, (5) sejarah hukum.[8]

---

6 https://ekonomi.kompas.com/read/2018/01/16/090100826/melihat-pltb-sidrap-pembangkit-tenaga-angin-pertama-di-indonesia, diakses pada tanggal 20 september 2019

7 https://ekonomi.kompas.com/read/2017/11/17/083000026/bappenas--perkembangan-energi-terbarukan-hadapi-banyak-tantangan

8 Soerjono Soekanto dan Sri Mamudji, *Peranan dan Penggunaan Perpustakaan di Dalam Penelitian Hukum*, Jakarta: Pusat Dokumentasi Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia, 1979, hlm. 15.

Penulis juga melakukan analisis terhadap beberapa peraturan perundang-undangan terkait sektor ketenagalistrikan dan menganalisisnya dikaitkan dengan implementasinya di lapangan.

C. Pembahasan

1. Kebijakan Tata Kelola EBT di Indonesia

Sumber daya energi sebagai kekayaan alam merupakan anugerah Tuhan Yang Maha Esa kepada rakyat dan bangsa Indonesia. Selain itu, sumber daya energi merupakan sumber daya alam yang strategis dan sangat penting bagi hajat hidup rakyat banyak terutama dalam peningkatan kegiatan ekonomi, kesempatan kerja, dan ketahanan nasional, oleh karenanya maka sumber daya energi harus dikuasai Negara dan dipergunakan bagi sebesar-besarnya kemakmuran rakyat sebagaimana diamanatkan dalam Pasal 33 Undang-undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945. Mengingat arti penting sumber daya energi, Pemerintah perlu menyusun rencana pengelolaan energi untuk memenuhi kebutuhan energi nasional yang berdasarkan kebijakan pengelolaan energi jangka panjang. Oleh karena itu pada tanggal 10 Agustus 2007 pemerintah mengeluarkan Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi (selanjutnya disebut UU Energi).[9]

Pengaturan masalah EBT diatur dalam Pasal 4 ayat (2) dan (3) UU Energi dimana dikatakan bahwa:

Pasal 4 Ayat (2) "Sumber daya energi baru dan sumber daya energi terbarukan diatur oleh Negara dan dimanfaatkan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat";

Pasal 4 Ayat (3) "Penguasaan dan pengaturan sumber daya energi oleh Negara diselenggarakan oleh Pemerintah sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan".

Makna "dikuasai oleh Negara" dalam Pasal 4 Ayat (2) dan (3) tersebut diatas akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

UU Energi mengamanatkan pemerintah untuk menyusun Kebijakan Energi Nasional (KEN). KEN adalah kebijakan pengelolaan energi yang berdasarkan prinsip keadilan,

[9] Indonesia, Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang energi, diundangkan di Jakarta pada tanggal 10 Agustus 2007, LNRI Tahun 2007 Nomor 96, TLNRI Nomor 4746, penjelasan umum.

berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan guna terciptanya kemandirian energi dan ketahanan energi nasional. Oleh karena itu pada tanggal 17 Oktober 2014, pemerintah mengeluarkan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijkaan Energi Nasional (selanjutnya disebut PP 79/2014). Dasar penerbitan PP ini adalah Pasal 11 ayat (2) UU Energi. KEN ini merupakan pedoman untuk memberi arah pengelolaan energi nasional guna mewujudkan kemandirian energi dan ketahanan energi nasional untuk mendukung pembangunan nasional berkelanjutan.

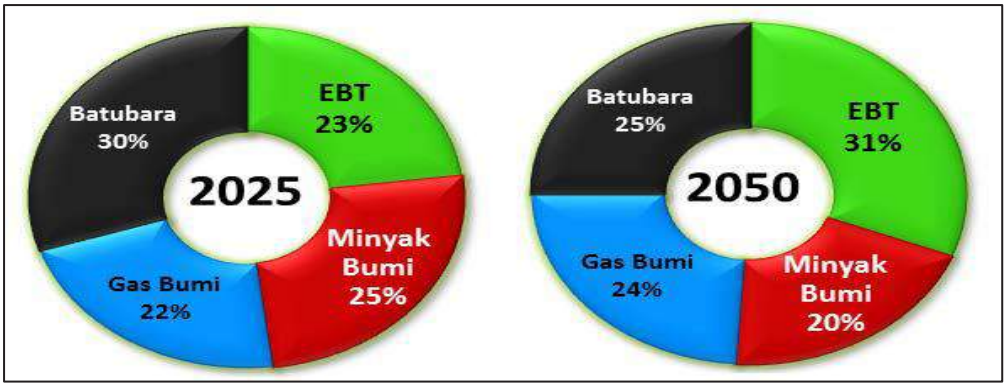
Kebijakan energi nasional terdiri dari kebijakan utama dan kebijakan pendukung yang dilaksanakan untuk periode tahun 2014 sampai dengan 2050. Kebijakan utama meliputi ketersediaan energi untuk kebutuhan nasional, prioritas pengembangan energi, pemanfaatan sumber daya energi nasional, dan cadangan energi nasional. Sedangkan untuk kebijakan pendukung meliputi konservasi energi, konservasi sumber daya energi dan diversifikasi energi; lingkungan hidup dan keselamatan; harga, subsidi dan insentif energi; infrastruktur dan akses untuk masyarakat terhadap energi dan industri; penelitian, pengembangan, dan penerapan teknologi energi; dan kelembagaan dan pendanaan.[10]

Sasaran penyediaan energi primer, kapasitas pembangkit, dan pemanfaatan listrik pada tahun 2025 dan 2050 ditunjukkan dalam Table 1, sedangkan target bauran energi primer yang optimal ditunjukkan pada gambar 1 sebagai berikut:[11]

Tabel 1. Sasaran penyediaan dan pemanfaatan energi

	Satuan	2025	2050
Energi Primer	MTOE	400	1.000
Energi Primer per Kapita	TOE	1,4	3,2
Kapasitas Pembangkit Listrik	GW	115	430
Listrik per Kapita	kWh	2.500	7.000

[10] Ibid., Pasal 3
[11] Agus Sugiyono, Op., Cit, hlm. 13.



Gambar 1. Sasaran Bauran Energi Nasional

Kebijakan peningkatan peran EBT dalam bauran energi nasional seperti yang digambarkan pada gambar 1 bukan tanpa alasan yang kuat. Sebagaimana telah disinggung diatas bahwa Indonesia kaya akan sumber EBT, seperti air terjun, panas bumi, sinar matahari, angin, dan arus laut meskipun sampai saat ini belum termanfaatkan dengan maksimal. Pemanfaatan EBT memang lebih cocok untuk pembangkit tenaga listrik. Sayangnya pembangkit listrik Indonesia masih lebih banyak mengandalkan energi fosil. Rendahnya pemanfaatan dan pengembangan EBT pada pembangkit listrik terjadi karena berbagai permasalahan, antara lain: (a) belum maksimalnya pelaksanaan kebijakan harga, (b) ketidakjelasan subsidi EBT pada sisi pembeli *(off-taker),* (c) regulasi yang belum dapat menarik investasi, (d) belum adanya insentif pemanfaatan EBT, (e) minimnya ketersediaan instrumen pembiayaan yang sesuai dengan kebutuhan investasi, (f) proses perizinan yang rumit dan memakan waktu yang lama, dan (g) permasalahan lahan dan tata ruang.

Selanjutnya, secara lebih teknis KEN menurunkan Rencana Umum Energi Nasional (selanjutnya disebut RUEN) dan Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (selanjutnya disebut RUKN) serta diturunkan lagi yang lebih rinci dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (selanjutnya disebut RUPTL). RUEN merupakan kebijakan Pemerintah Pusat mengenai rencana pengelolaan energi tingkat nasional yang menjadi penjabaran dan rencana

pelaksanaan Kebijakan Energi Nasional yang bersifat lintas sektor untuk mencapai sasaran Kebijakan Energi Nasional. RUEN ditetapkan dalam Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 (selanjutnya disebut Perpres RUEN) yang ditandatangani Presiden Penetapan RUEN ini merupakan pelaksanaan pasal 12 ayat 2 dan pasal 17 ayat 1 Undang-Undang Energi. Pasal 12 ayat 2 tersebut mengamanatkan Dewan Energi Nasional bertugas : (a) merancang dan merumuskan kebijakan energi nasional untuk ditetapkan oleh Pemerintah dengan persetujuan DPR, (b) menetapkan rencana umum energi nasional, (c) menetapkan langkah-langkah penanggulangan kondisi krisis dan darurat energi, serta (d) mengawasi pelaksanaan kebijakan di bidang energi yang bersifat lintas sektoral.

Dalam lampiran 1 Perpres RUEN dikatakan bahwa arah kebijakan energi ke depan berpedoman pada paradigma bahwa sumber daya energi tidak lagi dijadikan sebagai komoditas ekspor semata, tetapi sebagai modal pembangunan nasional. Tujuannya untuk : (a) mewujudkan kemandirian pengelolaan energi, (b) menjamin ketersediaan energi dan terpenuhinya kebutuhan sumber energi dalam negeri, (c) mengoptimalkan pengelolaan sumber daya energi secara terpadu dan berkelanjutan, (d) meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi, (e) menjamin akses yang adil dan merata terhadap energi, pengembangan kemampuan teknologi, industri energi dan jasa energi dalam negeri, (f) menciptakan lapangan kerja dan terkendalinya dampak perubahan iklim dan terjaganya fungsi lingkungan hidup.

RUEN diturunkan pada aturan yang lebih rinci dalam RUKL. RUKL merupakan kebijakan umum di bidang ketenagalistrikan yang terpadu mencakup antara lain, perkiraan kebutuhan dan penyediaan tenaga listrik, kebijakan investasi dan pendanaan, kebijakan pemanfaatan sumber energi primer serta energi baru terbarukan untuk pembangkit tenaga listrik. RUKN ditetapkan sebagai acuan dalam pembangunan dan pengembangan sektor ketenagalistrik-an di masa yang akan datang bagi Pemerintah, Pemerintah Daeerah,

Pemegang Kuasa Usaha Ketenagalistrikan (PKUK) dan Pemegang Izin Usaha Ketenagalistrikan untuk Kepentingan Umum (PIUKU). Peranan RUKN akan semakin penting dengan adanya perubahan lingkungan strategis baik dalam lingkup lokal, nasional, regional maupun global. Disamping itu partisipasi swasta pada sektor ketenagalistrikan diharapkan semakin meningkat, sehingga RUKN ini dapat memperjelas dan membakukan penentuan proyek yang akan dilaksanakan oleh PKUK maupun yang akan dikerjasamakan dengan pihak lain. Hal ini sebagaimana diatur dalam keputusan Menteri ESDM Nomor 2682 K/21/MEM/2008 tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional. RUKN diturunkan lagi yang lebih rinci pada RUPTL. Salah satu kebijakan dalam RUPTL 2018-2027 adalah pemerintah menurunkan total rencana pembangunan pembangkit dari 78.000 megawatt jadi 56.024 megawatt. Hal ini merupakan angka realistis menurut pemerintah.

2. Faktor-Faktor Penyebab Pertumbuhan Pengelolaan EBT di Sektor Ketenagalistrikan Belum Optimal

Pemerintah telah berkomitmen bahwa EBT akan terus dikembangkan untuk menjamin ketahanan energi di Indonesia serta memenuhi permintaan listrik yang kian bertambah. Bahkan Pemerintah Indonesia menetapkan target yang lumayan tinggi yaitu 23% porsi energi bersih dalam bauran energi nasional di tahun 2025 dan 31% pada tahun 2030 melalui Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Untuk mencapai target tersebut, diperlukan tata kelola sektor EBT yang diwujudkan dengan penerapan kebijakan dan penataan regulasi yang tepat serta partisipasi dari semua pihak, baik pemerintah, swasta, maupun masyarakat.

Sebagaimana telah diuraikan pada sub bab sebelumnya bahwa sumber daya energi merupakan kekayaan alam yang tunduk kepada ketentuan Pasal 33 UUD NRI Tahun 1945. Pengaturan masalah EBT diatur dalam Pasal 4 UU Energi. Makna dikuasai dan diatur oleh Negara masih menimbulkan polemik dan multitafsir dalam implementasi-nya. Sebab rezim "dikuasi oleh Negara" dan "diatur oleh Negara" akan

menentukan bentuk pengelolaan sumber EBT. Sebenarnya terkait konsep hak menguasai Negara ini sudah diputuskan oleh Mahkamah Konstitusi melalui Putusan Nomor 36/PUU-X/2012 tentang Pengujian Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi. Secara garis besar Mahkamah Konstitusi menyatakan bahwa Pasal 33 ayat (2) dan ayat (3) tentang pengertian "dikuasai oleh Negara" haruslah diartikan mencakup makna penguasaan oleh Negara dalam arti luas yang bersumber dan diturunkan dari konsepsi kedaulatan rakyat Indonesia atas sumber kekayaan "bumi, air dan kekayaan alam yang terkandung didalamnya" termasuk pula didalamnya pengertian kepemilikan publik oleh kolektivitas rakyat atas sumber-sumber kekayaan dimaksud. Rakyat secara kolektif itu dikonstruksikan oleh UUD 1945 memberikan mandat kepada Negara untuk mengadakan kebijakan *(beleid)* dan tindakan pengurusan *(bestuurdaad),* pengaturan *(regelendaad),* pengelolaan *(behersdaad),* dan pengawasan *(toezichthoudensdaad)* untuk tujuan sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Selanjutnya menurut Mahkamah Konstitusi cabang-cabang produksi yang harus dikuasai oleh Negara adalah jika: "(i) cabang-cabang produksi itu penting bagi negara dan menguasai hajat hidup orang banyak; atau (ii) penting bagi Negara tetapi tidak menguasai hajat hidup orang banyak; atau (iii) tidak penting bagi Negara tetapi menguasai hajat hidup orang banyak". Lima ketentuan tersebut merupakan satu kesatuan.

Beberapa pendapat terkait makna "dikuasai negara" antara lain dikemukakan oleh Mailinda Eka Yuniza[12]. Menurutnya penafsiran makna "dikuasai oleh Negara" itu memiliki 3 (tiga) tingkatan, yaitu (1) tingkat I Negara melakukan pengelolaan langsung atas sumber daya alam; (2) tingkat II Negara membuat kebijakan dan pengurusan;

[12] Mailinda Eka Yuniza, Kajian Distribusi Kewenangan Dalam Tata Kelola Sektor Energi Terbarukan, disampaikan pada Diskusi Terbatas yang diselenggarakan oleh *World Resources Indonesia* (WRI, di Jakarta, tanggal 18 April 2018, hlm. 10.

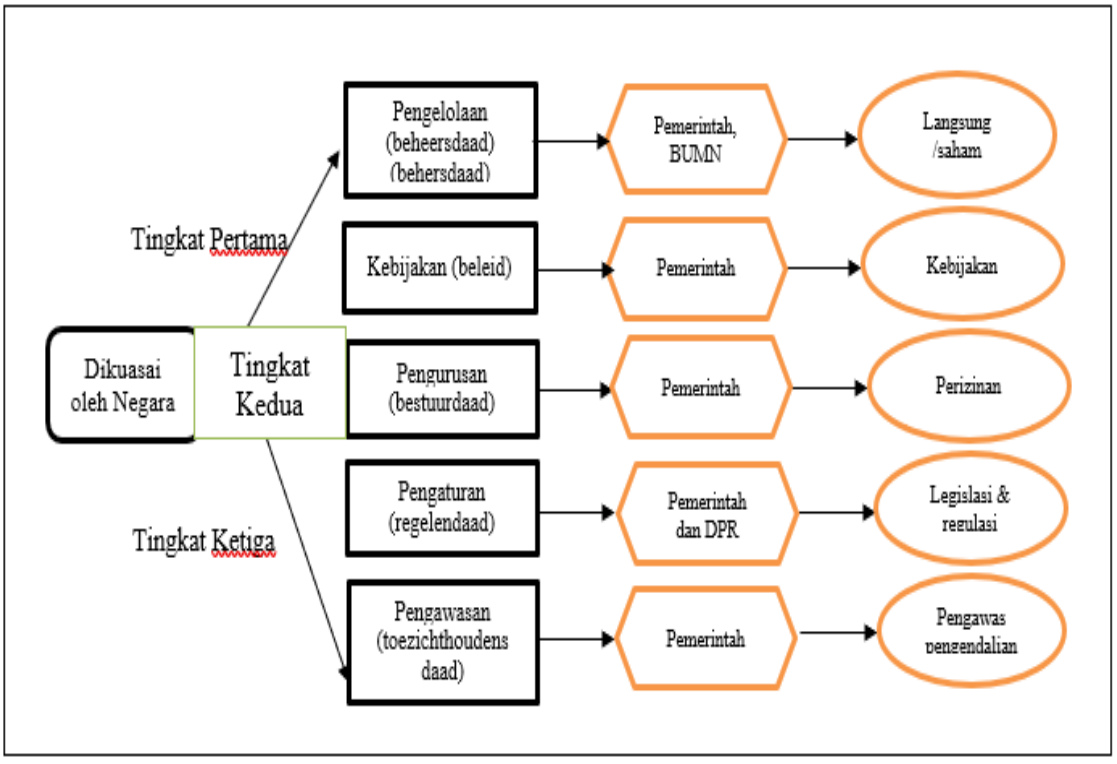
(3) tingkat III Negara melaksanakan fungsi pengaturan dan pengawasan (dengan kata lain diatur). Menurutnya, apabila rezimnya hanya diatur maka kewenangan pemerintah lebih sempit dan implikasinya untuk pemanfaatan dan pengembangan EBT tidak harus ada pengelolaan langsung oleh Pemerintah karena kewajiban itu hanya akan muncul apabila Negara mempunyai kewenangan secara langsung melakukan pengelolaan Sumber Daya Alam. Namun dalam kaitannya dengan sektor ketenagalistrikan, sebagaimana diatur dalam Pasal 33 ayat (2) UUD 1945 dikatakan bahwa Ketenagalistrikan adalah cabang produksi yang penting bagi Negara dan menguasai hajat hidup orang banyak, sehingga harus dikuasai oleh Negara.

Hal ini sejalan dengan putusan MK Nomor 001-021-022/PUU-I/2003 terkait pengujian UU No. 20 Tahun 2002 tentang Ketenagalistrikan. Mahkamah Konstitusi berpendapat bahwa tenaga listrik hingga saat ini masih merupakan cabang produksi yang penting bagi Negara dan menguasasi hajat hidup orang banyak, sehingga oleh karenanya menurut Pasal 33 ayat (2) UUD 1945 harus tetap dikuasai oleh Negara, dalam arti harus dikelola oleh Negara melalui perusahaan Negara yang didanai oleh pemerintah (Negara) atau dengan kemitraan bersama swasta nasional atau asing yang menyertakan dana pinjaman dari dalam dan luar negeri atau dengan melibatkan modal swasta nasional/asing dengan sistem kemitraan yang baik dan saling menguntungkan. Hal ini berarti bahwa hanya BUMN yang boleh mengelola usaha tenaga listrik, sedangkan perusahaan swasta nasional atau asing hanya ikut serta apabila diajak kerjasama oleh BUMN, baik kemitraan, penyertaan saham, pinjaman modal dan lain-lain.

Persoalannya adalah apakah yang dimaksud dengan perusahaan Negara pengelola tenaga listrik hanyalah BUMN, dalam hal ini PLN, ataukah bisa dibagi dengan perusahaan Negara yang lain, bahkan dengan perusahaan daerah (BUMD) sesuai dengan semangat otonomi daerah? Mahkamah berpendapat, jika PLN memang masih mampu dan bisa lebih

efisien, tidak ada salahnya jika tugas itu tetap diberikan kepada PLN, tetapi jika tidak, dapat juga berbagi tugas dengan BUMN lainnya atau BUMD dan PLN sebagai *"holding company"*. [13]

Oleh karena PLN merupakan satu-satunya perusahaan distributor listrik untuk kepentingan umum. Hal ini berimplikasi pada perbedaan rezim UU Energi dan UU Ketenagalistrikan yang masih menimbulkan multitafsir/ standar ganda dalam kewenangan pengelolaan EBT antara Pemerintah, BUMN, ataupun swasta. Salah satu dampaknya adalah adanya ketidakpastian bagi para pelaku usaha. Berbagai persoalan terkait pengaturan EBT akan dijelaskan di sub bahasan berikutnya. Dengan konstruksi hukum yang demikian, tafsir MK dalam makna "dikuasai Negara" Pasal 33 UUD 1945 secara lebih detail dijelaskan dalam gambar sebagai berikut:



Gambar 2: Makna "Dikuasai Negara"

[13] Mahkamah Konstitusi, Putusan MK Nomor 001-021-022/PUU-I/2003 terkait pengujian UU No 20 Tahun 2002 tentang Ketenagalistrikan, Jakarta, 1 Desember 2004, hlm. 348.

Gambar diatas dapat dijelaskan sebagaimana berikut. Saat ini yang terjadi adalah terdapat 3 (tiga) distribusi kewenangan Pemerintah dalam tata kelola sektor EBT:[14]

(1) Tingkat Pertama, Untuk sumber daya EBT yang merupakan pengolahan lebih lanjut dari bahan bakar fosil, panas bumi, nuklir, dan hidro skala besar, maka EBT tersebut dikuasai oleh Pemerintah;

(2) Tingkat Kedua, untuk sumber daya EBT yang tidak berasal dari sumber-sumber diatas, seperti surya, hidro skala kecil, angin, biomasa, maka Pemerintah hanya berperan sebagai legislator atau regulator untuk EBT;

(3) Tingkat Ketiga, seluruh sumber daya EBT yang dimanfaatkan untuk ketenagalistrikan dikuasai oleh Pemerintah, meskipun sumber daya EBT tersebut berasal dari sumber daya EBT yang hanya diatur oleh Pemerintah, seperti surya, angin, biomassa;

Pendapat lainnya adalah dari Prof Jimly Asshidiqie. Sebagaimana kita ketahui bahwa Pustusan Mahkamah Konstitusi adalah pertama dan terakhir *(first and final).* Terkait makna "dikuasai oleh Negara" adalah sudah tepat penguasaan sesuai Pasal 33 UUD bukan pemilikan. Penguasaan memiliki makna lebih luas. Hal ini untuk mengantisipasi perkembangan global dunia. Saat ini Perusahaan Multi Nasional itu sudah merambah ke seluruh dunia, berkembang dan sangat kuat. Dunia usaha adalah instrumen kemajuan suatu bangsa. Oleh Karena itu harus ada *intermediate structure* dalam dunia usaha terhadap Negara. Sebab Negara harus tetap mempunyai kedaulatan, harus tetap berkuasa demi kepentingan nasional. Negara menentukan untuk mengatur. Banyak pihak mempertentangkan antara konsep penguasaan, pemilikan, pengurusan dalam Pasal 33. Penguasaan adalah konsep total seluruhnya. Penguasaan Negara sebagaimana dimaksud dalam Putusan MK yang terdiri dari 5 (lima) konsep frasa yaitu kebijakan, pengurusan, pengaturan, pengelolaan dan pengawasan adalah kesemuanya.

[14] Ibid., hlm. 13

Pelaksanaan terhadap 1 frasa misalnya melaksanakan pengaturan, maka itu juga sebagai bentuk penguasaan Negara. Untuk urusan-urusannya ini perlu ditentukan oleh Pemerintah, misalnya EBT sebagaimana diatur dalam Pasal 4 ayat (1) itu merupakan penegasan bahwa bahan bakar fosil, panas bumi, nuklir, dan hidro skala besar adalah hal yang penting dan menguasai hajat hidup orang banyak menurut Negara, maka harus dikuasai oleh Negara. Kemudian Pasal 4 ayat (2) itu seolah-olah dipertentangkan dengan Pasal 4 ayat (1), yaitu mempertentangkan antara menguasai dan mengatur, padahal seharusnya tidak perlu dipertentangkan. Bahwa setelah dikuasai sebagaimana Pasal 4 ayat(1) masih harus dijabarkan dalam aturan berikutnya bagaimana pengaturannya bagaimana, pengurusannya bagaimana, pengawasannya bagaimana. Inilah yang perlu diluruskan terhadap Pasal 4 UU Energi ini.

Terkait monopoli PLN, tidak bisa disamakan seperti dunia usaha. Monopoli hanya relevan dalam dunia usaha. Negara memang menguasai namun bukan dalam konteks seperti monopoli dalam dunia usaha. BUMN adalah instrumen kekuasaan Negara *(agent of development)* untuk menggerakkan roda ekonomi nasional bukan instrumen untuk mencari keuntungan semata. Sebagai badan hukum, bahan usaha *(private company)* nya Negara, dia dimaksudkan menjadi instrumennya Negara untuk menjalankan fungsi pengusahaan, BUMN tersebut bisa menjadi *pioneer* di usaha tertentu, nanti ketika sudah besar bisa saja dilepas ke swasta (privatisasi). Maksud dari dilaksanakan BUMN adalah untuk mendorong pembangunan ekonomi nasional.

Sejalan dengan pendapat Prof Jimly Asshidiqie adalah pendapat Prof Maria Soemardjono,[15] terkait konsep "dikuasai oleh Negara" ada 3 (tiga) hal kenapa dikuasai oleh Negara yaitu: (1) Penting bagi negara dan menguasai hajat hidup orang banyak; (2) Tidak penting bagi Negara tapi menguasai

[15] Maria Soemardjono, Rapat Tim Pakar Bidang SDALH, diselenggarakan di Jakarta pada tanggal 2 Agustus 2018.

hajat hidup orang banyak; (3) Penting bagi Negara tapi tidak menguasai hajat hidup orang banyak. Ketiga hal ini termasuk dalam konsep dikuasai oleh Negara. Artinya, jika Negara sudah merasa tidak mampu, maka Negara akan minta bantuan pihak lain dalam hal ini bisa swasta, tetapi kontrol tetap ada pada Negara. Jadi jika dalam Pasal 4 UU Energi mengatakan diatur oleh Negara itu salah. Sebab, Hak menguasai Negara itu terdiri dari 5 (lima) frasa yaitu membuat kebijakan, mengelola, mengatur, mengurus dan mengawasi. Tidak bisa dipisah satu per satu, mengatur itu juga termasuk menguasai, jika dipertentangkan justru akan bertentangan dengan Konstitusi. Oleh karena itu Pasal 4 UU Nomor 30 Tahun 2007 seharusnya direvisi karena bertentangan dengan konstitusi UU Pasal 33 UUD NRI Tahun 1945 sebab Bumi, Air, Kekayaan Alam dikuasai oleh Negara. Oleh karena itu agar ketentuan Pasal 4 ayat (2) agar dapat harmonis dengan tafsir MK atas Hak dikuasai Negara, maka sebaiknya ketentuan untuk EBT bukan "diatur" namun "dikuasai oleh Negara", sebab makna "dikuasai oleh Negara" sudah terdapat elemen "diatur". Perlu dirumuskan definisi atau ditambahkan dalam penjelasan terkait makna "diatur" sebagaimana di maksud dalam Pasal 4 ayat (2). Hal ini penting karena pelaku usaha butuh kepastian berusaha di sektor EBT.[16]

Dari beberapa pendapat tersebut diatas, penulis sepakat dengan apa yang disampaikan Prof Jimly Ashidiqie dan juga Prof Maria Soemardjono, bahwa makna "dikuasai oleh Negara" tidak perlu dipertentangan kata per kata, sebab konsepnya adalah menyeluruh.

3. Evaluasi Kebijakan Peraturan Perundang-undangan terkait EBT di Sektor Ketenagalistrikan

Sebagaimana dibahas sebelumnya terakit RUKN, dimana RUKN ditetapkan sebagai acuan dalam pembangunan dan pengembangan sektor ketenagalistrikan di masa yang akan datang bagi Pemerintah, Pemerintah Daerah, Pemegang Kuasa Usaha Ketenagalistrikan (PKUK) dan

[16] Badan Pembinaan Hukum Nasional, Laporan Analisis dan Evaluasi Hukum Terkait Ketenagalistrikan, Jakarta, 2018, hlm. 47-49.

Pemegang Izin Usaha Ketenagalistrikan untuk Kepentingan Umum (PIUKU) dan juga RUPTL dimana salah satu kebijakan dalam RUPTL 2018-2027 adalah pemerintah menurunkan total rencana pembangunan pembangkit dari 78.000 megawatt jadi 56.024 megawatt maka diterbitkanlah Peraturan Menteri Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik (selanjutnya disebut Permen ESDM 50/2017) sebagaimana diubah Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya mineral Nomor 53 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik (Permen ESDM 53/2018). Permen 53/2018 merupakan perubahan beberapa Pasal yang intinya adalah menambahkan ketentuan mengenai pembelian tenaga listrik oleh PT PLN dari pembangkit listrik yang memanfaatkan energi bahan bakar nabati cair, sehingga pasal-pasal lainnya dalam Permen ESDM 50/2017 tetap berlaku.

Dasar diterbitkannya Permen ESDM 50/2017 ini adalah untuk mempercepat pengembangan energi terbarukan untuk kepentingan ketenagalistrikan nasional, sehingga perlu diatur kembali ketentuan mengenai mekanisme dan harga pembelian tenaga listrik oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) yang memanfaatkan sumber energi terbarukan. Permen ESDM 50/2017 ini menggantikan Permen Nomor 12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik sebagaimana telah diubah dengan Pemen ESDM Nomor 43 Tahun 2017 tentang Perubahan atas Permen ESDM Nomor 12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik yang dicabut dan dinyatakan tidak berlaku lagi. Permen ESDM 50/2017 ini menjadi pedoman bagi PT PLN (Persero) dalam melakukan pembelian tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik yang memanfaatkan sumber ET. Sumber ET tersebut meliputi sinar matahari, angin, tenaga air, biomassa, biogas,

sampah kota, panas bumi, dan gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut.[17] Pokok-pokok substansi dari Permen ESDM 50/2017 sebagaimana diuraikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 2. Pokok-Pokok Substansi Permen ESDM 50/2017

NO	POKOK BAHASAN	SUBSTANSI PASAL
1.	Jenis Pembangkit	PLT Surya Fotovoltaik, PLT Bayu, PLT Air, PLT Biomassa, PLT Biogas, PLT Sampah, PLT Panas Bumi dan PLTA Laut (Pasal 3 ayat 3)
2.	Pelaksanaan Pembelian Tenaga Listrik	- Pemilihan Langsung Berdasarkan Kuota Kapasitas (Untuk PLTS Fotovoltaik dan PLTB) - Pemilihan Langsung (Untuk PLTA, PLTBM, PLTBg dan PLTA Laut) - Sesuai Ketentuan PUU (Untuk PLTSa dan PLTP)
3.	Pola Kerjasama	*Build, Own, Operate and Transfer (BOOT)*
4.	Persetujuan Harga	Pembelian tenaga listrik wajib mendapatkan Persetujuan Menteri
5.	Standar Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik (PJBL)	PT PLN (Persero wajib menyusun dan Mempublikasikan Standar Dokumen Pengadaan, Standar PJBL, dan Juknis Pelaksanaan Pemilihan Langsung

Dalam Permen ESDM 53/2018, terdapat perubahan Pasal 1, Pasal 3 dan sisipan Pasal 12A yang pada intinya mengatir tentang pembelian tenaga listrik yang memanfaatkan energi bahan bakar nabati cair dimana hal ini belum diatur dalam Permen ESDM 50/2017. Dalam implementasinya, Permen 50/2017 ini memiliki berbagai persoalan antara lain:

1. Terkait Skema Penentuan Biaya Pokok Penjualan Litrik Energi Terbarukan. Permen 50/2017 mengatur Biaya Pokok Penyediaan (BPP) dalam pembelian listrik dari Sumber ET.[18] Harga pembelian tenaga listrik untuk PLTS Fotovoltatik, PLTB, PLTBm, PLTBg, PLTA Laut menggunakan mekanisme yang saling

[17] Indonesia Permen ESDM Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik, diundangkan di Jakarta pada tanggal 8 Agustus 2017, Berita Negara RI Atahun 2017 Nomor 1107.

[18] Ibid., Pasal 5-20.

menguntungkan *(business to bussines).* Dalam hal BPP pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat diatas rata-rata BPP Pembangkitan nasional, maka harga pembelian paling tinggi adalah sebesar 85% (delapan puluh lima persen) dari BPP Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat. Namun, dalam hal BPP Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat sama atau dibawah rata-rata BPP Pembangkitan nasional, maka harga ditetapkan berdasarkan kesepakatan para pihak.

Harga pembelian tenaga listrik untuk PLT Air, PLT Sampah dan PLTP juga menggunakan mekanisme yang saling menguntungkan *(business to business)*. Dalam hal BPP Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat diatas rata-rata BPP Pembangkitan nasional, harga paling tinggi adalah sebesar BPP Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat. Dalam hal BPP Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan di wilayah Sumatera, Jawa, dan Bali atau sistem ketenagalistrikan setempat lainnya sama atau di bawah rata-rata BPP Pembangkitan nasional, maka harga pembelian tenaga listrik ditetapkan berdasarkan kesepakatan para pihak. BPP Pembangkitan sendiri ditetapkan melalui Keputusan Menteri (Kepmen) ESDM Nomor 1772/2018 tentang Besaran BPP Pembangkitan PT PLN (Persero) Tahun 2017. Regulasi ini mengatur besaran BPP Pembangkitan per wilayah/distribusi/sistem/subsistem sebagai acuan pembelian tenaga listrik oleh PLN.

Untuk lebih jelasnya terkait kerangka harga pembelian listrik dapat di lihat dalam tabel sebagai berikut:[19]

[19] https://www.cnbcindonesia.com/news/20180525141148-4-16595/menimbang-aturan-baru-terkait-skema-harga-listrik-ebt, diakses pada tanggal 8 Agustus 2019

Tabel 3. Kerangka Harga Pembelian Listrik

Sumber Pembangkit Listrik	Kerangka Harga Pembelian Listrik
Solar PV dan Angin	
BPP lokal > rerata BPP nasional	Maksimal 85% dari BPP lokal
BPP lokal ≤ rerata BPP nasional	Ditentukan lewat kesepakatan PLN dan IPP
Hidro	
BPP lokal > rerata BPP nasional	Maksimal 85% dari BPP lokal
BPP lokal ≤ rerata BPP nasional	Ditentukan lewat kesepakatan PLN dan IPP
Biomassa dan Biogas	
BPP lokal > rerata BPP nasional	Maksimal 85% dari BPP lokal
BPP lokal ≤ rerata BPP nasional	Ditentukan lewat kesepakatan PLN dan IPP
Sampah Perkotaan dan Panas Bumi	
BPP lokal > rerata BPP nasional	Maksimal 85% dari BPP lokal
BPP lokal ≤ rerata BPP nasional	Ditentukan lewat kesepakatan PLN dan IPP
Air Laut (belum diregulasi di Permen ESDM 12/2017)	
BPP lokal > rerata BPP nasional	Maksimal 85% dari BPP lokal
BPP lokal ≤ rerata BPP nasional	Ditentukan lewat kesepakatan PLN dan IPP

Sumber: Permen ESDM 50/2017 (2017)

Terkait penentuan harga BPP oleh pemerintah ini dalam implementasi-nya banyak dikeluhkan para pelaku usaha. Salah satu penyebabnya adalah bahwa meskipun tren harga EBT di luar negeri semakin murah, tetapi karena di Indonesia terdapat kewajiban porsi Tingkat Kandungan Dalam Negeri (TKDN) yang besar sebagaimana diatur dalam Pasal 15 Permen ESDM 50/2017, hal ini menjadikan harga EBT masih mahal. Ketika pendapatan pembangkit EBT tergantung dengan BPP yang ditetapkan PLN sementara BPP itu sendiri tidak sesuai dengan komponen biaya yang dikeluarkan, maka hal ini menjadikan proyek pembangkit EBT tidak *feasible dan bankable.*

Selain persoalan BPP, di beberapa tempat masih dimungkinkan untuk terjadinya negosiasi yang dilakukan oleh para pihak. Hal ini dimungkinkan dalam Permen 50/2017 dengan kondisi tertentu. Namun ini juga menimbulkan ketidakpastian hukum dan ketidakadilan, sebab selama dalam klausul aturan pemerintah masih ada kata "negosiasi", ini akan menimbulkan ketidakpastian terma-suk bagi PLN sendiri sebab apabila PLN membeli listrik yang bahkan hanya lebih mahal 5-10 rupiah saja, ini dapat menimbulkan kerugian

keuangan bagi Negara. Selain itu, negosiasi ini juga membuat pelaku usaha menjadi khawatir. Alternatif solusi terhadap persoalan BPP antara lain melalui skema *Feed in Tarif* (selanjutnya disebut FIT). Skema ini pernah digunakan pada kebijakan sebelum penentuan BPP pada Permen 50/2017. Menurut penelitian, ditemukan bahwa harga pembelian listrik untuk pembangkit EBT berdasarkan BPP saat ini memang lebih rendah jika dibandingkan dengan pembelian sistem FIT. Hal ini memang menimbulkan dualisme persoalan. Jika menggunakan skema FIT memang sangat menguntungkan bagi pengembang EBT swasta karena memberikan margin keuntungan yang sangat besar, namun di lain pihak secara bersamaan merugikan pemerintah dan PLN selaku pihak pembeli listrik. Tingginya harga beli tersebut membuat alokasi pembelian listrik oleh PLN menjadi mahal, sehingga berujung pada kebutuhan untuk membebankan listrik mahal tersebut kepada konsumen atau pilihan lain, membebankannya kepada Negara yang memberikan subsidi listrik ke PLN. Alokasi subsidi yang semestinya bisa digunakan untuk membiayai program lain yang memberikan manfaat langsung bagi rakyat mau tidak mau akan tersedot untuk subsidi listrik jika PLN dihadapkan pada harga beli mahal berbasis FIT tersebut. Ini yang tidak sesuai dengan agenda Nawacita bidang ekonomi yaitu mewujudkan kemandirian ekonomi dengan menggerakkan sektor strategis ekonomi domestik, dimana salah satunya adalah mewujudkan kedaulatan energi. Hal ini bertolak belakang sebab dengan *feed in tariff* subsidi tersebut dinikmati oleh perusahaan-perusahaan swasta dan bukan untuk menyasar pengguna tingkat akhir *(end user)* yaitu rakyat.[20]

2. Terkait skema Membangun, Memiliki, Mengoperasikan, dan Mengalihkan *(Build, Own, Operate, and Transfer/BOOT)*

   BOOT adalah pembiayaan yang

[20] Ibid.

dilakukan oleh pihak ketiga (swasta) maupun mendesain, membangun, dan pengelolaan fasilitas infrastruktur untuk periode tertentu sesuai konsesi yang disepakati. Pihak swasta ini bertanggungjawab dalam melakukan pembiayaan, utamanya pada proyen baru *(greenfield).* Untuk skema *BOOT* lamanya waktu konsesi telah ditentukan yaitu 30 (tigapuluh) tahun, dan selama periode konsesi proyek tersebut dimiliki oleh pihak swasta dan dikembalikan kepada pemerintah di akhir konsesi.[21]

Kebijakan skema *BOOT* ini dinilai merugikan oleh Pengusaha. Potensi kerugian tersebut timbul karena melalui skema *BOOT*, PT PLN (Persero) dapat mengambil alih aset pengembang. Menjadi persoalan ketika asset berupa tanah ikut di depresiasi. Pelaku usaha menilai bahwa seharusnya di skema *BOOT*, ketika asset akan diserahkan, seharusnya ada nilai penggantian yang diberikan oleh Negara karena pada saat itu tanahnya masih memiliki nilai. Apalagi investor sudah menanamkan modal yang besar terhadap proyek ini, dan tanahnya juga milik investor. Ini menjadi persoalan di bidang hukum pertanahan juga. Menurut Prof Maria Soemarjono,[22] jika tanahnya adalah milik investor maka sangat tidak fair jika tanahnya juga diserahkan kepada pemerintah. Namun jika skema *BOOT* nya menggunakan tanah milik Pemerintah, memang sudah seharusnya dikembalikan ke pemerintah setelah masa konsesi berakhir. Hal ini perlu ditegaskan dulu persoalan pengalihan asset, apakah termasuk tanah ataukah hanya asset mesin pembangkitnya saja. Hal ini belum terlihat dari regulasi Pemerintah.

Kesulitan pengembang juga dialami ketika tahap *financial closing,* sebab *financial closing* dipengaruhi oleh Skema *BOOT* dan Tarif. Banyak yang tidak mencapai *financial closing*

---

21 Bahtiar Rifai, Kendala Implementasi Kerjsasama Pemerintah Swasta (KPS) Kelistrikan dan Kebutuhan Perbaikan Kebijakan, Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Vol. 24, No. 1, Tahun 2016, hlm. 55

22 Maria Soemarjono, Op., Cit., Rapat Tim Pakar SDALH.

karena proyeknya tidak *bankable*, sementara *bankability* tersebut dipengaruhi oleh perkiraan penjualan listrik. Menurut data sebanyak 68 PPA EBT terkendala jaminan bank. Sebagian besar penandatanganan PPA tahun 2017 tidak bisa melakukan kontrak karena belum menyerahkan jaminan ke Bank. Alasan tidak terjadinya *financial closing* adalah karena skema *BOOT* pada Permen ESDM 50/2017 tidak bisa diterima oleh Bank untuk memberikan pendanaan karena asset yang dijaminkan bukan merupakan milik pengembang. Ketidakpastian hukum ini menjadi persoalan bagi para pelaku usaha dalam pengembangan EBT sebab PPA yang ditandatangani baru akan berlaku secara efektif setelah pengembang menyerahkan jaminan pelaksanaan dan menyepakati bersama tanggal efektif dengan PLN wilayah.[23]

3. Terkait Mekanisme pemilihan langsung dalam bisnis Energi Terbarukan

Permasalahan dalam pemilihan langsung adalah bagaimana mengatur agar tetap ada rasa keadilan *(fairness)* bagi Pemerintah dalam hal ini PT PLN (Persero). Harus ada mekanisme pengawasan yang bisa mengawasi pasar monopoli dengan institusi yang dominan di pasar ini, misalnya dulu ada Badan Pengawasan Listrik (Bapepal) yang menjalankan fungsi pengawasan.

D. PENUTUP

Pemerintah telah menyusun rencana pengelolaan energi untuk memenuhi kebutuhan energi nasional yang berdasarkan kebijakan pengelolaan energi jangka panjang melalui Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi. Pada Sektor ketenagalistrikan, listrik merupakan sumber daya energi yang strategis dan sangat penting bagi hajat hidup rakyat banyak. Pemerintah telah berkomitmen bahwa EBT akan terus dikembangkan untuk menjamin ketahanan energi di Indonesia serta memenuhi permintaan listrik yang kian bertambah. Pemerintah menetapkan

[23] http://news.metrotvnews.com/read/2018/02/15/832136/sebanyak-68-ppa-ebt-terkendala-jaminan-bank, diakses pada tanggal 15 September 2019

target 23% porsi energi bersih dalam bauran energi nasional di tahun 2025 dan 31% pada tahun 2030 melalui Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Namun dalam implementasinya masih terdapat banyak persoalan.

Faktor-faktor penyebab pertumbuhan pengelolaan EBT di sektor ketenagalistrikan belum optimal antara lain: (a) belum maksimalnya pelaksanaan kebijakan harga, (b) ketidakjelasan subsidi EBT pada sisi pembeli *(off-taker),* (c) regulasi yang belum dapat menarik investasi, (d) belum adanya insentif pemanfaatan EBT, (e) minimnya ketersediaan instrumen pembiayaan yang sesuai dengan kebutuhan investasi, (f) proses perizinan yang rumit dan memakan waktu yang lama, dan (g) permasalahan lahan dan tata ruang.

Evaluasi kebijakan peraturan perundang-undangan terkait EBT di sektor ketenagalistrikan antara lain (1) masih adanya perbedaan penafsiran dalan makna "dikuasai negara" pada pasal 4 UU Energi. Bahwa makna "dikuasai oleh Negara" tidak perlu dipertentangan kata per kata, sebab konsepnya adalah menyeluruh. Hal ini sudah jelas di dalam putusan MK Nomor 36/PUU-X/20012 terkait putusan dalam uji materiil UU Nomor 22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi. Penguasaan Negara sebagaimana dimaksud dalam Putusan MK yang terdiri dari 5 (lima) konsep frasa yaitu kebijakan, pengurusan, pengaturan, pengelolaan dan pengawasan adalah kesemuanya. Pelaksanaan terhadap 1 frasa misalnya melaksanakan pengaturan, maka itu juga sebagai bentuk penguasaan Negara; (2) Terkait skema penentuan biaya pokok penjualan (BPP) penjualan listrik energi terbarukan oleh Pemerintah melalui Permen ESDM 50/2017 yang masih banyak dikeluhkan para pelaku usaha; (3) Terkait skema membangun, Memiliki, Mengoperasikan, dan Mengalihkan *(Build, Own, Operate, and Transfer/BOOT);* (4) Terkait mekanisme pemilihan langsung dalam bisnis EBT.

Beberapa alternatif strategi pengembangan EBT di sektor ketenagalistrikan antara lain: (1) Potensi energi terbarukan (matahari, angin, bioenergi, panas bumi) yang dimiliki Indonesia perlu dimanfaatkan secara maksimal untuk menambah kapasitas terpasang pembangkit listrik, rasio elektrifikasi dan penurunan emisi gas rumah kaca sesuai dengan PP Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi

Indonesia; (2) Menemukan titik temu antara kebijakan BPP menurut Permen ESDM 50/2017 dengan keinginan para pengembang untuk kembali pada skema *Feed in Tariff* sehingga pengembangan EBT dapat lebih optimal; (3) Pembebasan pajak impor peralatan energi terbarukan dan mendorong produsen peralatan energi terbarukan lokal melalui pembebasan pajak dan dukungan keuangan secara langsung; (4) Perlu adanya dukungan berupa kebijakan bantuan investasi dari pemerintah sekitar 20-30 % untuk menggairahkan pembangunan energi terbarukan di tengah masih mahalnya harga operasional untuk membangun pembangkitan energi terbarukan; (5) Pemerintah pusat dan pemerintah daerah, saling bekerjasama secara nyata untuk pengembangan di bidang EBT tanpa mengedepankan ego sektoral; (6) Merevisi Pasal 4 UU Nomor 30 tahun 2007 tentang Energi terkait konsep "Hak menguasai Negara" terhadap sektor ketenagalistrikan yang bersumber dari EBT; (7) Sitem pengawasan yang optimal dalam implementasi pemilihan langsung dalam pengembangan pengembangan EBT di sektor ketenagalistrikan.

DAFTAR PUSTAKA

A. Buku

Agus Sugiyono, Permasalahan dan Kebijakan Energi Saat Ini, dalam Prosiding Peluncuran Buku Outlook Energi Indonesia 2014 & Seminar Bersama BPPT dan BKK-PII, Jakarta, Tahun 2015

Badan Pembinaan Hukum Nasional, Analisis dan Evaluasi Hukum Dalam Rangka Kedaulatan Energi, Laporan Akhir Tim Pokja, Jakarta, 2016

Bahtiar Rifai, Kendala Implementasi Kerjsasama Pemerintah Swasta (KPS) Kelistrikan dan Kebutuhan Perbaikan Kebijakan, Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Vol. 24, No. 1, Tahun 2016

Muhammad AS Hikam: *Ketahanan Energi Indonesia 2015-2025 Tantangan dan Harapan* (Jakarta: CV. Rumah Buku, 2014)

B. Makalah

Agus Sugiyono, Permasalahan dan Kebijakan Energi Saat Ini, dalam Prosiding Peluncuran Buku Outlook Energi Indonesia 2014 & Seminar Bersama BPPT dan BKK-PII, Jakarta, Tahun 2015

Mailinda Eka Yuniza, Kajian Distribusi Kewenangan Dalam Tata Kelola Sektor Energi Terbarukan, disampaikan pada Diskusi Terbatas yang diselenggarakan oleh World Resources Indonesia (WRI, di Jakarta, tanggal 18 April 2018

Maria Soemardjono, Rapat Tim Pakar Bidang SDALH, diselenggarakan di Jakarta pada tanggal 2 Agustus 2018.

Jimly Asshidiqie, Makna Dikuasai Negara dalam Pasal 33 UUDNRI Tahun 1945, disampaikan dalam Diskusi Terbatas Reformasi Hukum Tata Kelola Sektor Energi Terbarukan, yang diselenggarakan oleh Badan Pembinaan Hukum Nasional dan *World Resources Indonesia*, di Jakarta, pada tanggal 8 Agustus 2018.

C. Peraturan Perundang-Undangan

Indonesia, Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang energi, diundangkan di Jakarta pada tanggal 10 Agustus 2007, LNRI Tahun 2009 Nomor 133, TLNRI Nomor 4746.

Indonesia, Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang energi, diundangkan di Jakarta pada tanggal 23 September 2009, LNRI Tahun 2007 Nomor 96, TLNRI Nomor 5052.

Mahkamah Konstitusi, Putusan MK Nomor 36/PUU-X/2002 terkait putusan dalam uji materiil UU Nomor 22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi, diputus pada tanggal 13 Nopember 2012 di Jakarta.

Indonesia Permen ESDM Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik, diundangkan di Jakarta pada tanggal 8 Agustus 2017, Berita Negara RI Atahun 2017 Nomor 1107.

D. Internet

https://ekonomi.kompas.com/read/2018/01/16/090100826/melihat-pltb-sidrap pembangkit-tenaga-angin-pertama-di-indonesia

https://ekonomi.kompas.com/read/2017/11/17/083000026/bappenas-- perkembangan-energi-terbarukan-hadapi-banyak-tantangan

https://www.cnbcindonesia.com/news/20180525141148-4-16595/menimbang-aturan-baru-terkait-skema-harga-listrik-ebt

http://news.metrotvnews.com/read/2018/02/15/832136/sebanyak-68-ppa-ebt-terkendala-jaminan-bank

BIODATA PENULIS

Nunuk Febriananingsih, S.H., M.H. Kepala Sub Bidang Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup I pada Pusat Analisa dan Evaluasi Hukum Nasional, Badan Pembinaan Hukum Nasional Kementerian Hukum Nasional. Pendidikan Sarjana (S1) didapat dari Fakultas Hukum Universitas Indonesia Jakarta**.** Selanjutnya yang bersangkutan menyelesaikan pendidikan Magister Hukum (S2) Fakultas Hukum pada Universitas Padjajaran Bandung. Nunuk selalu menjaga hubungan yang harmonis antara keahliannya dalam bidang hukum dan kebutuhan masyarakat. Dia mengikuti minatnya di bidang hukum, setelah menghabiskan masa sarjana di bidang hukum ekonomi yang dilakukan di Universitas Indonesia. Dia melanjutkan studinya melalui program beasiswa Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia di Universitas Padjadjaran Bandung Indonesia dalam hukum tata negara. Setelah 4 tahun bekerja untuk Kepala Sub Bidang Penegakan Hukum di Pusat Penelitian dan Pengembangan Sistem Hukum Nasional, Nunuk pindah ke Kepala Sub Bagian Sumber Daya Alam I yang membawahi bidang hukum Energi Sumber Daya Mineral, Pertambangan, Lingkungan Hidup, Kehutanan, Perkebunan, Pertanahan dan Penataan Ruang, di Lingkungan di Pusat Analisis dan Evaluasi Hukum Nasional. Pendidikannya yang berbeda dan pengalamannya yang luas telah memberinya keuntungan yang cukup dalam program nasional pemerintah dalam rangka penataan regulasi terutama di sektor sumber daya alam dan lingkungan. Lebih lanjut, ia memiliki pengalaman dalam hukum penelitian dan pengembangan, analisis dan evaluasi hukum bidang Sumber Daya Alam, dan perancangan hukum.

Uji Unjuk Kerja dan Durability 5000 Km Mobil Bensin 1497 Cc Berbahan Bakar Campuran Bensin-Bioetanol

Pasca Hariyadi Winanda & Bambang Sudarmanta
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: pascawinanda@riseup.net

***Abstrak*—Salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi dikembangkan di tanah air ialah etanol. Ethanol memiliki karakteristik yang mirip dengan Premium dengan nilai RON sebesar 108. Dalam penelitian ini, ingin diketahui karakteristik unjuk kerja serta emisi gas buang mesin bensin menggunakan bahan bakar campuran ethanol 99.5% dengan premium setelah uji durability selama 5000 KM. Dalam penelitian ini pula ingin diketahui pengaruh pemakaian campuran ethanol 99.5% dengan premium pada ruang bakar dan minyak pelumas setelah digunakan selama 5000 KM. Pengujian dilakukan dengan uji durability mobil sejauh 5000 km dengan bahan bakar campuran ethanol dan bensin dengan variasi campuran ethanol sebesar 5%, 10%, dan 15%, pengukuran meliputi kandungan minyak pelumas dan visualisasi ruang bakar. Selanjutnya dilakukan pengujian di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS dengan menggunakan mesin bensin empat langkah Toyota Vios dengan variasi campuran ethanol sebesar 5%, 10%, dan 15% dengan putaran mesin 3000 hingga 6000 rpm. Pengukuran meliputi torsi, daya, waktu konsumsi bahan bakar, T oli, T radiator, dan T exhaust serta emisi gas HC, CO dan CO2. Hasil uji eksperimental menunjukkan penambahan bioetanol pada bahan bakar bensin premium cenderung meningkatkan densitas dan viskositas tetapi menurunkan nilai kalor. Sedangkan unjuk kerja cenderung mengalami peningkatan performa dan terjadi penurunan emisi. Torsi, daya dan bmep tertinggi didapatkan oleh campuran E10 dengan kenaikan masing-masing sebesar 2,40%, 2,94% dan 2,72% dibandingkan dengan premium. Sedangkan konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) terendah didapatkan oleh campuran E10 dengan penurunan sebesar 4,14% dibandingkan dengan premium. Karakteristik minyak pelumas untuk bahan bakar E5, E10 dan E15 relatif stabil seperti bahan bakar premium. Pencampuran bioetanol pada premium cenderung menurunkan suhu operasional mesin, yaitu mencapai 3,02% pada campuaran 15%. Untuk visualisasi ruang bakar pemakaian bahan bakar E5, E10 dan E15 menghasilkan pengotoran relatif lebih tipis dibandingkan bahan bakar premium. Secara akeseluruhan penambahan bioetanol sampai 15% tidak mengalami perubahan pada kondisi operasional mesin.**

***Kata Kunci*—energi terbarukan, ethanol, premium, durability, unjuk kerja.**

I. PENDAHULUAN

Ketergantungan manusia terhadap energi tak terbarukan semakin lama semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah populasi manusia. Ditambah lagi belum optimalnya penggunaan energi terbarukan menyebabkan manusia sulit untuk lepas dari ketergantungan terhadap energi tak tebarukan. Konsekuensinya adalah semakin menipisnya cadangan energi tak terbarukan tersebut. Bahkan diperkirakan dunia akan mengalami krisis besar energi pada tahun 2050 saat cadangan minyak bumi dan batu bara yang terkandung dalam perut bumi habis. Cadangan minyak bumi di Indonesia pun cenderung semakin turun sedangkan konsumsi semakin meningkat. Hal ini yang mengakibatkan Indonesia sudah menjadi negara net importer yang berarti bahwa konsumsi bahan bakar minyak Indonesia sebagian besarnya dipasok dari negara lain.

Berdasarkan keadaan tersebut, pemerintah telah membuat roadmap yang jelas terkait diversifikasi energi dengan mencanangkan BBN (Bahan Bakar Nabati) sebagai pengganti BBM, seperti yang tertera pada tabel. Guna menyikapi dan mendukung berjalannya *roadmap* yang telah dibuat, pemerintah mendirikan pabrik bioetanol, PT Energi Agro Nusantara (Enero) dengan kapasitas sebesar 100 ribu kiloliter per hari. Dengan berdirinya pabrik bioethanol yang berbahan dasar molases ini diharapkan dapat memenuhi kuota bioethanol dalam negeri yang nantinya dicampurkan dengan premium Pertamina, sesuai dengan yang tertuang dalam UU Energi No.30 2007. Namun dengan berbagai macam kendala, baik itu dari sisi teknis maupun dari segi kebijakan pemerintah, mengakibatkan pengembangan bioetanol ini masih jalan di tempat. Bahkan karena tidak terserapnya produksi bioetanol oleh Pertamina, PT Enero mengekspor bioetanol ke sejumlah Negara.

TABEL 1. ROADMAP ENERGI TERBARUKAN NASIONAL [1]

	2005-2010	2011-2015	2016-2025
Bioetanol	5% dari konsumsi 1,48 juta KL	10% dari konsumsi 2,78 juta KL	15% dari konsumsi 6,28 juta KL
Biodiesel	10% dari konsumsi 2,41 juta KL	15% dari konsumsi 4,52 juta KL	20% dari konsumsi 10,22 juta KL
BioKerosine	1 juta KL	1,8 juta KL	4,07 juta KL
Bio nabati murni untuk pembangkit listrik	0,4 juta KL	0,74 juta KL	1,69 juta KL
Biofuel	2% dari konsumsi 5,29 juta KL	3% dari konsumsi 9,84 juta KL	5% dari konsumsi 22,26 juta KL

Untuk mendapatkan unjuk kerja mesin yang optimal, diperlukan persentase kadar etanol yang sesuai. Dengan persentase kadar etanol yang tepat dalam campuran dengan premium maka dapat diperoleh pembakaran yang lebih baik. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh penambahan kadar etanol dengan persentase 5%, 10% dan 15% terhadap unjuk kerja mobil uji 1497 cc setelah menempuh jarak sejauh 500 km. Penelitian ini juga ingin mengetahui pengotoran yang terjadi pada ruang bakar setelah uji *durability* sejalama 5000 km.

Selain itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui properties minyak pelumas setelah uji *durability* 5000 km.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental untuk mengetahui pengaruh penambahan ethanol 99.5% pada bahan bakar premium terhadap unjuk kerja da nemisi gas buang motor bensin injeksi multi silinder. Penelitian ini menggunakan tiga mobil yang mana tiap mobilnya mendapat perlakuan campuran bahan bakar yang berbeda.Variasi yang digunakan adalah dengan menambahkan ethanol 99.5% pada bahan bakar premium dengan kadar 5% (E5), 10% (E10), dan 15% (E15), pada motor bensin 1497 cc putaran variabel (*variable speed test*) 3000 hingga 6000 rpm. Spesifikasi mesin tertera pada Tabel 2.

TABEL 2. SPESIFIKASI MESIN UJI

Tipe Mesin	4 cylinders, in-line ; 16 valve
Isi Silinder	1497 cc
Daya Maksimum	109 kW pada 6000 rpm
Torsi Maksimum :	14.4 Nm. pada 4200 rpm

Untuk mendapatkan hasil pengujian yang tepat dan akurat, dengan kondisi mobil yang telah menempuh jarak tempuh yang berbeda, maka ketiga mobil di *tune up* dan dilakukan pembersihan pengotoran pada ruang bakar. Kemudian pengotoran yang terjadi divisualisasikan. Setelah itu ketiga mobil menggunakan pelumas baru. Hal ini dilakukan agar kondisi mesin mobil dalam keadaan yang relatif sama. Untuk pengujian performa mobil digunakan dynamometer. Waktu konsumsi bahan bakar dihitung dengan tabung ukur bahan bakar 25 cc. Sensor AFR digunakan untuk mengetahui kesetimbangan udara pada campuran bahan bakar. Emisi gas buang diukur menggunakan STARGAS *Exhaust Gas Analyzer*. *Termocouple digital* digunakan untuk mengukur temperature pendingin, pelumas dan gas buang. Skema alat percobaan ditampilkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. Skema Pengujian

Campuran bahan bakar antara bensin dengan bioetanol disiapkan terlebih dahulu sesaat sebelum percobaan dimulai guna memperoleh campuran bahan bakar yang homogen dan mencegah bioetanol yang bereaksi terhadap air. Selain tiap mobil mendapat campuran bahan bakar bensin-bioetanol yang berbeda, ketiga mobil uji ini pun diuji dengan bahan bakar bensin murni (bioetanol 0%). Rangkaian percobaan dimulai menggunakan mobil pertama dengan kadar campuran bioetanol 5% (E5). Mobil ditempatkan sedemikian rupa pada alat *dynamoneter*. Kemudian mesin mobil dinyalakan pada putaran *idle*. Putaran mobil dinaikkan hingga 6000 rpm.Selama kenaikan putaran mesin, tabung ukur bahan bakar, sensor AFR, *Exhaust Gas Analyzer* dan *Termocouple digital* mengukur perubahan yang terjadi. Selain itu mencatat perubahan yang terjadi pada torsi dan daya mesin pada monitor digital *dynamometer*. Berikutnya percobaan dilanjutkan dengan dua mobil lainnya, campuran bioetanol 10% dan 15%.

Percobaan dilanjutkan dengan uji pemakaian ketahanan mobil (*durability test*) dengan total jarak yang ditempuh sejauh 5000 km untuk mengetahui perubahan kondisi mobil yang terjadi. Pengemudi mencatat kondisi operasional per harinya, seperti jarak tempuh, konsumsi bahan bakar, suhu mesin, kemudahan starting awal, dan kondisi akselerasi. Setelah diuji durability, mobil diuji performa kembali seperti diawal. Selanjutnya mengambil sampel oli pada setiap mobil untuk dianalisis dan memvisualisasikan pengotoran yang terjadi pada komponen piston, injektor dan kepala silinder. Setelah rangkaian pengujian dengan ketiga mobil (E5, E10 dan E15) selesai, maka rangkaian pengujian dilakukan kembali dengan ketiga mobil dengan menggunakan bahan bakar bensin murni (bioetanol 0%)

III. URAIAN PENELITIAN

Torsi merupakan ukuran kemampuan *engine* dalam menghasilkan kerja. Pada kehidupan sehari-hari torsi dari engine berguna untuk mengatasi hambatan di jalan atau untuk mempercepat laju kendaraan. Berdasarkan Gambar 2 s/d 4 menunjukkan bahwa adanya kecenderungan kenaikan torsi mulai dari putaran rendah hingga mencapai torsi maksimum pada putaran tertentu lalu torsi mengalami penurunan pada putaran yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran engine, massa campuran yang masuk ke ruang bakar semakin besar dan turbulensi aliran juga semakin tinggi sehingga menyebabkan pencampuran udara dengan bahan bakar semakin baik atau lebih homogen. Dengan campuran yang homogen, pembakaran akan berlangsung lebih baik sehingga menghasilkan torsi yang lebih tinggi. Sebaliknya, ketika putaran *engine* terus meningkat, kerugian gesek (*friction losses*) pada engine juga semakin tinggi sehingga sejumlah torsi digunakan untuk mengkompensasi kerugian tersebut. Disamping itu, semakin tinggi putaran engine waktu pembakaran (burning duration) akan berlangsung lebih cepat sehingga dimungkinkan terdapat bahan bakar yang tidak ikut terbakar. Hal tersebut dapat diindikasikan dari komposisi unsur yang tidak terbakar, yaitu CO dan HC pada gas buang yang relatif lebih tinggi. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan nilai torsi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 s/d 4.

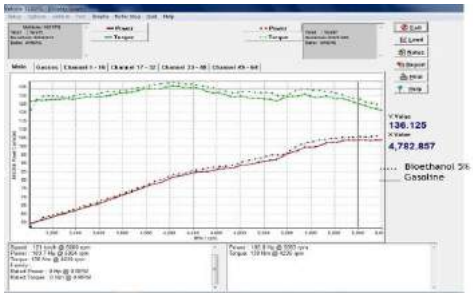
Nilai torsi tertinggi terjadi pada E10 sebesar 140 Nm pada putaran 4400 rpm Kenaikan nilai torsi rata-rata tertinggi terjadi pada E10 sebesar 4,20 % dibanding bensin murni, sebagaimana komparasi secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 3. Sedangkan setelah diuji durability sejauh 5000 km didapatkan nilai torsi tertinggi pada E10 sebesar 139 Nm pada putaran 4400. Kenaikan torsi rata-rata tertinggi juga terjadi pada E10 dengan kenaikan sebesar 3,73% dibanding bensin murni. Kenaikan nilai torsi ini dikarenakan kesesuaian komposisi antara bahan bakar dan udara pembakaran serta tahapan proses yang terjadi, mulai bahan bakar diinjeksikan kedalam saluran *intake manifold*, bercampur

dengan udara pembakaran, dikompresi selama langkah kompresi, periode pengapian serta langkah buang gas hasil pembakaran. Dengan penambahan kadar bioetanol dalam campuran akan mengakibatkan campuran menjadi lebih miskin sehingga meningkatkan nilai *air fue ratio*. Dengan meningkatnya nilai *air fuel ratio* akan berpengaruh pada pembakaran yang lebih efisien. Angka oktan E5 yang lebih tinggi dari E0 meminimalisir terjadinya *knocking* pada ruang bakar sehingga didapatkan tekanan pembakaran yang lebih tinggi. Meningkatnya tekanan pembakaran secara otomatis akan meningkatkan nilai torsi [2].

Daya yang dihasilkan oleh motor pembakaran dalam ada 3 jenis, yaitu *indicative horse power (ihp), brake horse power (bhp),* dan *friction horse power (fhp).* Pada putaran rendah, fhp relatif rendah dan akan semakin tinggi ketika putaran mesin semakin tinggi. Secara teoritis, ketika putaran mesin meningkat, maka daya motor juga akan meningkat karena daya merupakan perkalian antara torsi dengan putaran mesin. Akan tetapi, pada kenyataannya pada putaran engine yang tinggi tidak selalu menghasilkan daya yang tinggi. Hal ini dikarenakan pada putaran mesin yang tinggi berbagai kerugian dapat terjadi, seperti, *friction losses*, kenaikan temperatur *overall engine*, dan peristiwa *overlapping*.



a.

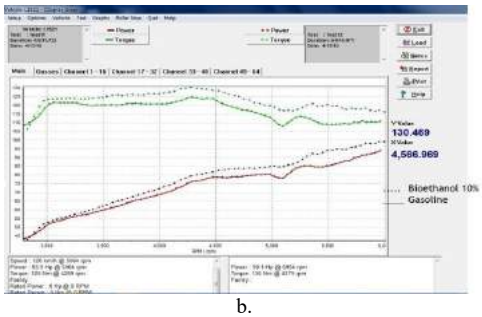


b.

Gambar 2. Komparasi unjuk kerja daya dan torsi mobil 1 berbahan bakar bensin dan E5 pada, a. kondisi awal, b. setelah 5000 km



a.



b.

Gambar 3. Komparasi unjuk kerja daya dan torsi mobil 1 berbahan bakar bensin dan E10 pada, a. kondisi awal, b. setelah 5000 km



a.

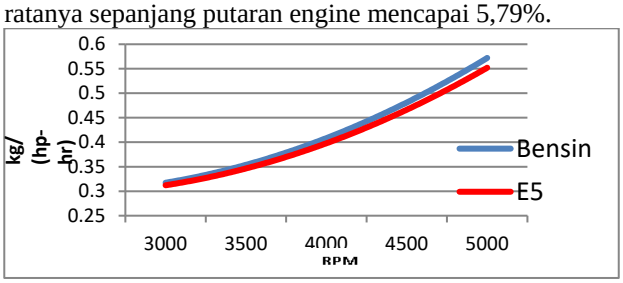


b.

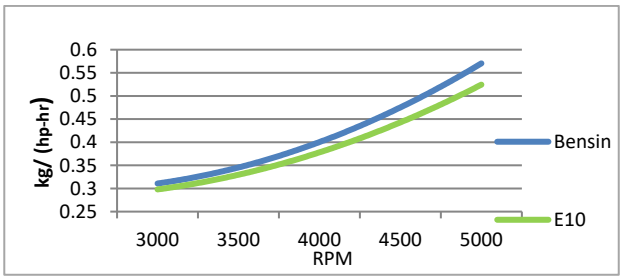
Gambar 4. Komparasi unjuk kerja daya dan torsi mobil 1 berbahan bakar bensin dan E15 pada, a. kondisi awal, b. setelah 5000 km

Kenaikan daya secara rata-rata terjadi pada E10 sebesar 2,96% dibanding bensin murni. Sedangkan setelah diuji durability sejauh 5000 km kenaikan kenaikan daya rata-rata juga terjadi pada E10 dengan kenaikan sebesar 3,12%. Meningkatnya nilai daya dengan penambahan bioetanol dalam campuran seperti ditunjukkan pada Gambar 3 disebabkan bioetanol memiliki nilai *latent heat of evaporation* yang jauh lebih tinggi dibanding bensin. Dengan nilai latent heat of evaporation yang tinggi mengakibatkan bahan bakar cenderung mengambil kalor dalam udara untuk menguap sehingga menurunkan temperatur udara pada engine. Turunnya temperatur udara (*cooling effect*) berpengaruh pada meningkatnya densitas campuran bahan bakar sehingga meningkatkan efisiensi volumeris. Meningkatnya efisiensi volumetris inilah yang menyebabkan daya menjadi lebih tinggi. Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa tren grafik pada penggunaan bahan bakar bensin dan campuran E10 memiliki kecenderungan pada 3000 rpm hingga 5000 rpm memiliki kecenderungan naik. Hal ini dikarenakan besarnya nilai sfc sangat ditentukan oleh besarnya *flowrate* bahan bakar dan daya dihasilkan oleh engine. Hal ini dikarenakan semakin besar putaran engine maka terjadinya friction loss juga semakin besar sehingga menyebabkan sfc juga meningkat. Secara umum dengan penambahan kadar bioetanol dalam campuran menyebabkan kenaikan konsumsi bahan bakar, karena untuk menghasilkan keluaran daya yang sama, dengan nilai *low heating value* bioetanol yang kecil

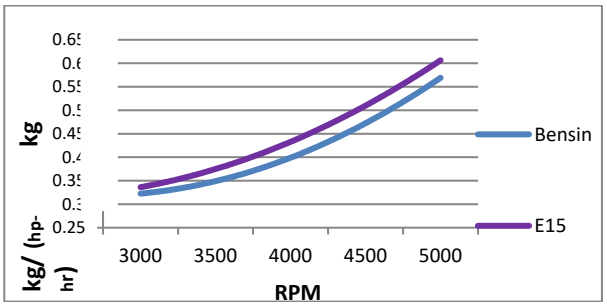
menyebabkan konsumsi bahan bakar cenderung meningkat. Adapun kecenderungan tren grafik E10 yang nilainya lebih rendah dibanding tren grafik sfc bensin bisa disebabkan efisiensi volumetris pada E10 yang lebih baik sehingga efisiensi pembakaran juga akan ikut naik. Efisiensi pembakaran yang naik ini dapat diakibatkan oleh kadar oksigen dalam bioetanol yang cukup tinggi menyebabkan konsumsi bahan bakar turun. Disini bisa disimpulkan bahwa selama kadar bioetanol tidak melebihi 10%, maka naiknya konsumsi bahan bakar tidak bergantung pada kenaikan kadar bioetanol dalam campuran . Sebaliknya bila diatas 10%, maka sfc akan semakin meningkat seiring bertambahnya kadar bioetanol dalam campuran[3]. Besarnya *specific fuel consumption minimum engine* sebesar 0,32 kg/hp.jam pada 3000 rpm. Dibandingkan dengan bahan bakar bensin, penurunan maksimum dengan memakai bahan bakar E10 sebesar 7,92%, sedangkan penurunan rata-ratanya sepanjang putaran engine mencapai 5,79%.



Gambar 5. Besarnya sfc mobil 1

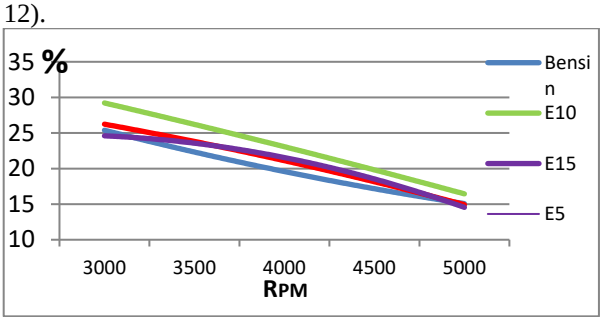


Gambar 6. Besarnya sfc mobil 2



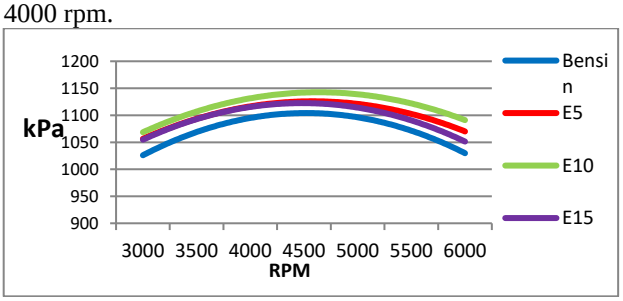
Gambar 7. Besarnya sfc mobil 3

Efisiensi thermal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor pembakaran dalam. Pada gambar 7 menunjukkan bahwa efisiensi optimum tertinggi didapat ketika engine menggunakan bahan bakar bensin dengan penambahan 10% sebesar 13,63% dibanding bensin pada putaran engine 3000 rpm, sedangkan efisiensi optimum terendah dihasilkan ketika engine menggunakan bahan bakar bensin dengan penambahan 5% ethanol sebesar 1,58% dibanding bensin pada putaran engine 5000 rpm. Secara rata-rata, apabila dibandingkan menggunakan engine berbahan bakar Premium murni besarnya peningkatan efisiensi thermal apabila ditambahkan 10% ethanol 99.5% adalah 14,7 %.Secara umum, dengan penambahan 5%, 10% dan 15% ethanol efisiensi thermal cenderung meningkat. Hal ini diakibatkan karena pada penambahan ethanol dengan konsentrasi tersebut akan menghasilkan campuran kimia yang tepat. Selain itu bisa juga diakibatkan oleh pengkabutan bahan bakar yang lebih baik, sehingga atomisasi bahan bakar menjadi lebih baik dan menghasilkan pembakaran yang lebih baik pula. Hal ini dapat dibuktikan dengan emisi gas buang HC E5, E10 dan E15 yang lebih rendah dibanding bensin (Gambar 12).

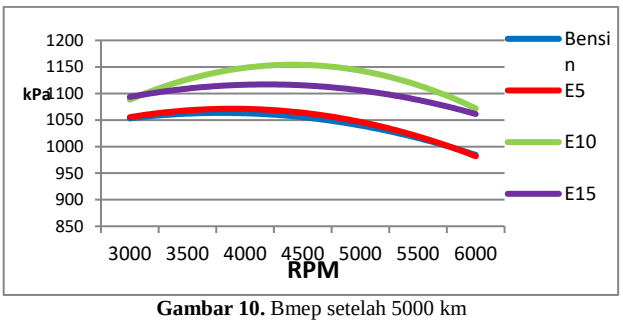


Gambar 8 Perbandingan efisiensi thermal

Dari grafik bmep fungsi putaran engine, terlihat adanya tren kenaikan tekanan efektif rata-rata mulai dari putaran rendah hingga mencapai tekanan efektif rata-rata maksimum pada putaran tertentu lalu bmep mengalami penurunan pada putaran engine yang lebih tinggi. Pada gambar 4.20 diatas menunjukkan bahwa tekanan effektif rata-rata maksimum yang tertinggi dihasilkan pada engine yang menggunakan bahan bakar E10 dengan tekanan efektif rata-rata maksimum sebesar 1159,92 kPa pada putaran engine 5000 rpm. Pada pengujian unjuk kerja setelah uji durability 5000 km pada Gambar 8 tampak Bmep tertinggi terjadi pada persentase bioetanol 10% dengan nilai tertinggi pada putaran 4500 rpm dengan nilai bmep sebesar 1169,22 kPa. Pada grafik itu pula diperlihatkan nilai bmep terendah terjadi pada E0 dengan nilai bmep sebesar 1046,32 kPa pada putaran 4000 rpm.



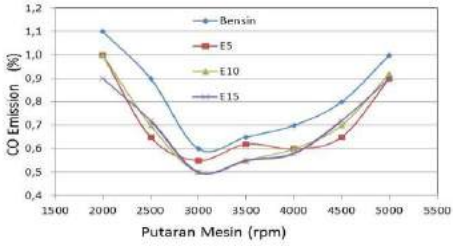
Gambar 9 Bmep sebelum 5000 km



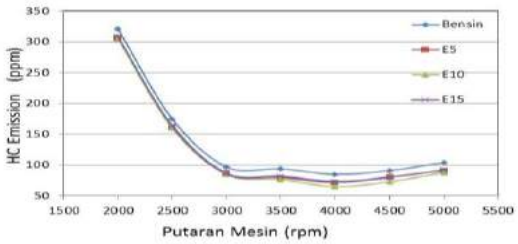
Gambar 10. Bmep setelah 5000 km

Nilai minimum emisi CO adalah pada bahan bakar campuran E10 dan E 15, yaitu sebesar 0,5% pada putaran mesin 3000 rpm. Secara keseluruhan rata-rata emisi CO terendah terjadi pada E15 dengan penurunan mencapai 15,30%, sedangkan untuk E10 penurunannya 13,57%. Nilai minimum emisi HC ketika engine menggunakan bahan bakar E10 dengan emisi HC sebesar 65 ppm.

Secara rata-rata emisi HC E10 mengalami penurunan sebesar 11,79% dibandingan bahan bakar bensin.

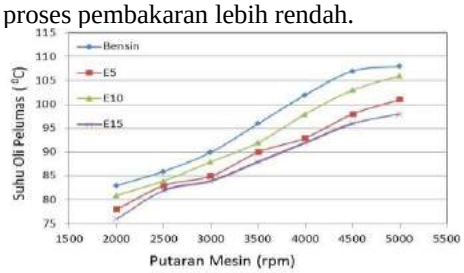


Gambar 11. Emisi CO Mobil uji setelah uji durability



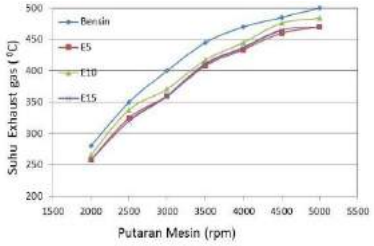
Gambar 12. Emisi HC Mobil uji setelah uji durability

Pada Gambar 13 di atas menunjukkan besarnya oli pelumas terhadap putaran mesin. Dari pengujian bahan bakar premium murni dan campuran premium dengan bioetanol E5, E10 dan E15 menunjukkan bahwa pemakaian campuran E5, E10 dan E15 dapat menurunkan besarnya suhu oli pelumas [4]. Dibandingkan dengan rata-rata suhu oli pelumas menggunakan premium murni, campuran E5 mengalamai penurunan sebesar 6,55 %, campuran E10 mengalamai penurunan 2, 98% dan campuran E15 mengalami penurunan 8,33%. Penurunan suhu oli pelumas terjadi karena campuran bioetanol memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan premium, sehingga pelepasan kalor selama proses pembakaran lebih rendah.



Gambar 13. Suhu oli pelumas setelah uji durability

Pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa secara umum terjadi penurunan temperatur exhaust ketika menggunakan bahan bakar campuran dengan bioetanol, baik E5, E10 maupun E15. Nilai temperatur maksimum exhaust ketika menggunakan bahan bakar premium mencapai 500ºC pada putaran 5000 rpm dan pada saat menggunakan bahan bakar campuran dengan bioetanol suhu exhaust dibawah 470ºC. Penurunan suhu exhaust gas terjadi karena campuran bioetanol memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan premium, sehingga pelepasan kalor selama proses pembakaran lebih rendah [5].



Gambar 14 Suhu exhaust gas setelah uji durability

Berdasarkan properties minyak pelumas untuk mobil uji setelah dioperasikan sejauh 5000 km menunjukkan bahwa pencampuran premium dengan bioetanol menyebabkan hal-hal sebagai berikut:

TABEL 3. PROPERTIES MINYAK PELUMAS MOBIL BENSIN MURNI SETELAH 5000 KM

PARAMETER	HASIL uji			UNIT
	Mobil 1 (bensin)	Mobil 2 (bensin)	Mobil 3(bensin)	
Kinematic Viscosity at 40 °	76,6	70	74,46	CST
Kinematic Viscosity at 100 °	11,1	11,02	11,75	CST
Densitas 15°	0,87	0,86	0,87	g/ml
Flash Point	198	206	198	C
Water Content	0,22	0,32	0,12	%
Fe	14,86	18,68	16,42	PPM
Al	3,82	3,22	2,44	PPM
Cu	0,36	0,24	0,3	PPM
Ni	1,62	1,24	2,1	PPM
Pb	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	PPM
Cr	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	PPM
TAN/TBN	24,2	14,8	18,24	mg KOH/g

TABEL 4. PROPERTIES MINYAK PELUMAS MOBIL BENSIN-BIOETANOL SETELAH 5000 KM

PARAMETER	HASIL uji			UNIT
	Mobil 1 (E5)	Mobil 2 (E10)	Mobil 3(E15)	
Kinematic Viscosity at 40 °	76,91	70,08	74,83	CST
Kinematic Viscosity at 100 °	12,27	11,87	12,86	CST
Densitas 15°	0,87	0,87	0,87	g/ml
Flash Point	188	192	196	C
Water Content	0,1	0,11	0,08	%
Fe	15,05	17,96	15,41	PPM
Al	4	2,66	2,03	PPM
Cu	0,38	1,83	0,35	PPM
Ni	1,32	1,43	1,29	PPM
Pb	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	PPM
Cr	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	tidak teridentifikasi	PPM
TAN/TBN	25,89	14,9	20,89	mg KOH/g

Viskositas kinematis relatif lebih tahan dibandingkan dengan bahan bakar premium

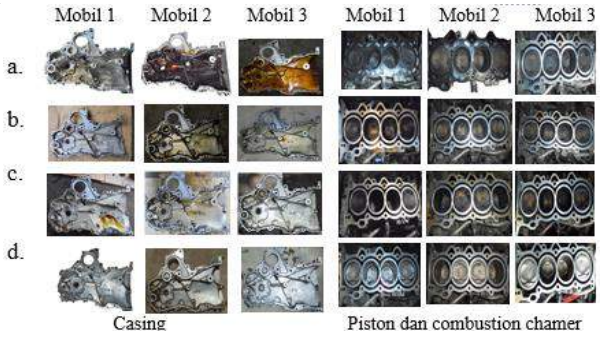
[1] Densitas dan flash point relatif stabil

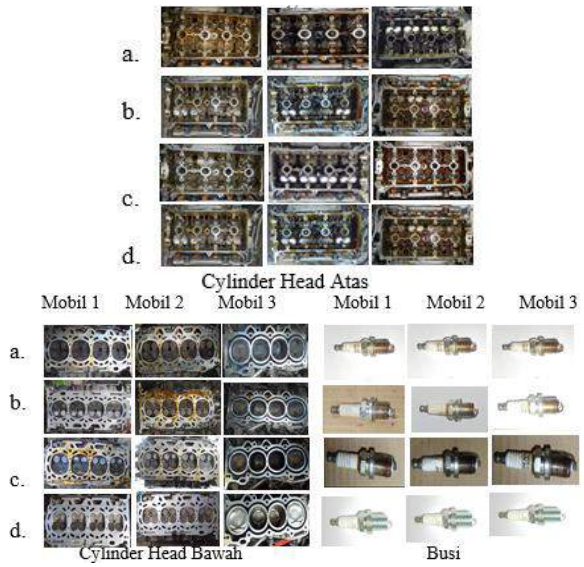
[2] Water content mengalami penurunan tipis

[3] Kandungan unsur-unsur relatif tidak ada perubahan

[4] TAN mengalami sedikit kenaikan

Visualisasi pengotoran ruang bakar dimaksudakan untuk mengetahui pengaruh pemakaian bahan bakar campuran premium dan bioetanol dan bahan bakar murni setelah pemakaian 5.000 km. Hal ini sangat penting mengingat faktor pengotoran dapat mempengaruhi unjuk kerja dan umur mesin. Visualisasi pengotoran yang dilakukan meliputi visualisasi pada *casing* samping, visualisasi pada *piston* dan *combustion chamber*, visualisasi pada *cylinder head* pandangan atas maupun pandangan bawah serta visualisasi pada busi. Mobil 1, 2 dan 3 secara berturut-turut adalah mobil yang pada saat uji durability bioetanol menggunakan kadar 5, 10 dan 15%. Sedangkan saat uji durability bensin, semua mobil menggunakan 100% bensin. Pada pemakaian 5.000 km dengan memakai bahan bakar E5, E10, E15 dan premium murni relatif tidak menunjukkan perbedaan yang berarti, hanya pengotoran oli pada bahan bakar premium murni lebih banyak. Sedangkan pengotoran yang menempel permanen relatif tidak ada.





Gambar 15. Visualisasi ruang bakar a).sebelum pengujian, b).setelah pengujian 5000 km bioetanol, c). setelah pengujian 5000 km bensin, d).setelah dibersihkan

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan kenaikan tetinggi torsi rata-rata sebesar 4,2% pada E10, daya rata-rata tertinggi pada E10 dengan kenaikan 2,96% dibanding bensin murni. Penurunan SFC tertinggi terjadi pada E10 sebesar 7,92%. Bmep tertinggi pada E10 sebesar 2,72%. Emisi gas CO terendah didapatkan oleh campuran E10 dan E15 dengan penurunan sebesar 15,30%. Emisi gas HC terendah didapatkan oleh campuran E10 dengan penurunan sebesar 11,79%. Karakteristik minyak pelumas untuk bahan bakar E5, E10 dan E15 relatif stabil seperti bahan bakar premium, tidak terjadi keausan dan korosi pada mesin maupun kerusakan pada karet seal.

Pemakaian bahan bakar E5, E10 dan E15 menghasilkan pengotoran relatif lebih tipis dibandingkan bahan bakar premium. Secara keseluruhan penambahan bioetanol sampai 15% tidak mengalami perubahan pada kondisi operasional mesin, baik itu tempertur mesin, tarikan maupun penyalaan mesin saat kondisi dingin sehingga secara teknis dapat dikatakan operasionalnya lancar dan tidak terkendala.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada PT PTPN X, PT Enero, Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar setelah seluruh teman-teman lab yang telah membantu terwujudnya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral ,"Kebijakan Energi Nasional", Rakornas Tentang Revitalisasi Pendidikan, Bio Energi dan Penanganan Bencana Alam, Agustus: Jakarta,2006.

[2] G. Najafi, B. Ghobadian, T. Tavakoli, D.R. Buttsworth , "Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network": Elsevier, 2009.

[3] Elfasakhany: Investigations on the effects of ethanolemethanolegasoline blends in a spark-ignition engine: Performance and emissions analysis: Elsevier, A. Elfasakhany: 2015.

[4] Setiyawan, Atok, Kajian Eksperimental Pengaruh Etanol Pada Premium terhadap Karakteristik Pembakaran Kondisi Atmosferik Dan Bertekanan Di Motor Otto Silinder Tunggal Sistem Injeksi, Jakarta: Universitas Indonesia,2012.

[5] Da Silva R., Renanto Cataluna, E.W. de Menezes ,"Effect additives on the antiknock properties and Reid vapour pressure og gasoline", Fuel Vol 84., pp. 951-9, Elsevier,2005.

E-DIMAS: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat, 9(2), 185-192
ISSN 2087-3565 (Print) dan ISSN 2528-5041 (Online)
Available Online at http://journal.upgris.ac.id/index.php/e-dimas

Upaya Pemanfaatan Sumberdaya Pedesaan Berbasis Pengembangan Kelompok Peternak melalui Pengolahan Limbah Kotoran Menjadi Produk Energi Terbarukan dan Produk yang Bermanfaat untuk Kesejahteraan Masyarakat Desa Branjang Kabupaten Semarang

Kiryanto[1], Deddy Chrismianto[2], Eny Puskhah[3]
[1,2]Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Undip
[3]Departemen Peternakan Fakultas Peternakan dan Pertanian Undip
[1]kiryantodst@yahoo.com; [2]deddychrismianto@yahoo.co.id, [3]eny_fuskhah@yahoo.com

Received: 31 Oktober 2017; Revised: 12 Mei 2018; Accepted: 2 Juli 2018

Abstract

Branjang Village is one of the villages in the West Ungaran Sub-district, Semarang District which has considerable potential in the fields of animal husbandry, agriculture, fisheries. The potential area of cattle breeding is quite large, owned by the Truko Village of Branjang Village with 40 farmers. The problem faced is that until now cow dung is only stacked and left just like that on the edge of the cage, has not been used to produce more useful products. The purpose of this KKN-PPM activity is to utilize abundant cow manure, including: to make biogas renewable energy installations, making compost from cow dung. The method used in this service by the KKN-PPM Team includes the design of the installation and manufacture of biogas renewable energy installations followed by operating and maintenance training; training/workshop on the design and manufacture of compost from cow dung packaging and marketing, The output of this service program are: (1) biogas installation and biogas products, (2) compost fertilizer, (3) publications, and (4) scientific articles.

Keywords: *branjang, cow dung, biogas renewable energy, compost fertilizer*

Abstrak

Desa Branjang merupakan salah satu Desa/Kelurahan yang ada di Kecamatan Ungaran Barat, Kabupaten Semarang yang mempunyai potensi cukup besar dibidang peternakan, pertanian, perikanan. Potensi bidang peternakan sapi cukup besar dimiliki masyarakat Dusun Truko Desa Branjang dengan jumlah peternak ada 40 orang. Permasalahan yang dihadapi yaitu sampai saat ini kotoran sapi hanya ditumpuk dan dibiarkan begitu saja di pinggir kandang, belum dimanfaatkan untuk menghasilkan produk yang lebih bermanfaat. Tujuan dari kegiatan KKN-PPM ini adalah untuk memanfaatkan limbah kotoran sapi yang melimpah antara lain: untuk membuat instalasi energi terbarukan biogas, pembuatan pupuk kompos dari kotoran sapi. Metode yang digunakan dalam pengabdian ini oleh Tim KKN-PPM meliputi desain instalasi dan pembuatan instalasi energi terbarukan biogas yang diikuti dengan pelatihan pengopersian dan perawatan; pelatihan/workshop perancangan dan pembuatan pupuk kompos dari kotoran sapi pengemasan dan pemasaran, Luaran program pengabdian ini adalah: (1) instalasi biogas dan produk biogas, (2) pupuk kompos, (3) publikasi, dan (4) artikel ilmiah.

Kata Kunci: branjang, kotoran sapi, energi terbarukan biogas, pupuk kompos

A. PENDAHULUAN

Kuliah Kerja Nyata (KKN) merupakan kegiatan intrakurikuler yang memadukan tri dharma perguruan tinggi (pendidikan, penelitian dan pengabdian masyarakat) dengan cara memberikan kepada mahasiswa pengalaman belajar dan bekerja dalam kegiatan pembangunan masyarakat sebagai wahana penerapan dan pengembangan ilmu yang dilaksanakan diluar kampus dalam waktu, mekanisme kerja dan persyaratan tertentu. KKN ini sangat dibutuhkan masyarakat guna mendapat bantuan pemikiran dan tenaga, sehingga dapat berlangsung kegiatan membantu masyarakat mengembangakan pola pikir dan potensi masyarakat dalam berbagai bidang antara lain pertanian, peternakan, sosial, budaya dan kemasyarakat.

Desa Branjang merupakan salah satu desa/kelurahan yang ada di kecamatan Ungaran Barat sebagai lokasi Kegiatan program Kuliah Kerja Nyata-Pembelajaran Pemberdayaan Masyarakat (KKN-PPM). Lokasi keberadaan mitra KKN-PPM berjarak 30 km dari Semarang atau Undip yang dapat dijangkau dengan transportasi darat. Desa Branjang berada dilereng gunung ungaran bagian utara, dengan daerah kemiringan 25-45%. Luas wilayah Desa Branjang adalah 433,25 ha dimana lahan pertanian berupa sawah 139.63 ha dan bukan sawah 239 ha. Desa Branjang memiliki curah hujan rata-rata adalah 3.500 mm/tahun dan ketinggian 450 mdpl. Keadaan tersebut menjadikan suhu udara sejuk rata-rata adalah ± 27ºC. Desa Branjang terdiri atas 5 dusun/RW (rukun warga) yaitu: dusun Branjang, Cemanggah Lor, Cemanggah Kidul, Truko dan Dersemi dan 21 RT (Rukun Tetangga).

Potensi peternakan sapi cukup besar dimiliki masyarakat desa Branjang dengan jumlah peternak ada 40 orang. Lokasi peternakan sapi dikumpulkan pada beberapa tempat secara kolektif ditanah bengkok desa. Hal ini dimaksudkan untuk mengatur sanitasi lingkungan. Untuk setiap orang mampu memelihara/merawat sapi rata-rata 3 sapi baik sapi penggemukan, sapi perah. Jumlah populasi sapi adalah 40 orang × 3 sapi = 120

sapi. Dengan jumlah tersebut jika setiap sapi menghasilkan kotoran sapi minimal 10 kg/ekor, maka diperoleh jumlah kotoran sapi sebesar (120 × 10 kg/hari) = 1.200 kg/hari. Di samping itu juga ada peternak kambing. Kotoran sapi tersebut merupakan potensi yang sangat besar untuk dapat dimanfaatkan dalam bebagai bentuk produk yang bermanfaat bagi masyarakat dengan menerapkan teknologi yang sederhana antara lain: biogas, pupuk kompos/pupuk kandang.

B. PELAKSANAAN DAN METODE

Metode pendekatan yang digunakan pada program ini diawali dengan melakukan evaluasi terhadap kondisi awal potensi peternakan sapi di Branjang. Kegiatan wawancara dan observasi ke lapangan oleh Tim KKN-PPM untuk mendapatkan data awal untuk referensi tindakan pengembangan dan perbaikan. Berangkat dari permasalahan yang dirumuskan, maka program kegiatan KKN-PPM yang akan di laksanakan merupakan solusi terhadap masalah yang dihadapi. Pendekatan yang digunakan dalam penyelesaian masalah tersebut antara lain, sosialisasi mengenai teknik pembuatan energi terbarukan biogas dengan memanfaatkan kotoran sapi, pembuatan instalasi sistem pengolahan biogas kotoran sapi, pelatihan pembuatan kompos yang berkualitas.

Program kegiatan KKN-PPM pada masyarakat di desa Branjang, kabupaten Semarang akan meliputi beberapa kegiatan:

1. Sosialisasi program KKN-PPM yang akan dilaksanakan di desa Branjang.
2. Memberikan materi tentang kesehatan lingkungan Kerja (K3).
3. Workshop tentang pemanfaatan kotoran sapi menjadi energi terbarukan.
4. Perancangan sistem biogas sesuai dengan lokasi peternakan sapi.
5. Pembuatan sistem biogas dan distribusi dilokasi rumah tangga terdekat.
6. Workshop perawatan sistem biogas.
7. Workshop pembuatan kompos dari kotoran sapi.
8. Pembutatan kompos dari kotoran sapi.
9. Proses pengemasan produk kompos dan manajemen pemasaran.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan survei dimaksudkan sebagai langkah awal untuk mendapatkan potret keadaan masyarakat dan potensi yang ada di dudun Truko, desa Branjang, kecamatan Ungaran Barat. Tujuan survei adalah untuk pengumpulan informasi dan data yang nantinya digunakan untuk menyusun rencana program kegiatan. Survei dilakukan dua kali yaitu hari Senin tanggal 5 Juni dan 8 Juni 2017 yang diikuti oleh seluruh peserta KKN-PPM. Sedangkan kegiatan penerjunan dan penyerahan mahasiswa KKN PPM ke Branjang dilaksanakan pada hari Kamis, 13 Juli 2017 dan diterima oleh Kepala Desa Branjang yaitu Bapak Nur Khasan Ashari.

Kegiatan pembangunan *biodigester* diawali dengan perencanaan agar dapat berjalan lancar sesuai dengan ketentuan yang diinginkan yang dilakukan mahasiswa KKN. Kapasitas digester yang direncanakan dengan volume 10 m^3. Mengacu pada gambar kerja instalasi digester selanjutnya dilaksanakan pembangunan pisik digester. Gambar desain digester dan tahapan pelaksanaan pembangunan dan peresmian adalah:

1. Penggalian tanah sesuai dengan ukuran.
2. Pembuatan alas digester dengan dicor, pemasangan dinding digester melingkar.
3. Pembuatan/pemasangan saluran inlet, pembuatan *mixer* (tempat pengaduk campuran kotoran sapi dan air), pembuatan saluran buang.
4. Pembuatan tempat *slurry*, pembuatan saluran masuk dari kandang ke *mixer*.
5. Pengecoran kubah *digester*, plester bagian dalam dan pengecatan dinding dalam digester.
6. Pengisian digester, uji coba dan peresmian instalasi biogas.

Uji Nyala biogas dilaksanakan di salah satu rumah anggota KTT yaitu rumah bapak Muslikhun. Kegiatan ini dihadiri oleh beberapa orang dari dosen pembimbing KKN-PPM Undip 2017. Pengujian ini dimulai dengan menyiapkan alat dan bahan seperti manometer, selang, alat pemantik dan kompor biogas. Kotoran sapi yang sudah diolah menjadi gas akan mengalir dari *dome digester*

ke kompor biogas melalui selang. Untuk mengetahui apakah gas sudah cukup atau belum adalah dengan melihat manometer yang dipasang diatas kompor biogas, ketika angka di kolom manometer menunjukkan angka minimal 20 mm, sebagai syarat agar gas bisa menyala. Namun saat pengujian angka menometer menunjukkan angka 20 mm kemudian kompor biogas mulai dinyalakan dengan dibantu dengan alat pemantik sehingga kompor menyala. Ini menandakan bahwa biogas berhasil dan siap untuk digunakan. Peresmian dan peluncuran (*launcing*) instalasi biogas dan bank kompos dilaksanakan pada hari rabu tanggal 2 Agustus 2017. Kegiatan tersebut dihadiri oleh undangan yaitu: Kepala Desa Branjang dan Staf Desa Branjang, perwakilan pimpinan LP2KKN Undip, Kelompok Tani Ternak (KTT) "BERKAH SARI", 3 orang dari perwakilan kecamatan Ungaran Barat, dosen DPL, mahasiswa KKN reguler, para mahasiswa KKN-PPM. Pada kesempatan tersebut juga hadir siswa SD Branjang dengan jumlah 40 siswa. Kegiatan peresmian instalasi biogas diliput media surat kabar yaitu Suara Merdeka, Berita Kampus, Zona Kampus dan Antara Foto, Kompas TV, Semarang TV.



Gambar 1. Ilustrasi Kegiatan Gambar Desain, Pembangunan Instalasi Biogas, Pengisian Digester, Uji Coba Kompor Biogas, dan Peresmian Instalasi Biogas

Kompos merupakan hasil penguraian yang terjadi dari campuran bahan-bahan organik yang dapat dipercepat secara artifisial oleh populasi berbagai macam mikroba dalam kondisi lingkungan yang hangat, aerobik, atau anaerobik. Kompos memanfaatkan limbah yang tidak memiliki nilai guna. Perencanaan pembuatan kompos yaitu menyiapkan tempat yang memiliki tudungan atap untuk menjaga kompos tidak terkena sinar matahari secara langsung, menyiapkan terpal kotoran sapi, EM4 atau cairan MOL, kapur dolomit dan air. Pemilihan bahan yang akan digunakan dalam pembuatan kompos dari kotoran sapi harus dipilah karena untuk menyesuaikan perbandingan yang cocok, sehingga menjadi produk kompos yang sesuai dengan standar. Bahan EM4 digunakan untuk mempercepat proses penggemburan, kapur dolomit berfungsi untuk membuat ukuran kotoran sapi mencadi gembur, air digunakan untuk campuran EM4. Langkah membuat kompos yang pertama menyiapkan alat dan bahan, kotoran sapi padat (teletong) dipindahkan ke tempat penampungan dengan ditumpuk setinggi 30 cm, kemudian ditaburkan kapur dolomit, selanjutnya di semprotkan EM4 yang sudah dicampur dengan air. Langkah tersebut di ulangi setiap hari sampai kebutuhan pembuatan kompos terpenuhi. Setelah pembuatan kompos kemudian ditutup terpal secara rapat untuk memberikan lingkungan anaerob. Waktu yang dibutuhkan dalam pembuatan kompos 2 minggu sampai 2 bulan. Untuk membedakan kompos yang sudah jadi dengan yang belum yaitu dengan mengamati langsung ukuran partikel kompos lebih gembur, tidak panas dan tidak berbau.

Desain kemasan menggunakan sablon plastik dengan mencantumkan jenis, nama dan logo produk, serta produsen pupuk kompos agar lebih mudah dikenali di pasar dan menambah nilai jual. Selain itu dicantumkan pula hasil analisis kandungan kompos sebagai salah satu kelebihan produk. Pupuk kompos dikemas dengan berat 3 kg/pack.



Gambar 2. Rangkaian Kegiatan Pembuatan Pupuk Kompos, Pengemasan, Pemasaran Langsung dan Pemasaran Secara *Online*

Ukuran pengemasan ini dipilih berdasarkan pertimbangan target pasar yang dituju, yaitu penggunaan skala rumah tangga, dimana kebutuhannya tidak terlalu besar. Untuk waktu selanjutnya masih dapat dilakukan pengembangan target pasar dengan membuat kemasan lebih besar untuk skala perkebunan dan/atau pertanian. Pemasaran pupuk kompos 'Karomah' dilakukan di sekitar Ungaran. Kebutuhan kompos untuk tanaman hias sangat tinggi, sehingga permintaan kompos untuk kota Ungaran cukup banyak. Pemasaran dilakukan secara langsung dengan menyetorkan barang ke penjual, kemudian penyetor mengambil hasil penjualan di akhir setelah produk terjual. Selain melakukan pemasaran langsung, juga dilakukan penjualan *online* melalui situs *e-commerce* untuk memperluas jaringan pasar.

D. PENUTUP

Simpulan

Kegiatan pengabdian masyarakat melalui KKN-PPM dengan program yang mengacu pada potensi desa merupakan hal yang sangat penting, sehingga manfaatnya langsung dapat dirasakan oleh masyarakat desa Branjang. Dengan demikian kesejahteraan masyarakat akan meningkat dengan adanya kegiatan KKN-PPM ini. Mengacu hasil yang dicapai pada kegiatan ini dapat disimpulkan dengan sebagai berikut:

1. Instalasi biogas dirancang dan dibangun dapat berjalan dengan baik dan sangat bermanfaat bagi KTT 'Berkah Sari' dan anggotanya, digunakan untuk kepentingan menanak air, masak di kandang dan

dirumah, sehingga meningkatkan kesejahteraaan anggota.

2. Produksi pupuk kompos dapat menambah peluang usaha bagi anggota kelompok tani ternak KKT 'Berkah Sari', sehingga dengan pemasaran *online* maupun offline akan menambah pendapatan anggota.

Ucapan Terimakasih

Tim pengabdian KKN-PPM menyampaikan terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini, Perangkat Desa Branjang Ungaran Barat yang telah memberikan perijinan, serta masyarakat khususnya anggota KTT 'Berkah Sari' di Dusun Truko Desa Branjang sebagai tempat pelaksanaan kegiatan pengabdian KKN-PPM.

E. DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2013. *Cara Membuat Biogas dari Kotoran Sapi*, diakses dari http://www.griyasampah.*blog*spot.co.id

Anonim. 2013. *Pembuatan Pupuk Organik dari Kotoran Sapi*.

Departemen Pertanian. 2009. *Pemanfaatan Limbah dan Kotoran Ternak Menjadi Energi Biogas. Seri Bioenergi Pedesaaan*. Direktorat Jenderal Hasil Pertanian Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, Jakarta.

Djumali Manguneidjaja dan Ani Suryani. 1994. *Teknologi Bioproses*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Hambali, E., S. Mujdalipah., A.H. Tambunan., A.W. Pattiri dan R. Hendroko. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: PT Agromedia Pustaka.

Untung Budiarto, Kiryanto, dkk,. 2015. *Pemberdayaan Kelompok Tani Ternak "Rejeki Lumintu" dan Kelompok Tani Ikan "Rukun Makmur" dengan Produk dari Limbah Kotoran Ternak di Kec. Gunungpati Kota Semarang*. Laporan Akhir KKN-PPM, Semarang.

Variabilitas Angin dan Gelombang Laut Sebagai Energi Terbarukan di Pantai Selatan Jawa Barat

The Wind and Sea Waves Variability as Renewable Energy in the Southern West Java

Noir Primadona Purba

Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Jatinangor Km 21 Sumedang UBR 40600
E-mail korespondensi : noaa.phd@unpad.ac.id

Abstrak

Wilayah selatan Jawa Barat yang langsung berhubungan dengan samudra Hindia memiliki potensi pengembangan energi yang berasal dari angin dan gelombang laut. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan alternatif pemenuhan energi yang berasal dari minyak bumi dan batubara. Pola angin dan gelombang memiliki hasil tunggang yang besar dimana pola kecepatan angin berkisar antara 5,305 – 12,604 m/s. Ketinggian gelombang dalam satu tahun didapatkan pada bulan Maret yaitu antara 1,95m sampai dengan 3,1m dan yang terkecil didapatkan pada bulan Februari yaitu antara 0,54m sampai dengan 1,04m. Nilai tunggang yang besar ini dikarenakan pola angin maupun gelombang mengikuti pola musiman (triwulan) akibat monsunal.

Kata Kunci : Angin, gelombang, energi, Pantai Selatan Jawa Barat

Abstract

The southern region of West Java is directly related to the Indian Ocean have the potential development of energy derived from wind and waves laut.This research aim to provide an alternative energy needs are derived from petroleum and coal.Wind and waves pattern have great result which is riding the wind speed ranged between 5.305-1.2604m/s. Wave height obtained in a single year in March of between 1.95m up to 3.1m and the smallest one is obtained in February between 0.4am till 1.04m. This great value riding due to wind and wave patterns follow a seasonal pattern (quarter) due to the monsoon.

Keywords : Energy, monsoon, waves, wind, Southern West Java Sea

Pendahuluan

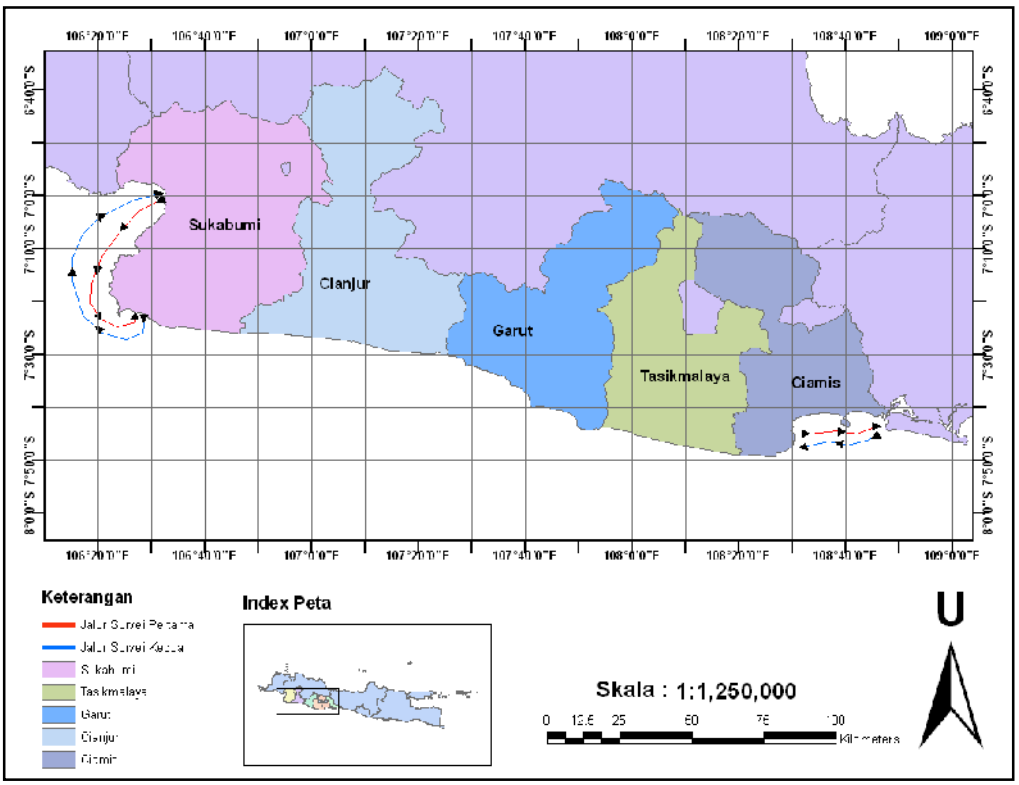
Menjadi Negara kepulauan memiliki tantangan tersendiri terutama dari sisi pengelolaan pesisir dan laut. Salah satu tantangannya adalah pemenuhan sumber energi terbarukan mengingat wilayah geografis Indonesia yang memiliki garis pantai terpanjang ke-dua di dunia. Potensi tersebut dapat dimanfaatkan untuk menjawab tantangan kebutuhan energi dalam mendukung pembangunan nasional. Sampai tahun 2009, sebagian besar kebutuhan tenaga listrik di Indonesia masih dipasok dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Minyak Bumi masih menduduki peringkat tertinggi, yaitu 51,66%. Gas alam menduduki tingkat ke-dua, yakni 28,57%, sisanya dipasok dari energi minyak sebesar 15,34% dan energi terbarukan 4,43%. Ketergantungan terhadap konsumsi energi berbahan bakar fosil dan belum termanfaatkannya sumber energi baru terbarukan merupakan salah satu kelemahan dalam menerapkan pemerataan kebijakan energi (Yuningsih dkk., 2011). Pijakan pengembangan energi laut sebenarnya telah tersedia dalam UU No. 30/2007 tentang Energi maupun UU No. 17/2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN).

Salah satu sumber daya energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan berasal dari laut. Laut meyimpan energi yang dapat digunakan seperti gelombang, angin, arus, dan pasang surut. Dinamika energi gelombang dan angin berasal dari tekanan yang berbeda antar lapisan atmosfer, kemudian, energi ditransfer dari angin ke gelombang. Energi yang ditransfer tergantung pada kecepatan angin, lamanya waktu yang bertiup angin dan jaraknya (*fetch*). Pada prosesnya, tingkat tenaga surya dengan kekuatan sekitar 100 W/m^2 diubah menjadi gelombang dengan tingkat daya lebih dari 1.000 kW /m (Thorpe, 1999). Untuk memprediksi daya yang dapat dibangkitkan di pantai dilakukan dengan memanfaatkan data angin. Angin yang bertiup di permukaan laut merupakan faktor utama penyebab timbulnya gelombang laut. Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk. Menurut teori Sverdrup, Munk dan Bretchneider (SMB) kecepatan angin minimum yang dapat membangkitkan gelombang adalah sekitar 10 knot atau setara dengan 5 m/s. Untuk mengkonversi tinggi dan perioda gelombang digunakan persamaan gelombang untuk perairan dangkal (CERC, 1984).

Wilayah Selatan Jawa Barat merupakan daerah pesisir yang langsung berhadapan dengan Samudera Hindia dengan karakteristik gelombang dan angin yang berfluktuasi sepanjang tahun. Wilayah ini merupakan salah satu daerah dengan kekuatan angin dan gelombang yang tinggi sebagai implikasi dari benua Australia dan Asia (monsun) dan berbatasan dengan samudera. Pergeseran angin dan gelombang ini berfluktuasi dengan musim yang berlangsung sekitar tiga bulanan. Untuk itu penelitian ini merupakan analisis awal untuk mengemukakan bahwa wilayah selatan Jawa Barat layak untuk dijadikan sebagai wilayah studi kasus pengembangan energi terbarukan yang berasal dari angin dan gelombang.

Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Data primer berdasarkan survei lapangan yang dilakukan di dua kabupaten yakni Sukabumi dan Pangandaran, sedangkan data sekunder digunakan untuk mendapatkan data di tiga kabupaten lainnya (Cianjur, Garut, dan Tasikmalaya). Pengukuran lapangan dilakukan pada bulan November 2012 menggunakan alat *anemometer* dan *wavemeter*. Terdapat 10 stasiun pengamatan di wilayah Sukabumi dan enam stasiun di wilayah Ciamis dengan *track* yang berbeda. Data sekunder yang dianalisis adalah kecepatan rata-rata angin dan gelombang berdasarkan musim yang diperoleh dari *Ocean Watch*. Data angin didapatkan dari *QuickSCAT* dengan resolusi 0,25^{o}x 0.25^o, dan data gelombang didapat dari AVISO.OCEANOB berformat .netCDF (*Network Common Data Form*) dengan resolusi 1°. Data tersebut kemudian dikonversikan dengan layak atau tidaknya daerah kajian untuk potensi sumber energi alternatif. Hal ini bergantung pada teknologi yang ada, namun saat ini kecepatan angin yang dapat digunakan minimal 1m/s, nilai ini juga digunakan untuk membangkitkan gelombang. Selanjutnya pembuatan peta wilayah kajian dilakukan dengan bantuan *software ArcGis*, agar daerah penelitian dapat terlihat secara jelas dan menjelaskan jalur dimulainya titik lokasi penelitian yang dilakukan (Gambar1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian
Figure 1. *Map of research area*

Pemanfaatan energi laut dari gelombang dihitung berdasarkan besarnya daya listrik yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan berikut ini (K. Hulls) :

$$P = \frac{\tilde{n}g}{64\eth} H \; T$$

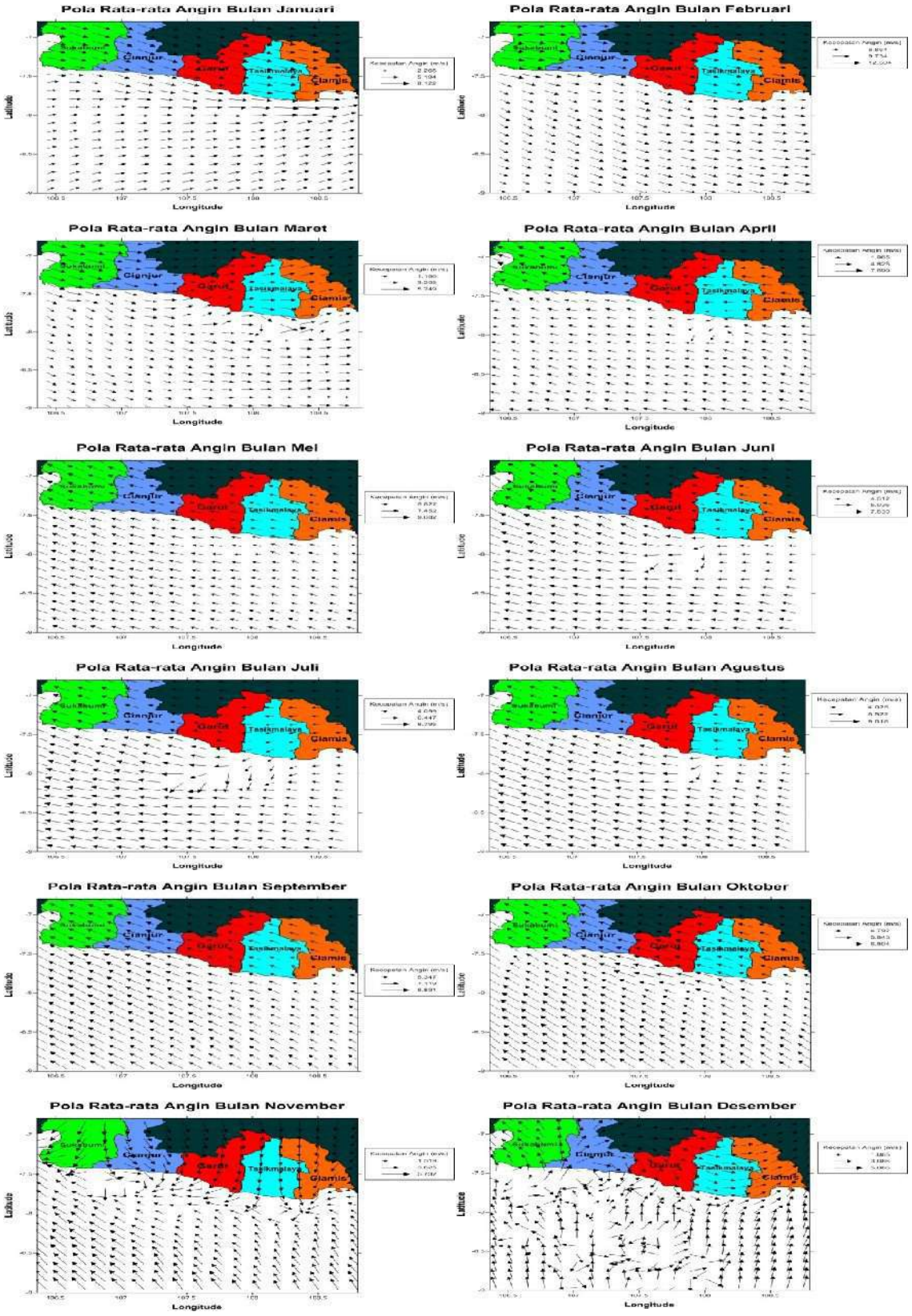
dengan ketentuan = 1030kg/m^3; g = 9,81 m/s; π sebesar 3,14; P merupakan daya listrik yang dihasilkan (Watt/meter); H merupakan ketinggian gelombang (m) dan T merupakan periode dari dua puncak gelombang.

Hasil dan Pembahasan

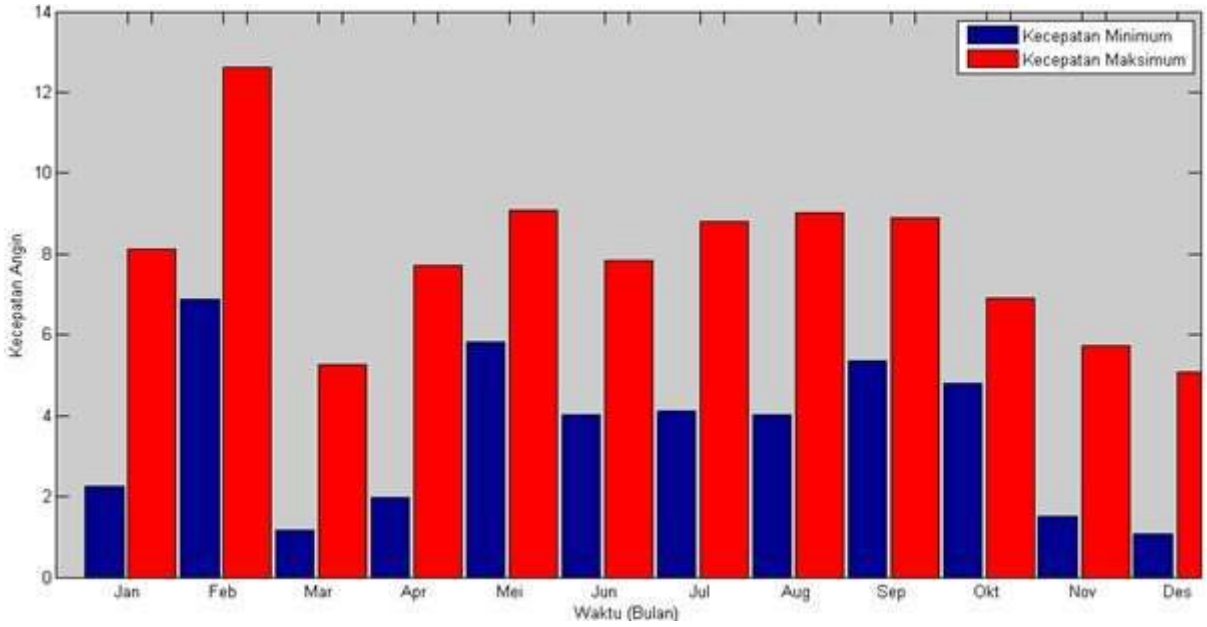
Angin

Pola angin pada bulan Januari secara dominan bergerak dari arah barat daya dan barat laut menuju arah timur. Kecepatan angin yang melewati Kabupaten Sukabumi, Cianjur, Garut, Tasikmalaya dan Ciamis berkisar antara 5,194 - 8,122m/s. Hal ini berbeda dengan kecepatan angin yang melewati perairan pantai selatan yang memiliki nilai yang lebih kecil yaitu hanya berkisar antara 2,265 -5,194m/s (Gambar 2).

Pola angin pada bulan Februari secara dominan bergerak dari arah barat laut menuju arah timur. Kecepatan angin sesaat di Kabupaten Sukabumi mencapai 12,604m/s dan kecepatannya semakin menurun ketika menuju Kabupaten Ciamis dengan nilai sekitar 9,734m/s. Kecepatan angin pada bulan ini mencapai nilai tertinggi sepanjang tahun 2012. Nilai ini sangat sesuai berdasarkan teknologi yang ada saat ini bahwa dengan kecepatan 1 m/s, angin sudah dapat dipanen



Gambar 2. Pola angin dalam satu tahun
Figure 2*. Wind patterns within one year*

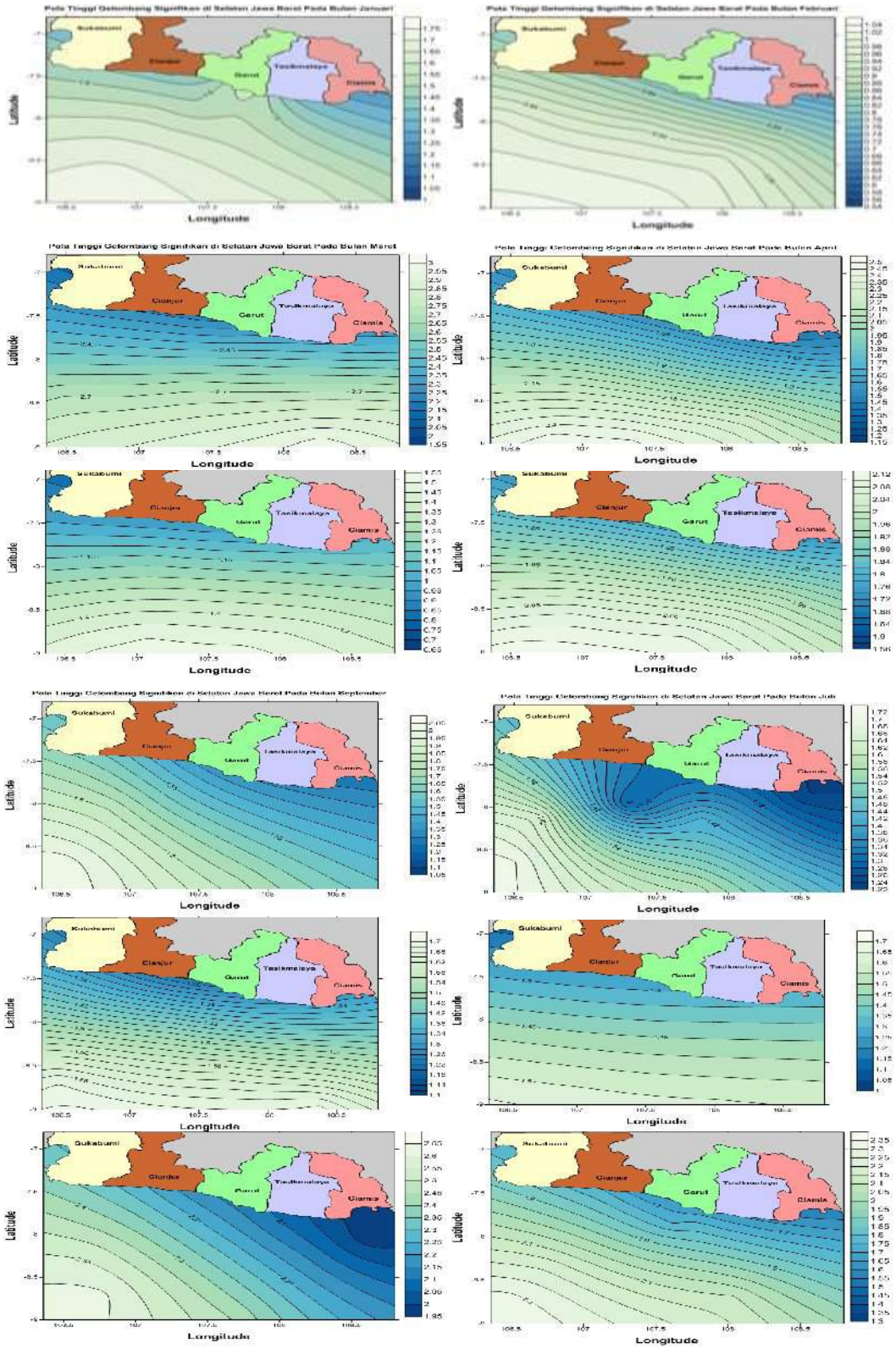


Gambar 3. Kecepatan angin (m/s) di Pantai Selatan Jawa Barat tahun 2012
Figure 3*. Wind velocity (m/s) in the South Coast of West Java in year 2012*

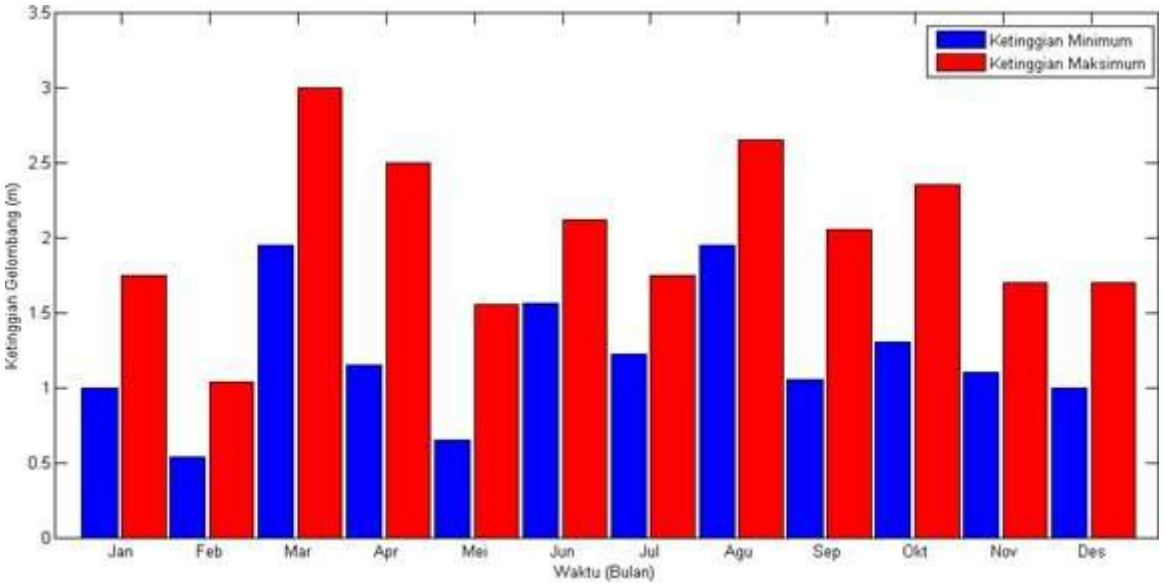
Berdasarkan Gambar 3, kecepatan angin setiap bulannya berubah-ubah, sehingga pada bulan April secara dominan berasal dari arah timur dan tenggara menuju barat laut. Kecepatan angin yang berhembus di daratan memiliki nilai yang semakin besar hingga mencapai 7,699m/s di Kabupaten Sukabumi. Pada daerah pesisir di Kabupaten Tasikmalaya pergerakan angin mengalami pembelokan ke arah pantai dengan kecepatan sekitar 1,965m/s. Sedangkan angin yang berhembus di perairan Pantai Selatan mengarah ke barat laut dengan kecepatan sekitar 1,965m/s. Angin pada bulan Mei dominan bergerak dari arah tenggara menuju barat laut dengan pergerakan yang hampir sejajar, baik pada bagian perairan maupun daratan. Kecepatan angin semakin bertambah dari arah tenggara menuju arah barat laut. Kecepatan angin tertinggi berada di Kabupaten Sukabumi dengan nilai sekitar 7,452m/s, sedangkan kecepatan di wilayah perairan berkisar antara 5,822 - 7,452m/s.
Angin pada bulan Juni dominan bergerak dari arah tenggara menuju barat laut dengan kecepatan antara 4,012 hingga 7,839m/s. Pergerakan angin pada bulan Juli dominan bergerak dari arah timur menuju barat laut. Kecepatan angin terendah berada di perairan Kabupaten Ciamis dengan nilai 4,099m/s. Pergerakan angin pada bulan Agustus secara dominan bergerak dari arah tenggara menuju barat laut. Pergerakan ini memiliki kecepatan yang semakin tinggi dari arah tenggara menuju barat laut yaitu dari 4,025m/s hingga 9,018m/s. Di Kabupaten Garut pergerakan angin berbelok menuju arah barat dengan kecepatan 3,625m/s, dan bertemu dengan angin di Kabupaten Cianjur yang bergerak menuju arah tenggara sehingga mengindikasikan adanya gejala anti-siklon. Secara keseluruhan kecepatan angin yang berhembus di bulan ini hanya berkisar antara 1,085 - 5,086m/s

Gelombang Laut

Hasil penelitian pada lokasi penelitian di pantai selatan Jawa Barat menunjukkan adanya potensi energi gelombang. Hal ini karena ketinggian gelombang yang ada berada pada daerah lepas pantai, sehingga rata-rata ketinggian gelombang setiap musimnya berbeda-beda sesuai dengan kondisi cuaca, kecepatan angin, dan musim seperti yang terlihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Pola gelombang per tahun
Figure 4. *The pattern of waves in per year*



Gambar 5. Ketinggian gelombang signifikan di Pantai Selatan Jawa Barat, tahun 2012
Figure 5. *Significant wave height on the South Coast of West Java in 2012*

Dari hasil yang didapatkan, maka dapat dinyatakan bahwa hasil daya listrik terbesar didapatkan pada bulan Maret yaitu antara 1,95m - 3,1m dan yang terkecil didapatkan pada bulan Februari yaitu antara 0,54m - 1,04m. Maka dari itu, pemanfaatan energi dari gelombang di Pantai Selatan Jawa Barat cukup potensial untuk terus dikembangkan, namun potensi tersebut tidak lepas dari pola perubahan musim yang ada di Indonesia khususnya wilayah kajian. Perbedaan ketinggian gelombang setiap bulannya dalam satu tahun terlihat jelas naik-turun. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pola perubahan musim akan menentukan potensi pengembangan energi tenaga gelombang yang ada di wilayah kajian.

Simpulan

1. Kecepatan angin rata-rata antara 5,305 – 12,604m/s. Pemanfaatan energi dari angin di wilayah ini sudah dapat dimanfaatkan untuk skala kecil maupun besar.
2. Kondisi gelombang pada wilayah kajian berkisar 1,02–3,1m. Pemanfaatan energi dari gelombang dapat dimanfaatkan pada musim peralihan satu yaitu pada bulan Maret dan April.
3. Adanya pola musim di Indonesia akan berdampak pada pemanfaatan potensi gelombang sebagai sumber energi. Kecepatan rata-rata angin dan ketinggian gelombang dipengaruhi pola musiman yang ada di Indonesia

Saran

1. Perlu adanya penelitian lanjutan yang dilakukan selama satu tahun dan penelitian tentang instrumen konversi energi agar potensi energi di Pantai Selatan Jawa Barat dapat diketahui lebih detil
2. Pengembangan terhadap potensi energi angin dan gelombang perlu terus dilakukan oleh lembaga atau instansi terkait guna memenuhi kebutuhan energi dan kesejahteraan masyarakat di sekitar Pantai Selatan Jawa Barat

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Ditjen DIKTI melalui Hibah BOPTN, dan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjadjaran selaku bagian dari penelitian ini, serta DKP Indramayu atas informasi dan data Pulau Biawak. Tak lupa ucapan terima kasih disampaikan pula kepada TIM KOMITMEN (Komunitas Instrumentasi dan Survey Kelautan) dan TIM WE2P (*West East Energy Project*) 2012.

Daftar Pustaka

BPSPL. 2011. Pengembangan Energi. KP3K-KKP.

Clearesta, E., Julianto, A., Afifah, H., Nurguritno, M., Wahyuningsih, P., Kurniasih, S. Jemira, Y. R., Dian, T. J. 2010. Konversi Energi-Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Laut. *Majalah Energi-Sustainable Energy Monthly Magazine*.

DKP, 2006. Penyusunan Naskah Akademik Pengelolaan Kawasan Konservasi Laut Daerah (KKLD) Pulau Biawak Kabupaten Indramayu.

Frankael, P. 1999. Power from Marine Currents. Marine Currents Turbines Ltd.

Saad, 2008.. Hari Membangun Kelautan, Pesisir, dan Pulau-pulau Kecil. Direktorat Jenderal Pesisir dan Pulau-pulau Kecil.Departemen Kelautan dan Perikanan. ISBN 978-979-17592-3-6. Jakarta.

Togan, P. 2010. Perencanaan Sistem Penyimpanan Energi dengan Menggunakan Battery pada Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) di Desa Ketapang, Kabupaten Lombok Timur, NTB. ITS-Surabaya.

Thorpe, T. W. 1999. A Brief Review of Wave Energy. A Report Produced for The UK Department of Trade and Insdustry.

Yuningsih, A. dan A. Masduki. 2011. Potensi energi arus laut untuk pembangkit tenaga listrik di kawasan pesisir Flores Timur-NTT. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 3(1-12)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

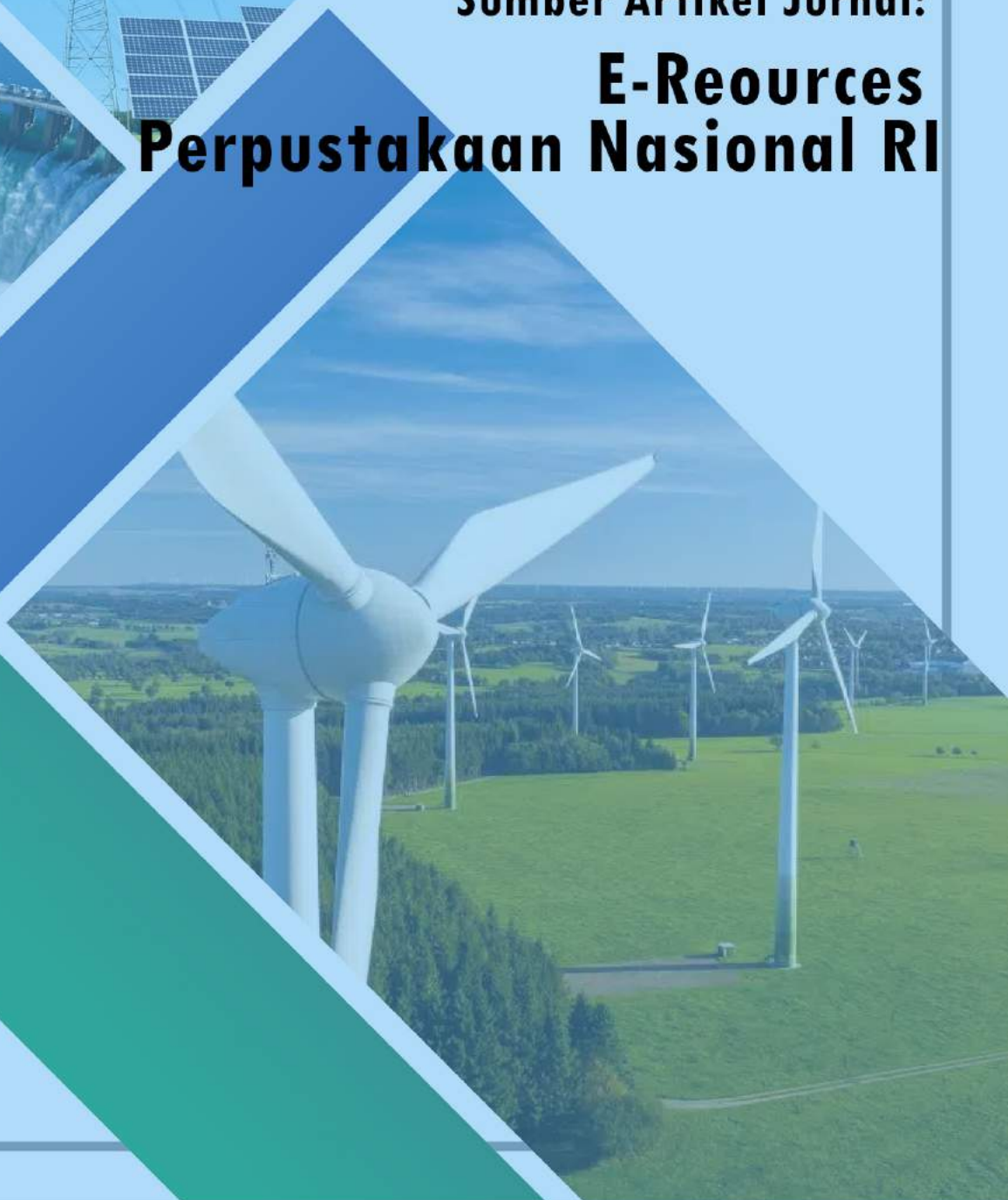
PAKET INFORMASI TERSELEKSI

ENERGI TERBARUKAN

Sumber Artikel Jurnal:

E-Reources Perpustakaan Nasional RI





INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND TECHNOLOGY

ISSN: 0392-8764
Vol. 34, Special Issue 2, October 2016, pp. S371-S378
DOI: https://doi.org/10.18280/ijht.34S226
Licensed under CC BY-NC 4.0
A publication of IIETA

http://www.iieta.org/Journals/IJHT

A Renewable Energy Joint Strategy for the Implementation of Local Action Plans for Renewable Energy

G. Casano and S. Piva *

ENDIF ENgineering Department In Ferrara, Università di Ferrara, Ferrara, Italia

Email: stefano.piva@unife.it

ABSTRACT

As a baseline for the elaboration of useful instruments to increase the utilization of Renewable Energy in the cities, we present a Renewable Energy Joint Strategy (REJS), as proposed by the Partners of the European Project "Cities on Power". It constitutes a general guideline for public authorities on how to act to fulfil the provisions on Renewable Energy of the "Europe 2020 Strategy for growth and jobs" and on how to promote and make the best use of renewable energy. A REJS should face all needs of the different stake-holders and be able to offer a balanced approach to their satisfaction. Some preliminary activities made it possible to obtain a clear vision regarding to infrastructural, environmental and technological constrains and assess the potential of Renewable Energy Sources (RESs) in the specific local areas. The REJS covers the three fundamentals of EU energy policy (sustainability, security of supply and competitiveness) and is consistent with the long-term EU decarbonisation scenarios. The REJS is detailed through the following issues: General policy approach, Financial support, Administrative procedures, RESs in distributed power production and Smart Grids, RESs in Heating and Cooling and electricity, Sustainability, Regional and international dimensions, Technology development, Participation.

Keywords: Renewable energy, Local action plans, Joint strategy, Heating and cooling.

1. INTRODUCTION

Most of the EU inhabitants lives in cities, most of the EU energy is consumed in cities and also most of the EU's greenhouse emissions comes from urban areas. For achieving national and EU targets of climate protection, reducing pollution, increasing the energy independence, it will be necessary a deep involvement of cities and specifically the adoption of strict determinations to foster the development of renewable energy. In the Project called "Cities on Power" one of the instruments proposed by the Partners to increase the utilization of Renewable Energy Sources (RESs) in the cities is the implementation and endorsement of Local Action Plans (LAPs in the following) for Renewable Energy. For the elaboration of their LAPs the Partners developed a Renewable Energy Joint Strategy (REJS in the following) [1] pointing out the strategic axes of activities with respect to the promotion of the renew-able energy in the urban context. As such it reflects the approach of the Partners to the preparation of the LAPs for Renewable Energy. At the same time it constitutes a general guideline for public authorities on how to act to fulfil the pro-visions on renewable energy of the "Europe 2020 Strategy for growth and jobs" and on how to promote and make the best use of Renewable Energy Sources (RESs in the following). The target groups of this REJS are thence local politicians, decision makers and high-rank officials that take part in any process of preparing energy policies in local administrations involved in these activities. Therefore, in addition to the Partners also others public authorities can use it and receive a benefit.

By analyzing the process of production, management and utilization of RESs, in the cities, beside local politicians and decision makers further groups of stakeholders are relevant, in particular investors and final energy consumers. Obviously, different stakeholders show different needs. A REJS should face all these needs and be able to offer a balanced approach to their satisfaction.

A REJS derives from preliminary activities that make it possible to obtain a clear vision, useful for a strategy on RESs, outline the options on RESs having regard to infrastructural, environmental and technological constraints and assess the potential of RESs in the specific local areas. These results are thence the baseline of a Joint Strategy, allowing the definition of targets and regulatory measures of urban planning and building codes for a more intensive recourse to RESs. These steps are summarized as follows:

1) Individuation of the Policy Context: this was obtained through a SWOT analysis of the regulatory framework at EU, national, regional and local levels; it guarantees that the local assumptions of the REJS will be in line with the strategies of higher level (regional, national, European) and ensures the validity of the strategy in the context of regional, national and EU obligations. This because it is evident that regional, national and EU policies are the context where the Joint Strate-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

y for RESs requires to be developed.

2) Individuation of the RESs support schemes: this also was obtained through a SWOT analysis of the financial incentives; it guarantees a clear identification of the different instruments able to promote a deep rooting of the RESs in the social and economical structures, in a context where the financial schemes designed to support the development of RES are many and differentiated.

3) Identification and assessment of resources and potential of the different RESs in the local context, in particular for urban areas: this was obtained through a comparative analysis; in this step, beside a review of the available information on the resources in the area, an useful point is the production of maps of potential and availability of RESs. This is also helpful in individuating the infrastructural and environmental barriers to overcome.

4) Development of pilot projects for the renewable resources, which are at the same time differentiated and integrated / monitored on a common basis, in order to facilitate the inclusion of these innovative technologies, fruit of mutual trans-national endeavours, into the Local Action Plans.

5) Information and promotion activities useful for a rising awareness and participation in investments on RESs: this was obtained through a number of local activities of information and promotion. In fact, being aware of the role of Renewable Energy, allow the stakeholders to take actions to make informed energy choices.

The Project "Cities on Power" involves five expert institutions and four public authorities (City of Warsaw, Municipal Authorities of the provincial capital Klagenfurt, Province of Ravenna and Province of Torino) from four countries, the latter with the capacity to implement the results of the project in their political context. This group of public authorities shows also the will to develop and adopt Local action plans for renewable energy. This gives a deep significance to the activities because the experience acquired by the Partners in the implementation of the REJS could become relevant for the cross-fertilization of the results.

1.1 EU renewable energy policy

The promotion of Renewable Energy is a cornerstone in the EU's climate and energy strategy until 2020 as confirmed with the 20/20/20 targets for greenhouse gas reductions, energy efficiency and RES contained in the "Europe 2020 Strategy for growth and jobs" [2]. It is believed that RESs can provide various benefits:

- contribute to the environment and climate protection policy objectives,
- help to diversify the energy supply and lower the dependence on foreign suppliers,
- reduce exposure to the volatility of energy prices,
- contribute to technology development, regional growth and employment.

Moreover, over the last decade, while the price of fossil energy sources has gradually increased, the price of the production of energy from RESs has dropped steadily, at times even quite sharply.

As regards RESs the EU's legislative framework is laid down in the Renewable Energy Directive [3]; it includes specific measures and objectives for the three following sectors: electricity, biofuels and heating & cooling. In particular Renewable Energy Directive sets an obligatory target of 20% renewable energy in gross final energy consumption as well as a 10% target for the share of renewable energy in transport for 2020.

Figure 1 shows the trend of the share of energy from r in gross final consumption of energy in EU-28 during the p riod 2004-2013 and the final target at 2020. It is evident that the EU's trend is tending to the target. This means that the comprehensive and binding regulatory framework provided by the EU's Renewable Energy Directive is effective in driving forward the renewable energy development to achieve the targets that EU has set itself.

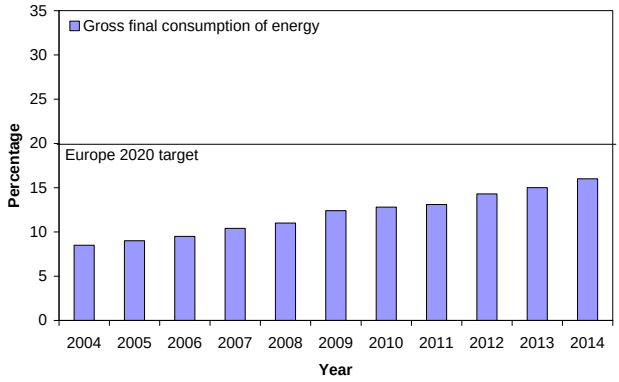


Figure 1. Share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy, EU-28, 2004-2014 (Source Eurostat - Energy from renewable sources 2015)

It is also clear that the achievement of the EU's overall energy and climate policy targets necessarily requires stronger efforts towards energy saving and energy efficiency. Strong policies on energy efficiency and renewable energy are mutually reinforcing because a lower overall consumption allows reaching the RESs targets faster and at lower costs and the adoption of the energy saving strategies would help achieve the aims of the renewable energy policy.

Furthermore, the current targets for energy and climate embodied in the Europe 2020 Strategy [2] should be seen as interlinked and mutually reinforcing.

It is therefore appropriate to establish standalone targets for RESs in the context of possible targets for energy efficiency and climate mitigation.

It should be emphasized that the stimulation of an energy market of RESs through specific policies involves new specific challenges, some associated with the character of the energy sector, some specific to the introduction of RESs. The policy-makers and other involved stakeholders, in particular at the local level, need to be ready to drive the process and move the activities towards an increase of the share of RESs, while being able to control this growth.

1.2 Cities and renewable energy joint strategy

Even if recent significant programs, both at national and local level [4, 5] are available, characterized by placing energy savings and energy efficiency as their main priorities, there are still relatively few explicit local policies on renew-able energy.

However, on one hand it is important to explicitly highlight the RESs in urban planning, rather than insert them into other issues such as sustainability, climate change, clean transportation, and "green" or "eco" programs. A reduced final energy demand is important because enables the RESs [6] the satisfaction of a larger share of demand and this could grow the risk to overlook or to limit the potential of these energy sources.

On the other hand it is important to point out that RESs

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

hould be promoted only if they are environmental friendly. This means to consider:

- best available technologies,
- landscape attention,
- low emissions systems,
- low environmental impact on the natural resources,
- limited utilization of free lands.

In the massive introduction of RESs in cities a central role is played by cities and local authorities. It is well known that coverage targets with RESs can be established only at the national level. However, the capability to govern and guide the communities, to provide services and manage municipal resources, make the political mandate of the local governments the right instrument to stimulate and drive the implementation of RESs in the cities.

The production of regional, national and European policies, very often updated in these last times, needs to be driver with Local action plans. For this reason the Local action plans have to be structured so to be easily modified and updated in coordination with the higher level policies.

It may also be useful to examine the local plans developed in the immediate vicinity of the area under planning; in this way it will be possible to avoid possible differences, difficult to be understood by the final user, and to individuate possible trans-boundary issues.

For these reasons, the main purpose of a LAP is to examine the conditions that might be necessary for a further development of RESs at the local level. This must cover the three fundamentals of energy policy (sustainability, security of supply and competitiveness) consistently with the European scenario presented in the Renewable Energy Directive which points to a substantially increased share of RESs.

In accordance with the Renewable Energy Directive [3], a LAP also points to the need to ensure a cost-effective development of the RESs potential, as well as to ensure that their further expansion happens in line with the requirements for system stability and is consistent with other EU policies, notably climate mitigation, internal market, international cooperation and technology development and protection of the environment, including biodiversity.

A LAP is based on the rationale that a positive frame for the development of RESs is necessary due to a number market failures or imperfections. These include elements like:

- the non-internalisation of negative externalities of conventional energy forms,
- the presence of subsidies for other non renewable energy forms (for instance cogeneration),
- imperfect market structures,
- regulatory barriers,
- the status of many renewable technologies as “infant industries” together with a significant inertia of the system,
- barriers related to information and public perception.

It is particularly appreciated the validity of the EU's current approach for a period when the RES will move from margin to centre of the stage and will be applied on a large scale, at least for the more mature technologies. A LAP therefore is intended to suggest a locally specified approach to the choice of forms and extent of policy interventions on RESs.

In Table 1 is shown, for EU28 during the period 2004-2013, the share of energy from RESs in gross final consumption of energy. Even if one Partner (Austria) can be recognized as a Pioneer in utilization of RESs for energy production, a general trend of growth is clearly visible. In this context this REJS is proposed also as the right instrument for a deeper local implementation of the general targets introduced by the EU directives.

2. RENEWABLE ENERGY IN THE URBAN CONTEXT

A common strategy for a growth of the *Renewable Energy in the urban context* like this REJS acts as a unifying and focusing element for the Local Action Plans to be developed according to the strategies of the Project “Cities on Power”.

The aim of this REJS is to enable the Partners to center, at the local level, the European objectives of reducing consumption of fossil energy, increasing the efficient use of energy, progressively increasing the use of Renewable Energy and reducing greenhouse gas emissions.

Table 1. Share of energy (%) from renewable sources in gross final consumption of energy, heating and cooling and in gross electricity consumption of energy, EU-28, 2004-2014 (Source Eurostat - Energy from renewable sources 2015)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Share of energy from RESs in gross final consumption of energy											
Austria	23.3	23.8	25.3	27.3	28.2	30.1	30.6	30.8	31.6	32.3	33.1
Germany	5.8	6.7	7.7	9.1	8.6	9.9	10.5	11.4	12.1	12.4	13.8
Italy	6.3	7.5	8.3	9.8	11.5	12.8	13.0	12.9	15.4	16.7	17.1
Poland	6.9	6.9	6.9	6.9	7.7	8.7	9.2	10.3	10.9	11.3	11.4
EU-28	8.5	9.0	9.5	10.4	11.0	12.4	12.8	13.1	14.3	15.0	16.0
Share of energy from RESs for heating and cooling											
Austria	21.4	22.1	22.9	25.7	26.1	28.1	29.8	30.2	31.2	32.7	32.6
Germany	6.3	6.8	6.9	8.3	7.4	9.2	9.8	10.5	10.4	10.6	12.2
Italy	5.7	8.2	10.1	13.3	15.3	16.4	15.6	13.8	17.0	18.1	18.9
Poland	10.2	10.2	10.2	10.4	10.9	11.6	11.7	13.1	13.4	14.1	13.9
EU-28	10.2	10.8	11.4	12.8	13.1	14.7	14.8	15.4	16.2	16.6	17.7
Share of energy from RESs for electricity											
Austria	61.8	62.4	62.4	64.6	65.2	67.8	65.7	66.0	66.5	68.8	70.0
Germany	9.4	10.5	11.8	13.5	15.0	17.4	18.1	20.9	23.6	25.3	28.2
Italy	16.1	16.3	15.9	16.0	16.6	18.8	20.1	23.5	27.4	31.3	33.4
Poland	2.1	2.7	3.0	3.4	4.4	5.8	6.6	8.2	10.7	10.7	12.4
EU-28	14.4	14.9	15.4	16.1	17.0	19.0	19.7	21.7	23.5	25.4	27.5

In this REJS, with an integrated use of different available instruments, the creation is proposed of a new local context to enhance awareness of the population, entrepreneurs and intermediaries and to significantly promote the use of Renewable Energy.

As the results of the analysis of the regulatory framework

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

EU, national, regional and local levels, the difficulties encountered in the past in meeting this target can partly be explained by:

- the high cost of renewable energy owing to the investment and management required;
- administrative problems resulting from installation procedures and the decentralized nature of most renewable energy applications;
- the opaque and/or discriminatory rules governing grid access;
- inadequate information for suppliers, customers and installers.

Furthermore in the countries participating to the Project "Cities on Power" the externalities have not been taken into account and this gives to fossil fuels an artificial advantage.

Figure 2 shows how biomass is the principal RES used for energy production. The extent to which other energy sources have been developed varies considerably depending on the type of source and on the country. As shown in Table 1, an assessment of the share of RES in the energy mix and the progress made in the last years, shows that more and better could be made of RESs. Furthermore, the progress made by the Countries of the Partners has been patchy and highly uneven.

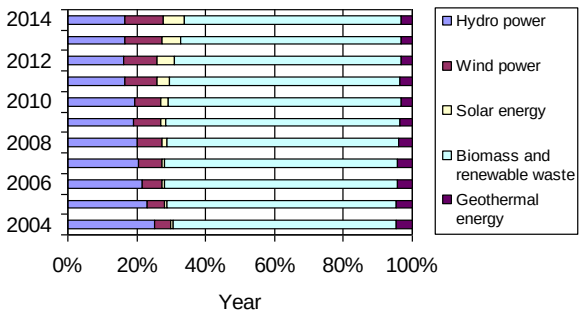


Figure 2. Gross inland consumption of renewable energy by source, EU-28, 2004 - 2014 (Source Eurostat - Primary production of renewable energy by type - annual data 2015)

The delay in setting binding target and the gaps in the legal framework for RESs have meant that a real progress has only been possible for the few Countries whose determination has outweighed their changing political priorities. Additional efforts are therefore required. This REJS is an opportunity to fill the gap and to drive the introduction of RESs in the urban context.

The EU has adopted a legislation (Renewable Energy Directive [3]) including specific measures and objectives for the three following sectors: electricity, biofuels and heating & cooling.

It is evident that the production of biofuels is hardly compatible with the urban context. Also the large power production from RESs is of difficult placement in the urban context. However, the distributed production of electric energy from RESs (photovoltaics, micro-wind) is fully compatible with the urban context and can give a real contribution to the increase of the share of energy from RESs. This contribution can increase if this distributed electricity production is coupled to intelligent energy distribution systems (smart grids).

The EU Commission [7] is of the opinion that the "Heating and cooling" sector, which accounts for approximately 50% of final energy consumption, is not doing enough to exploit the potential of RESs. As shown in Table 1, the share RESs used in this sector is rising only slowly.

The main barriers against a stronger uptake of Renew Energies in the "Heating and cooling" sector are individuat in:

- costs or lack of financial support,
- lack of awareness or unfavourable building regulations,
- a decentralised nature of the sector,
- split interests of some market actors, as in the case of landlords and tenants,
- a lack of a supportive tax policy, which would address the issue of cost competitiveness,
- a lack of education and training for installers to ensure a sufficient number of qualified staff,
- a political attention too much focused on the electricity, not focused on the size and potential of the "Heating and cooling" sector.

The Renewable Energy Directive [3] sets an overall mandatory target for the proportion of Renewable Energy figuring in gross domestic consumption by 2020 and provides, for each Member State, the adoption of mandatory targets and action plans in line with the potential. Setting targets at European level makes it possible to ensure that national and local policies on this issue remain relatively stable.

2.1 Renewable energy in cities and towns

International Energy Agency in a specific chapter of the World Energy Outlook 2008 [8] analysed first the size and pattern of the energy consumption in the world's cities and towns and the projected developments through to 2030. Actually, this is the most detailed analysis of the city energy use and is updated to 2006.

According to IEA's World Energy Outlook 2008, in 2006, 67% of global energy (7900 Mtoe) was used in urban areas, and cities were responsible for 76% of energy related CO2 emissions. The average annual growth rate was predicted to be around 2% during the period 2006-2030. In the European Union, characterised by high levels of population density, urbanisation and energy use, 69% of global energy was used in urban areas, in front of an urbanisation rate of 73%. A higher share of grid-based fuels, such as gas, heat and electricity, was consumed in cities, compared with the EU average for all fuels, whereas a lower proportion of coal, biomass and oil was used.

The proportion of global energy consumed in cities is much higher than the share of the population living in cities. This is because city energy use is related to economic activities, as well as city population. A large proportion of industrial and commercial activities, which consume a large proportion of total energy, is located in the cities. Urban energy use is also higher than rural energy use, because per-capita energy use tends to be significantly higher in cities than in rural areas.

Cities consumed 82% of total annual natural gas use, 76% of nuclear, 76% of coal, 75% of hydro, 72% of the other RESs and 63% of oil (since a high proportion of transport is outside of cities). Conversely, only 24% of biomass was consumed in cities since this resource was mainly used for traditional cooking and heating in rural areas. Around 76% of total electricity generation was consumed by city dwellers. The share of natural gas and electricity consumed in cities was higher than the average of all fuels due to the more extensive infrastructure for energy distribution and higher appliance-ownership rates in developing cities relative to rural areas.

The spatial density of energy demand within city urban areas typically ranges between 10 and 100 W/m^2 of land area [9]. This parameter is influenced by population density and

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

verage income.

The spatial density of energy production resulting from the collection and end use of many renewable energies typically varies between:

- 0.5 and 1 W/m^2 for wind and biomass;
- 10 to 30 W/m^2 for solar.

No data are given for low temperature geothermal applications and in particular for the Ground Source Heat Pumps, the most promising technology [10]. By considering the average availability of soils and the typical productivities, we can estimate that the spatial density of energy production can be one order lower than that of solar energy.

It is evident that the high energy densities of some urban areas would require large areas of collection outside of the city boundary if renewable energy is to be used to increasingly supply the energy needs within the boundaries of the cities.

In this sense, in the near future one energy carrier that can help in providing city consumers with greater and differentiated energy access, in particular from Renewable Energy, is recognized in electricity. Also District Heating and Cooling can became a useful and easy way to introduce Renewable Energy in the cities.

However, even though energy densities of RESs are relatively low, the resources available within the cities boundaries [11,12], with other collectors located on nearby land, can usually be sufficient to make a significant contribution to the total energy demand.

2.2 Local authorities

In an energy strategy, in particular in a Renewable Energy strategy, the role played by the local authorities is of particular relevance, as evidenced also by the European Union in the "2020 Energy Strategy" [13]. The reasons are different and shortly discussed in the following. For further details see for instance [14, 15]

The Local authorities are responsible, in many EU countries, for the policy areas strictly linked to the Renewable Energy development, such as education and training, entrepreneurship, labour market, infrastructure or energy efficiency.

Local authorities can have an active role in spreading the use of energy generated by using RESs, by promoting local campaigns to inform citizens about the advantages, by demonstrating that renewable energy production can be both sustainable and economical.

Local authorities can also develop pilot projects to show the benefits of renewable energy, or to test new energy conversion technologies with a view to improving the green technology sector. The involvement of the local authorities in the Renewable Energy market can attract investors and spur private investments towards the green economy.

Local authorities can carefully assess their local energy demand and supply, in order to drive to the most advantageous RESs and conversion technologies. This is particularly relevant with RESs, because they are decentralized in nature and with an availability variable from place to place.

Local authorities can also have an important role in orienting the national vision on the local context and at the same time to bring the priorities of the Renewable Energy closer to the people, strengthening the feeling of ownership needed to get everyone involved, in moving towards the renewable energy targets.

There is a strong need of coordination, because the large diversity of activities proposed by different local authorities might point into uncoordinated directions, with a consequent difficulty in identifying national energy targets in the renewable energy field. This need of coordination is important at the trans-national level, in order to make that the experience gathered by a local authority could be used by other local authorities.

2.3 Activities to promote Renewable Energy

Due to the transnational composition of the Partners group in the Project "Cities on Power", the REJS cannot follow a "target setting" policy, because this is demanded to each Partner with his Local Action Plan. For this reason the base of this REJS is an organized list of suggestions and a clear discussion of the items that in the introductory analyses were recognized by the different Partners as the elements useful to increase the share of Renewable Energy use in the cities.

In general terms, the measures proposed in this REJS try to increase the internal market and remove the barriers to developing renewable energy in the sectors "Heating and cooling" and "Electricity production" by, for example, reducing the administrative burden, improving transparency and provision of information, and adjusting and increasing the number of pilot installations.

The Renewable Energy Joint Strategy, when translated into the Local Action Plans, will encourage an optimal use of the existing financial instruments, as well as other instruments focused on supporting research and disseminating technology. Local and regional authorities are at the right level to encourage the maximum use of the instruments available and to promote the development of Renewable Energy Sources, e.g. through administrative simplification and improved planning.

Moreover, alternative energy sources to fossil fuels will help guarantee security of energy supply in the European Union and on local level and reduce the energy bill resulting from increases in the price of fossil fuels. Furthermore, by developing the technologies for the renewable energy sector will create new business opportunities, particularly for exporting these technologies. It is also expected to have a positive impact on employment and gross domestic product growth.

After analyzing the above mentioned facts the Partners of the project "Cities on Power" agree that the relevant elements to be endorsed in a Local Action Plan should be summarized as the following points:

1) clear targets and appropriate legislation,
2) availability of mature technologies appropriate in the local context,
3) opening and support to the innovation,
4) R&D program to enhance capacity and competitiveness of industry and to assure the feasibility of the targets,
5) competitive markets to control the price trends and active presence of the local administration on the market to prevent economic distortions and inefficient energy consumption,
6) market enhancement and infrastructure development,
7) appropriate financial instruments to support the RES utilization and production,
8) subsidy programs, because both the technologies and the markets are not mature and competitive, respectively,
9) removal of the non-technical institutional barriers to the wide spread utilization of RE,
10) information and dissemination for a higher level of awareness,
11) opportunities for the population to participate in erection of RE plants.

The REJS addresses specifically policy makers who devel-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p actions for renewable energy politics. Because the "Cities on Power" partner countries are very different, not all recommendations will be suitable or even necessary for all countries. Thus, policy makers choose the suggestions that are appropriate and helpful for their country's specific conditions and needs, and design local action plans that are most favourable for a competitive, sustainable and secure energy supply based on Renewable Energies.

3. RENEWABLE ENERGY JOINT STRATEGY

The main purpose of this REJS is to examine the conditions for a further development of renewable energy utilization. This Strategy covers the three fundamentals of EC energy policy (sustainability, security of supply and competitiveness) and is consistent with the long-term EU decarbonisation scenarios, which all point to a substantially increased share of RESs. There is the need to ensure a cost-effective development of the renewable energy potential, as well as to ensure that their further expansion could occur in line with the requirements for system stability and consistently with other EU policies, notably climate mitigation, internal market, international cooperation and technology development and protection of the environment, including biodiversity.

The REJS is detailed through the following issues:

1. General policy approach
2. Financial support
3. Administrative procedures
4. RESs in distributed power production and Smart Grids
5. RESs in Heating and Cooling and electricity
6. Sustainability
7. Regional and international dimensions
8. Technology development
9. Participation

3.1 General policy approach

As the general policy approach to be adopted, the following points are individuated to promote RESs:

- locally dedicated targets for RESs, mandatory if possible and based on the national regulatory framework;
- enhanced focus on R&D, particularly to improve the quality and competitiveness of RESs within Europe;
- enhanced policies of facilitation, such as faster and easier procedures to get permits, fine-tuned and in addition to the national policies envisaged;
- public procurement obligations.

Furthermore, it is necessary to promote the following activities :

- widespread campaigns for energy auditing of public buildings,
- definition of high standards for energy efficiency and use of renewable energies for all public buildings,
- elaboration of pre-investment plans to be implemented in public projects on the basis of the locally available resources and with a priority in terms of cost-benefit analysis.

3.2 Financial support

The cost of RESs has been falling steadily for the last years, but remains higher than that of conventional energy sources. This is mainly due since the external costs of fossil fuels have not been internalized and thus, in terms of costs related to the environment, heath and wastes, they weigh heavily on the general community. This makes the RESs competitive against the conventional ones [16].

For the Partners of the Project "Cities on Power", energy subsidies to the utilisation of RESs in "Heating and cooling" and "Electricity production", in accordance to the Energy Roadmap 2050 [17], continues "to be necessary beyond 2020 to ensure that the market encourages the development and deployment of new technologies and will need to be phased out as technologies and supply chains mature and market failures are resolved".

It is evident that the financial support is easily possible at the national level; however, the local level plays an important role. The Partners of the Project "Cities on Power" find necessary to guarantee as an essential point of the REJS and Local Action Plans the widespread diffusion of the information about the available schemes of financial support, the search for local resources useful to the start-up of the RESs programs, the collection and coordination of the stakeholder interested but unable, for economical reasons or for lack of structure, to participate.

3.3 Administrative procedures

The non-cost obstacles for a deep penetration of RESs are identified, at least for some types of intervention and in some territorial areas, in the length and complexity of administrative procedures relating to authorization, certification and licensing. Lack of commonly agreed technical specifications and lack of reliable and certified training and qualification are the other biggest obstacles seen in this category. For example, for the stakeholder involved in Renewable Energy production/utilization, the absence of clear deadlines in the authorization procedures, leading to excessive time, is stressed as a key problem.

The Partners of the Project "Cities on Power" find necessary to be called for more direct intervention into these procedures, even for harmonisation or mutual recognition in this field.

3.4 RESs in distributed power production and Smart Grids

In the distributed power generation, electricity is generated close to the point of consumption. This decreases the need for large electricity systems and opens wide opportunities for improvements in energy efficiency, energy usage and increased use of RESs. The Partners of the Project "Cities on Power" find necessary to promote these solutions, because they are fully compatible with the urban context.

The power production from RESs will be encouraged in those areas where intelligent energy distribution systems (smart grids) will be installed.

3.5 RESs in Heating and Cooling and electricity

Among the most promising pathways for the utilization of RESs in "Heating and cooling", the Partners of the Project "Cities on Power" find necessary to concentrate the activities on those technologies close to the market, like solar thermal, biomass and heat pumps. Ground source heat pumps, heating and cooling storage will be taken into account even if they need further R&D.

3.6 Sustainability

The Partners of the Project "Cities on Power" find neces-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sary to apply sustainability criteria to the development of the Local Action Plans. In particular, new specific criteria will be applied to the use of biomass to ensure that only the best performing biomass (in terms of processing and treatments, renewability and environmental impact), will be promoted and the environmental impact of their use kept to a minimum. This to make sure that in the sustainability criteria will be reflected the increased competition for the limited resource "biomass" and new aspects of land-use change.

3.7 Regional and international dimensions

RESs are characterized by a strong local nature (availability of sunlight, biomass, wind, geothermal resources, etc.). Therefore a stronger effort to involve RESs in a "local" energy planning is important, in order to favour the penetration of RESs utilization.

Next to this, an enhanced visibility for the different experiences grown in other countries can be useful to a faster development and promotion of RESs.

The Partners of the Project "Cities on Power" find necessary to base their strategy by planning with a major attention to local aspects and at the same time by opening their activity to national and international cooperation.

3.8 Technology development

The key challenges for the technologies in the area of RESs are identified in: performance, cost-competitiveness, issues linked to system integration of new technologies and industrial manufacturing, supply chain issues. The existing industrial initiatives need to move toward small-scale and local applications. Most of these topics can be managed easily at the national level. However, at the local level it could be easier to facilitate the step from basic research to applied research and to the spread of innovation and marketing. At the local level it will be easier to satisfy the need for more training and education programs linked to Renewable Energy technologies and an improvement in communication efforts to disseminate the results.

The Partners of the Project "Cities on Power" find necessary to sustain at the local level the technology development in order to promote the utilization of Renewable Energy Sources.

3.9 Participation

The participation of all stakeholders in the energy turnaround is very important for a successful implementation and also a common principle of the European Union [18]. On the one hand the public wants to play a role in decision-making and wants to be a part of the development. On the other hand the public administration is not able to overcome the major problems alone. They need resources and the commitment of local stakeholders to achieve their self appointed objectives. Therefore it is important to involve local stakeholders also in the development of climate and energy issues. It leads to more awareness and acceptance and support the decision making of investments in renewable energies. Furthermore, people get the chance to invest in renewable energy plants or infrastructure together. Cities should implement and support participation instruments in local concepts.

The Project "Cities on Power" has developed a transnational participatory concept which describes in which manner stakeholders can be involved in renewable energy utilization in urban development, under the consideration of different instruments. This concept is an offer to all European municipalities and shows, how a participatory concept could be set up and elaborated in their cities.

One aspect that must be covered in all Local Action Plans, related to the request of information and active participation of the population in the spread of renewable energies, is an effective communications and listening strategy, where the media, internet and the most popular social networks will play a fundamental role and are essential in shaping public opinion, to effectively support the strategy for energy efficiency and the spread of renewable energies.

4. EMERGING LESSONS

The results of the Project "Cities on Power" are showing some emerging lessons, useful in the definition of future actions for the development of the renewable energy market.

1. Promoting RESs can become a natural continuation of the sustainability policies already started (typically the Local Agenda 21 programs), that already produced an increase in understanding and awareness in energy utilization. It is useful to look for a continuity with the existing programs by moving now the focus from energy efficiency to renewable energy.
2. The pilot actions of the local authorities can have a strong positive promotion effect; then other local authorities can follow. These "model cities" can become significant for a city-to-city transfer of information and motivation.
3. European and national energy policies can create the enabling conditions for a further development of RESs. Such conditions could be national or state targets for renewable energy, incentive programs, funds for demonstrations, electric utility policies like feed-in tariffs, competitions and awards, or funding for urban development that explicitly incorporates renewable energy. However, it is at the local level that effects and results of these enabling conditions can be verified and measured and therefore it is important to stress the role played by the local authorities.
4. Information and demonstration centres for renewable energy and energy efficiency are useful to provide training and expertise, and to bring together a critical mass of experts, small businesses, and stakeholders to move local innovation.
5. Participation of the whole set of stakeholders (final users, policy makers and investors) to the definition of the action plans is a key for successful results in terms of increased share of renewable energy in the cities.

ACKNOWLEDGEMETS

Work funded by Provincia di Ravenna in the frame of the Cites on Power Project.

Authors thank all the Colleagues of the CoP Project (City of Warsaw – Lead Partner; Energy Conservation Foundation Warsaw; Municipal authority of the provincial capital Klagenfurt am Wörthersee; Ecopower Stock Exchange Salzburg; Research Studios Austria Salzburg; Local Agenda 21 for Dresden; Province of Torino; Environment Park S.p.A; Province of Ravenna). Special thanks to Alberto Rebucci.

REFERENCES

[1] S. Piva and G. Casano. (2014, Nov.). Renewable Energy Joint Strategy. [Online]. Available: http://www.citieson power.eu/upload/File/3.3.3 Re-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

newableEnergyJointStrategy.pdf
[2] "EUROPE 2020 A strategy for smart, sustainable and inclusive growth", COM(2010) 2020 final, Communication from the Commission, Brussels, 03.03.2010
[3] "Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC", *Official Journal of the European Union*, Vol. 52, 5 June 2009, pp. 16-62
[4] *30 Energy Cities' proposals for the energy transition of cities and towns*, Energy Cities, 2014. [Online]. Available: http://www.energycities.eu/IMG/pdf/cahier_short_jan2014_en.pdf
[5] J. O. Lewis, S. Ní Hógáin and A. Borghi. "Cities of Tomorrow – Action Today. URBACT II Capitalisation. Building energy efficiency in European cities", URBACT, May 2013. [Online]. Available: http://urbact.eu/sites/dfault/files/import/general_library/19765_Urbact_WS6_ENERGY_low_FINAL.pdf
[6] *Global Status Report on Local Renewable Energy Policies - A Collaborative Report by: REN21, ISEP, ICLEI – Local Governments for Sustainability*, 2011. [Online]. Available: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/REN21_Local_Renewables_Policies_2011.pdf
[7] "Renewable Energy: Progressing towards the 2020 target", COM(2011) 31 final, Communication from the Commission to the European Parliament and the Council, Brussels, 31.1.2011
[8] "Energy Use In Cities" in *World Energy Outlook 2008*, International Energy Agency (IEA), OECD/IEA, 2008, ch. 8. [Online]. Available: http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebsite/2008-1994/weo2008.pdf
[9] *Cities, towns & Renewable Energy - Yes In My Front Yard*, International Energy Agency (IEA), OECD/IEA, 2009. [Online]. Available: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/cities2009.pdf
[10] S. Lo Russo, C. Boffa, M. V. Civita. (2009). L enthalpy geothermal energy: An opportunity to me increasing energy needs and reduce CO2 and atmospheric pollutant emissions in Piemonte, Italy. *Geothermics*, vol. 38, no. 2, pp. 254–262. DOI: 10.1016/j.geothermics.2008.07. 005.
[11] SDH Solar District Heating, "Ranking List of European Large Scale Solar Heating Plants". [Online]. Available: http://www.solar-district-heating.eu/ServicesTools/Plant database.aspx
[12] C. Delmastro, G.a Mutani, L. Schranz and G. Vicentini G., "The role of urban form and socio-economic variables for estimating the building energy savings potential at the urban scale," *Int. J. Heat & Technology*, vol. 33, pp. 91–100. DOI: 10.18280/ijht.330412.
[13] European Commission, "Europe 2020 Who does what: Regional and local authorities". [Online]. Available: http://ec.europa.eu/europe2020/who-does-what/ regional-and-local-authorities/index_en.htm
[14] G. Comodi, L. Cioccolanti, F. Polonara and C. Brandoni., "Local authorities in the context of energy and climate policy," *Energy Policy 51*, pp. 737–748, 2012. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.09.019.
[15] C. Brandoni, F. Polonara. (2012). "The role of municipal energy planning in the regional energy-planning process," *Energy*, vol. 48, pp. 323–338. DOI: 10.1016/j.energy.2012.06.061.
[16] "Renewable energy road map renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future" COM(2006) 848 final, Communication from the Commission to the European Parliament and the Council, Brussels, 10.01.2007.
[17] European Commission, "Energy Roadmap 2050" COM(2011) 885 final, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 15.12.2011
[18] "The European Consensus on Development" (2006/C 46/01) *Official Journal of the European Union*, pp. C46/1-19, 24.02.2006.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Alokasi Optimal DG Sumber Energi Terbarukan Menggunakan Algoritme *Multi-Verse Optimizer*

(*Optimal Allocation of DG Renewable Energy Sources Using Multi-Verse Optimizer Algorithm*)

Firdaus[1,2], Ontoseno Penangsang[1], Rony Seto Wibowo[1], Umar[1]

***Abstract*—In the current situation, minimizing power loss in both distribution and transmission networks is one of the research challenges. High power loss occurs when the load connected to the distribution network is distant from the power plant. The optimal allocation for Distributed Generation (DG) renewable energy sources is one way to minimize power loss and to improve the voltage profile distribution system. Inaccurate placement causes increased power losses, lowers the voltage profile, and can adversely affect system performance. The Multi-Verse Optimizer (MVO) method is used to place DG renewable energy sources in the right location. The simulation results on the IEEE 33 Bus system show that the use of the MVO algorithm method for the addition of two renewable energy DGs obtained locations on buses 18 and 33 with the type DG PV. However, the addition of two DGs is carried out by considering the intermittency, then the optimal DG location is obtained by the two DGs being on bus 18 with the DG WT type. The optimal allocation of DG is able to minimize the active power loss of 11.8 kV and reactive power of 8.2 kVAr and raise the voltage profile above 0.95 pu on the bus undervoltage.**

***Intisari*—Dalam situasi saat ini, meminimalkan kehilangan daya pada jaringan distribusi maupun transmisi merupakan salah satu tantangan penelitian. Kehilangan daya yang tinggi terjadi ketika beban yang terhubung pada jaringan distribusi jauh dari pembangkit listrik. Alokasi yang optimal untuk *Distributed Generation* (DG) sumber energi terbarukan adalah salah satu cara untuk meminimalkan kehilangan daya dan memperbaiki profil tegangan sistem distribusi. Penempatan yang tidak akurat menyebabkan peningkatan kehilangan daya, menurunkan profil tegangan, dan dapat memengaruhi kinerja sistem. Metode *Multi-Verse Optimizer* (MVO) digunakan untuk menempatkan DG sumber energi terbarukan di lokasi yang tepat. Hasil simulasi pada sistem 33 *bus* IEEE menunjukkan bahwa dengan penggunaan metode algoritme MVO untuk penambahan dua buah DG energi terbarukan diperoleh lokasi pada *bus* 18 dan 33 dengan tipe DG PV. Namun, apabila penambahan dua buah DG dilakukan dengan mempertimbangkan sifat intermiten, lokasi DG yang optimal dengan diperoleh kedua DG berada pada *bus* 18 dengan tipe DG *Wind Turbine*. Alokasi DG sumber energi terbarukan yang optimal mampu meminimalkan rugi daya aktif 11,8 kV dan daya reaktif 8,2 kVAr serta menaikkan profil tegangan di atas 0,95 pu pada *bus undervoltage*.**

***Kata Kunci*—*Multi-Verse Optimizer*, DG Sumber Energi Terbarukan.**

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik bertujuan untuk menyalurkan daya di setiap lokasi jaringan sistem tenaga secara ekonomis dan andal. Pembangkit energi listrik menggunakan sumber energi seperti batu bara, hidro, dan nuklir. Pembangkit energi listrik berskala besar dan terpusat menyalurkan energi listrik secara luas ke berbagai jenis konsumen yang terhubung melalui jaringan transmisi dan distribusi yang sangat panjang. Hal ini menyebabkan rugi-rugi daya meningkat dan profil tegangan menurun. Kemudian, muncul sumber energi terbarukan sebagai salah satu solusi untuk menyelesaikan sebagian besar dari tantangan yang akan datang. Sumber energi terbarukan dapat dijadikan sebagai pembangkitan dengan jangkauan kecil atau pembangkitan terdesentralisasi yang tidak direncanakan secara terpusat. Sumber energi terbarukan digunakan di dekat sisi beban. Sumber energi terbarukan menggunakan sumber energi seperti sistem *photovoltaic* (PV) surya, sistem pembangkit tenaga angin, *fuel cell*, turbin hidro kecil, dan DG berbasis biomassa.

Banyak manfaat yang dapat diambil dengan integrasi DG sumber energi terbarukan ke dalam jaringan distribusi, khususnya dalam hal kualitas daya dan pertimbangan ekonomi. DG sumber energi terbarukan mengalami masalah ketidak-pastian yang serius dibandingkan dengan sumber daya berbasis bahan bakar fosil karena sumber-sumber ini dipengaruhi oleh variasi sistem tenaga dan kondisi cuaca. Diketahui bahwa daya keluaran PV umumnya bervariasi oleh iradiasi [1]–[4], sedangkan daya keluaran turbin angin bervariasi berdasarkan kecepatan angin [5]–[8]. Ketidakpastian dalam DG sumber energi terbarukan menyebabkan beberapa masalah keandalan dalam sistem tenaga [9]. Selain itu, beban juga berubah setiap jam dan setiap hari sesuai dengan variasi aktivitas konsumen. Oleh karena itu, ketidakpastian dalam sistem tenaga harus menjadi pertimbangan dalam perencanaan sistem tenaga dengan penetrasi DG sumber energi terbarukan. Beberapa penelitian telah membahas alokasi optimal DG [10]–[16]. Misalnya, alokasi DG menggunakan algoritme JAYA yang dibandingkan dengan varian *Particle Swarm Optimization* (PSO), antara lain RPSO, LPSO, dan PSO-SR [15]. Dilihat dari karakteristik konvergensi, algoritme JAYA konvergen lebih cepat daripada algoritme lainnya. Algoritme JAYA konvergen

[1] *Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111 Indonesia (Fax: (031) 5931237; e-mail: dauselektrounm@gmail.com)*

[2] *Departemen Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Makassar, Kampus UNM Parangtambung, Makassar 90223 Indonesia (Fax (0411) 861377; e-mail: dauselektro@unm.ac.id)*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pada detik 115,02, RPSO pada detik 124,36, LPSO pada detik 124,33 dan PSO-SR pada detik 115,78. Ukuran optimal DG adalah 1.300,3 kW dan lokasi optimal pada *bus* 19 untuk sistem 33 *bus* IEEE.

Pada makalah ini, dibahas alokasi optimal DG sumber energi terbarukan. Sumber energi DG sumber energi terbarukan yang digunakan adalah sistem PV surya dan sistem pembangkit tenaga angin. Makalah ini menggunakan *Genetic Algorithms* (GA) untuk menentukan alokasi optimal DG sumber energi terbarukan [17]. Pada makalah ini, fungsi tujuan adalah alokasi optimal dan tipe DG sumber energi terbarukan untuk memperoleh rugi daya minimal dan menaikkan profil tegangan dengan mempertimbangkan sifat intermiten energi terbarukan menggunakan algoritme *Multi-Verse Optimizer* (MVO).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk melihat perbandingan minimisasi deviasi tegangan menggunakan algoritme MVO. Hasilnya adalah dengan menggunakan MVO, deviasi tegangan yang diperoleh sebesar 0,1056, menggunakan *Flower Pollination Algorithm* diperoleh deviasi tegangan 0,1845, dan menggunakan PSO diperoleh deviasi tegangan sebesar 0,1506. Keunggulan MVO adalah kinerja yang bagus dalam hal optimasi dan konvergensi yang cepat [18].

II. ALGORITME MVO

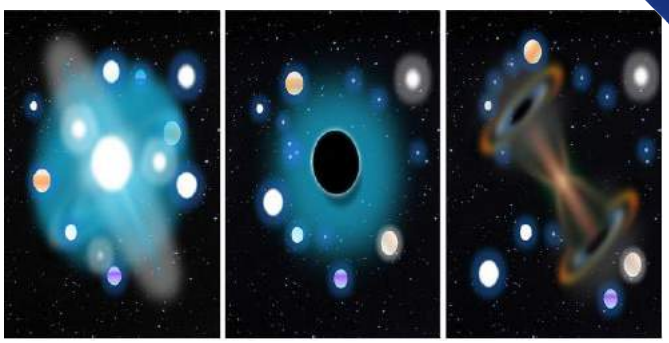
MVO pertama kali digunakan oleh Syedali Mirjalili pada tahun 2015. MVO didasarkan pada teori *multi-verse* dan teori *big bang*. Teori *big bang* membahas bahwa alam semesta dimulai dengan ledakan besar. Diyakini dalam teori ini bahwa ada lebih dari satu *big bang* dan setiap ledakan besar menyebabkan lahirnya alam semesta. Istilah *multi-verse* berdiri berlawanan dengan alam semesta, yang mengacu pada keberadaan alam semesta lain selain alam semesta tempat tinggal manusia [19].

Proses pencarian dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap eksplorasi dan eksploitasi [19]. MVO terdiri atas tiga konsep utama yaitu:

1. lubang putih (*white hole*),
2. lubang hitam (*black hole*), dan
3. lubang terowongan (*worm hole*).

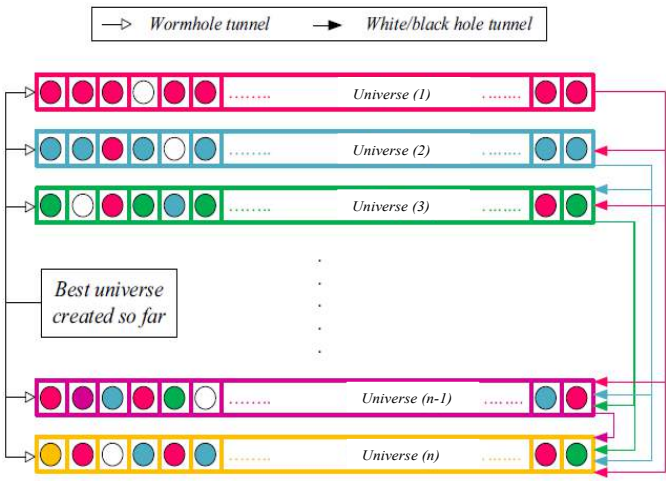
Lubang putih belum terlihat di alam semesta. Menurut ahli fisika, *big bang* dianggap sebagai lubang putih, yang mungkin menjadi sumber utama alam semesta. Sementara itu, lubang hitam terlihat di alam semesta. Lubang hitam menarik benda-benda alam semesta ke dalamnya. *Worm hole* adalah terowongan antara dua alam semesta. Benda-benda berjalan di antara alam semesta melalui terowongan ini. Setiap alam semesta mengandung tingkat *inflasi*. Dengan tingkat *inflasi*, nilai *fitness* dihitung. Model konseptual ini merupakan tiga komponen kunci dari teori *multi-verse*, seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 1.

Algoritme berbasis populasi membagi proses pencarian menjadi dua fase, yaitu eksplorasi dan eksploitasi. Digunakan konsep lubang putih dan lubang hitam untuk mengeksplorasi ruang pencarian oleh MVO. Sebaliknya, lubang terowongan membantu MVO dalam mengeksploitasi ruang pencarian. Diasumsikan bahwa setiap solusi adalah analogi alam semesta dan setiap variabel adalah objek di alam semesta. Selain itu,



(a) (b) (c)

Gbr. 1 Gambar ilustrasi, (a) lubang putih, (b) lubang hitam, (c) terowongan.



Gbr. 2 Model konsep algoritme MVO ($I(U1) > I(U2) > \ldots > I(Un\text{-}1) > I(Un)$).

ditetapkan masing-masing solusi tingkat inflasi yang sesuai, yang sebanding dengan nilai fungsi *fitness* dari solusinya. Istilah *time instead* sebagai iterasi dalam tulisan juga memakai istilah umum dalam teori *multi-verse* dan kosmologi.

Dalam optimasi, aturan yang diterapkan alam semesta MVO adalah sebagai berikut.

1. Tingkat inflasi yang lebih tinggi, probabilitas yang lebih tinggi adalah yang dimiliki lubang putih.
2. Tingkat inflasi yang lebih tinggi, probabilitas yang lebih rendah adalah yang dimiliki lubang hitam.
3. Alam semesta dengan tingkat inflasi yang tinggi cenderung mengirim benda melalui lubang putih.
4. Alam semesta dengan tingkat inflasi yang rendah cenderung menerima lebih banyak objek melalui lubang hitam.
5. Objek di semua alam semesta mungkin menghadapi gerakan acak menuju alam semesta terbaik melalui lubang terowongan pada tingkat inflasi.

Model konseptual algoritme MVO ditunjukkan pada Gbr. 2. Model matematis lubang putih dan hitam serta terowongan pertukaran benda alam semesta menggunakan mekanisme roda rolet. Pada setiap iterasi, alam semesta diurutkan berdasarkan tingkat inflasi dan dipilih salah satu dari alam semesta dengan roda rolet yang memiliki lubang putih. Langkah-langkah yang dilakukan agar langkah ini bisa dimodelkan mengikuti (1).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

$$U = \begin{bmatrix} X_1^1 & \dots & X_1^d \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_n^1 & \dots & X_n^d \end{bmatrix} \quad (1)$$

dengan *d* adalah jumlah parameter (variabel) dan *n* adalah jumlah alam semesta (solusi kandidat).

$$X_i^j = \begin{cases} X_k^j & r1 < NI(Ui) \\ X_i^j & r1 \geq NI(Ui) \end{cases} \quad (2)$$

dengan X_i^j adalah indikasi parameter *j* dari alam semesta *i*, *Ui* menunjukkan alam semesta, *NI (Ui)* adalah tingkat inflasi yang dinormalisasi dari alam semesta, *r*1 adalah bilangan acak di [0, 1], dan X_k^j menunjukkan parameter *j* dari alam semesta *k* yang dipilih oleh mekanisme pemilihan roda rolet.

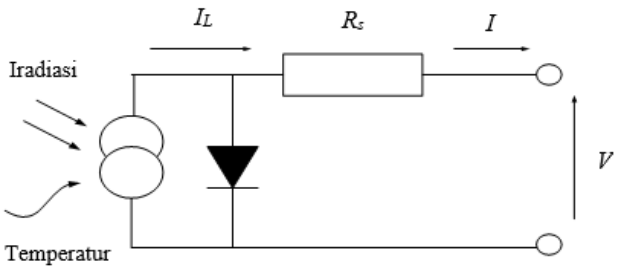
Seperti yang dapat dilihat pada (1), pemilihan dan penentuan lubang putih dilakukan oleh roda rolet, yang didasarkan pada tingkat inflasi yang dinormalisasi. Pada tingkat inflasi yang rendah, probabilitas yang lebih tinggi mengirim objek melalui terowongan lubang putih atau hitam. Dapat diperhatikan bahwa -*NI* harus diubah menjadi *NI* untuk memaksimalkan problem. Eksplorasi dapat dilakukan melalui mekanisme sejak alam semesta diminta untuk bertukar objek dan menghadapi perubahan mendadak untuk menjelajahi ruang pencarian.

Dengan mekanisme di atas, alam semesta terus bertukar objek tanpa gangguan. Untuk menjaga keragaman alam semesta dan melakukan eksploitasi, dipertimbangkan bahwa setiap alam semesta memiliki lubang terowongan untuk mengangkut objek melalui ruang secara acak. Gbr. 2 menunjukkan bahwa titik putih mewakili objek yang ditransfer melalui lubang terowongan. Dapat diamati bahwa lubang terowongan secara acak mengubah objek alam semesta tanpa mempertimbangankan tingkat inflasi. Untuk memberikan perubahan lokal untuk masing-masing alam semesta yang memiliki probabilitas tinggi pada peningkatan tingkat inflasi menggunakan lubang terowongan, diasumsikan bahwa lubang terowongan itu selalu terbentuk antara alam semesta dan alam semesta terbaik. Perumusan mekanisme tersebut adalah sebagai berikut.

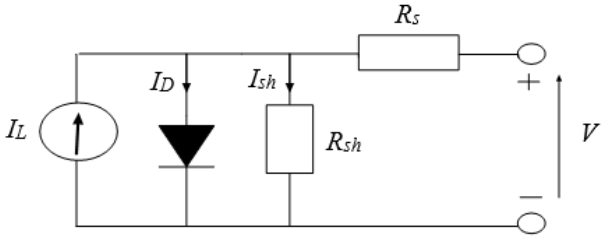
$$X_i^j = \begin{cases} X_j + TDR \times \left((ub_j - lb_j) \times r4 + lb_j \right) r3 < 0{,}5 & r2 < WEP \\ X_j - TDR \times \left((ub_j - lb_j) \times r4 + lb_j \right) r3 < 0{,}5 & r2 < WEP \\ X_i^j & r2 \geq WEP \end{cases} \quad (3)$$

dengan X_j adalah parameter *j* dari alam semesta terbaik, *TDR* adalah koefisien, *WEP* adalah koefisien lain, lb_j menunjukkan batas bawah variabel *j*, ub_j adalah batas atas variabel *j*, X_i^j menunjukkan parameter *j* dari alam semesta, sedangkan *r2*, *r3*, dan *r4* adalah bilangan acak pada [0, 1].

Dari formulasi matematis terlihat bahwa ada dua koefisien utama, yaitu *Wormhole Existence Probability* (WEP) dan *Travelling Distance Rate* (TDR). Koefisien WEP digunakan untuk menentukan kemungkinan keberadaan *wormhole* di alam semesta. Hal ini diperlukan untuk meningkatkan linearitas selama iterasi agar menekankan eksploitasi sebagai kemajuan proses optimasi. TDR juga merupakan faktor yang menentukan variasi jarak suatu objek yang dapat diteleportasi oleh *wormhole* di sekitar alam semesta terbaik. Berbeda dengan WEP, TDR meningkat selama iterasi melakukan eksploitasi lokal yang lebih tepat di sekitar alam semesta terbaik.



Gbr. 3 Rangkaian sederhana PV [20].



Gbr. 4 Rangkaian kompleks PV [21].

III. Pemodelan Sumber Energi Terbarukan

Sumber energi terbarukan yang digunakan adalah model PV dan model turbin angin (*Wind Turbine*, WT).

A. Model Photovoltaic (PV)

PV dimodelkan secara sederhana sebagai sebuah rangkaian yang terdiri atas sumber arus yang terpasang paralel dengan sebuah diode seperti pada Gbr. 3 [20]. Besar arus keluaran suatu PV bergantung pada besar iradiasi sinar matahari yang diterima oleh sel PV dengan karakteristik I-V dari PV ditentukan oleh karakteristik diode.

Berdasarkan perkembangannya, model PV tidak sesederhana seperti pada Gbr. 3, tetapi dalam prakteknya ada beberapa parameter yang ditambahkan sehingga model PV menjadi kompleks seperti pada Gbr. 4 [21]. Parameter-parameter yang ditambahkan tersebut yaitu [21]:

1. arus saturasi diode (I_D) bergantung pada suhu;
2. arus foto (I_L) yang juga bergantung pada suhu;
3. hambatan paralel (R_{sh}) terpasang paralel dengan diode; dan
4. hambatan seri (Rs) yang memberikan bentuk yang jelas antara *maximum power point* dengan tegangan rangkaian terbuka.

Pada Gbr. 4 terdapat perubahan pada rangkaian ekuivalen PV. Persamaan dasar suatu PV adalah sebagai berikut:

$$I = I_L - I_D \left[e^{q\left(\frac{V + IR_s}{nKT}\right)} - 1 \right] - \left(\frac{V + IR_s}{R_{sh}} \right) \quad (4)$$

dengan:

I = arus keluaran PV (A)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

I_L = arus yang terbangkit dari PV (A)
I_D = arus saturasi pada diode
q = muatan elektron = 1,6 × 10^{-19} (C)
K = konstanta Boltzman = 1,38 × 10^{-23} (J/K)
T = temperatur sel (K)
R_s = resistansi seri PV (Ω)
R_{sh} = resistansi paralel PV (Ω)
V = tegangan keluaran PV (V)
n = faktor kualitas diode yang mempunyai nilai antara 1 dan 5.

Iradiasi matahari untuk jam yang sama pada hari biasa di setiap musim biasanya memiliki fungsi distribusi *bimodal*. Data dibagi menjadi dua kelompok, dengan masing-masing kelompok memiliki fungsi distribusi *unimodal*. Oleh karena itu, untuk menggambarkan fenomena acak dari data iradiasi, PDF beta digunakan untuk masing-masing *unimodal*, seperti yang dijelaskan di bawah ini [22]–[24].

$$f_b(\mathcal{Y}) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} * \mathcal{Y}^{(\alpha-1)} \\ * (1-\mathcal{Y})^{(\beta-1)}, \\ 0, \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{untuk } 0 \le \mathcal{Y} \le 1, \alpha \ge 0, \beta \ge 0$$

dengan
$\mathcal{Y}$ = iradiasi matahari (kW/m^2)
$f_b(\mathcal{Y})$ = fungsi distribusi beta $\mathcal{Y}$
α, β = parameter pada fungsi distribusi beta.

Untuk menghitung parameter fungsi distribusi beta, *mean* (μ) dan standar deviasi (μ) dari variabel acak ($\mathcal{Y}$) digunakan sebagai berikut.

$$\beta = (1-\mu) * \left(\frac{\mu*(1+\mu)}{\sigma^2} - 1\right) \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{\mu*\beta}{1-\mu}. \quad (7)$$

Daya keluaran modul PV bergantung pada iradiasi matahari dan suhu di sekitar lokasi serta karakteristik modul itu sendiri. Oleh karena itu, PDF beta dihasilkan untuk segmen waktu tertentu dan daya keluaran bagian berbeda dihitung untuk segmen berikut.

$$Tc_z = T_A + \mathcal{Y}_{az}\left(\frac{N_{OT}-20}{0{,}8}\right) \quad (8)$$

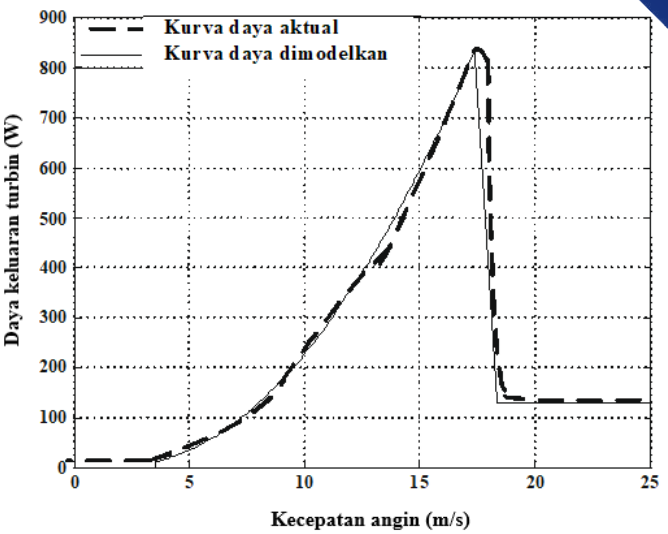
$$I_Z = \mathcal{Y}_{az}[I_{sc} + K_i(Tc - 25)] \quad (9)$$

$$V_z = V_{ac} - K_v * Tc_y \quad (10)$$

$$P_{yz}(\mathcal{Y}_{az}) = N * FF * V_z * I_z \quad (11)$$

$$FF = \frac{V_{MPP}*I_{MPP}}{V_{ac}*I_{sc}} \quad (12)$$

dengan
Tc_z = suhu sel *z* dalam (^{0}C)
Tc_y = suhu sel *y* dalam (^{0}C)
T_A = suhu sekeliling (*ambient*) (^{0}C)
K_V = koefisien suhu tegangan (V/^{0}C)



Gbr. 5 Kurva daya aktual dan modelnya [25].

K_i = koefisien suhu arus (A/^{0}C)
N_{OT} = suhu operasi nominal sel (^{0}C)
FF = faktor pengisian sel.

B. *Model Turbin Angin*

Dalam makalah ini, pembangkit tenaga angin dianggap sebagai sumber terbarukan tenaga listrik. Metode pemodelan pembangkit tenaga angin dilakukan dengan memperhatikan kecepatan angin.

Fungsi distribusi probabilitas untuk kecepatan angin diekstraksi dari data historis yang diperoleh dari stasiun meteorologi, yaitu secara detail mengadaptasi fungsi distribusi yang diketahui dari kecepatan angin. Fungsi distribusi yang disesuaikan dieksploitasi dalam meramalkan kecepatan angin di masa depan serta dalam perhitungan berikutnya. Fungsi yang berhubungan dengan keluaran daya rata-rata turbin angin dan nilai kecepatan angin dapat ditentukan sesuai dengan karakteristik turbin.

Kurva daya harus diperoleh untuk memodelkan kinerja turbin angin. Kurva daya ditunjukkan pada Gbr. 5. Dari model kurva daya tersebut, daya keluaran turbin angin dapat diperoleh (13).

$$P_t = \begin{cases} 0 & 0 \le x_t \le v_{ci} \\ P_r * \frac{(x_t - v_{ci})}{(v_r - v_{ci})} & v_{ci} \le x_t \le v_r \\ P_r & v_r \le x_t \le v_{co} \\ 0 & x_t \ge v_{co} \end{cases} \quad (13)$$

dengan
P_t = daya keluaran turbin angin (W)
P_r = *rating* daya (W)
v_{ci} = kecepatan *cut in* turbin angin (m/s)
v_r = *rating* kecepatan angin (m/s)
v_{co} = kecepatan *cut out* turbin angin (m/s)
x_t = kecepatan angin aktual (m/s).

Data peramalan iradiasi matahari dan kecepatan angin yang digunakan berdasarkan penelitian sebelumnya disajikan pada Tabel I [26].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

TABEL I
PERKIRAAN IRADIASI MATAHARI DAN KECEPATAN ANGIN

Waktu (Jam)	Iradiasi Matahari (W/m^2)	Kecepatan Angin (m/s)	Waktu (Jam)	Iradiasi Matahari (W/m^2)	Kecepatan Angin (m/s)
1	0	8,4	13	558	1,4
2	0	9,9	14	397	0,1
3	0	10,1	15	598	1,8
4	0	9,7	16	404	1,3
5	1	8,9	17	215	2,2
6	58	9,6	18	63	3,8
7	141	10	19	0	3,7
8	195	8,5	20	0	2,0
9	363	5,0	21	0	0,6
10	349	3,5	22	0	0,4
11	388	3,6	23	0	4,0
12	558	1,5	24	0	3,2

IV. FORMULA OPTIMASI

Formula yang tepat dibutuhkan untuk menentukan optimasi DG sumber energi terbarukan. Optimasi dilakukan untuk memperoleh lokasi dan tipe DG sumber energi terbarukan sehingga didapatkan nilai rugi daya minimal dan meningkatkan profil tegangan. Simulasi dilakukan pada sistem 33 *bus* IEEE. Langkah langkah alokasi optimal DG ditunjukkan melalui diagram alir pada Gbr. 6.

A. Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya pada sistem *microgrid* ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_{loss} = \sum P_i - P_{load} \quad (13)$$

$$P_{loss} = \sum_{k=1}^{N_i} g_k \left[\left(t_k V_i^2 \right) + V_j^2 - 2 t_k V_i V_j \cos(\theta_1 - \theta_2) \right] \quad (14)$$

dengan P_{loss} adalah rugi-rugi daya total, P_i adalah daya pembangkitan, P_{load} adalah daya beban, V_i adalah tegangan pada *bus i*, V_j adalah tegangan pada *bus j*, N_i jumlah cabang, g_k adalah konduktansi pada *branch k*, θ_i adalah sudut tegangan pada *bus i*, dan θ_j adalah sudut tegangan pada *bus j*.

B. Profil Tegangan

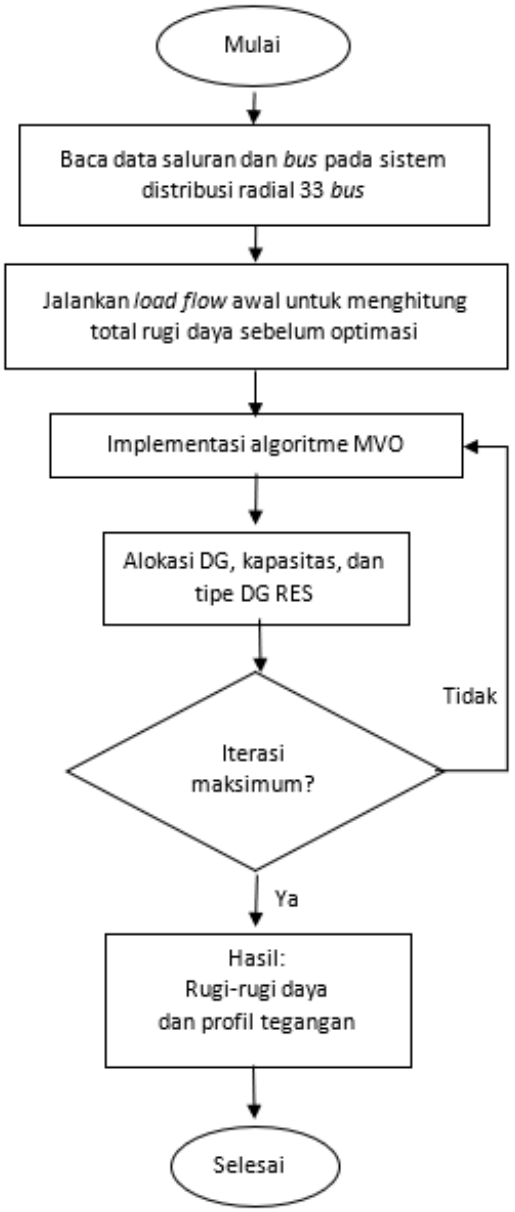
Penempatan DG ke dalam sistem tenaga dimaksudkan untuk memperbaiki profil tegangan pada setiap *bus*. Tegangan pada setiap *bus* diharapkan mendekati atau sama dengan 1 pu. Profil tegangan dituliskan sebagai berikut:

$$V_P = \left| V_{ref} - V \right| \quad (15)$$

dengan V_P adalah profil tegangan, sedangkan *Vref* adalah tegangan referensi.

V. HASIL SIMULASI

Pada makalah ini, simulasi dilakukan dengan tiga skenario. Hasil simulasi terdiri atas: 1) hasil simulasi tanpa penambahan DG; 2) hasil simulasi dengan penambahan DG energi terbarukan; dan 3) hasil simulasi penambahan DG energi terbarukan dengan memperhatikan faktor sifat intermiten.



Gbr. 6 Diagram alir alokasi optimal DG menggunakan MVO.

A. Hasil Simulasi tanpa DG

Berdasarkan hasil simulasi aliran daya yang dilakukan terkait kondisi awal atau sebelum menambahkan DG sumber energi terbarukan, diperoleh total rugi daya nyata pada saluran sebesar 202,2 kW dan total rugi daya reaktif sebesar 134,8 kVAr. Dari data simulasi sebelum penambahan DG sumber energi terbarukan yang ditunjukkan pada Tabel II, dapat diketahui bahwa tegangan pada *bus* tidak semuanya normal. Tegangan di *bus* 6 sampai *bus* 18 dan pada *bus* 26 sampai *bus* 33 mengalami *undervoltage*, yaitu tegangan di bawah 0,95 pu.

Gbr. 7 menunjukkan grafik profil tegangan pada setiap *bus* pada simulasi tanpa penambahan DG sumber energi terbarukan (DG RES). Pada gambar tersebut terlihat bahwa tegangan terendah terdapat pada *bus* 18, yaitu sebesar 0,9133 pu, dan tegangan tertinggi pada *bus* sumber, yaitu *bus* 1, sebesar 1 pu.

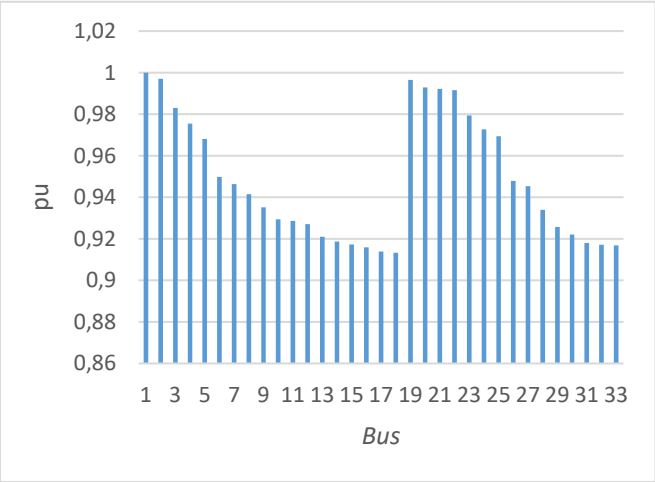
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

TABEL II
TEGANGAN *BUS* SEBELUM PENAMBAHAN DG RES

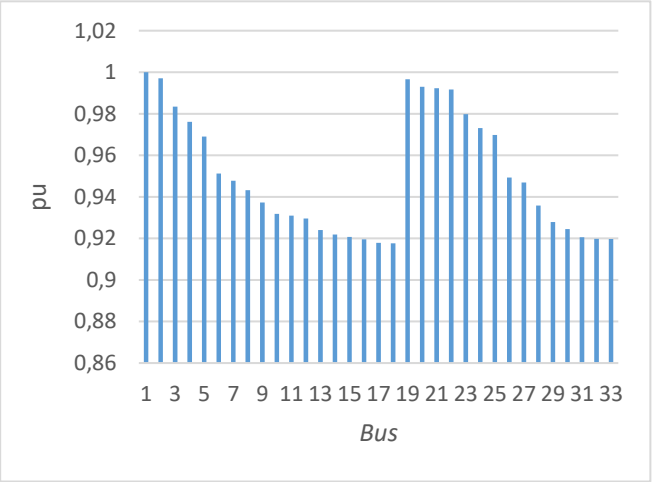
Bus	Tegangan (pu)	*Bus*	Tegangan (pu)	*Bus*	Tegangan (pu)
1	1,0000	12	0,9271	23	0,9794
2	0,9970	13	0,9210	24	0,9727
3	0,9830	14	0,9187	25	0,9694
4	0,9755	15	0,9173	26	0,9479
5	0,9681	16	0,9159	27	0,9453
6	0,9498	17	0,9139	28	0,9339
7	0,9463	18	0,9133	29	0,9257
8	0,9415	19	0,9965	30	0,9221
9	0,9352	20	0,9929	31	0,9180
10	0,9294	21	0,9922	32	0,9171
11	0,9286	22	0,9916	33	0,9168

TABEL III
TEGANGAN *BUS* SETELAH PENAMBAHAN DUA DG

Bus	Tegangan (pu)	*Bus*	Tegangan (pu)	*Bus*	Tegangan (pu)
1	1,0000	12	0,9296	23	0,9798
2	0,9971	13	0,9240	24	0,9731
3	0,9834	14	0,9219	25	0,9698
4	0,9761	15	0,9207	26	0,9493
5	0,9690	16	0,9196	27	0,9469
6	0,9512	17	0,9179	28	0,9358
7	0,9478	18	0,9176	29	0,9279
8	0,9432	19	0,9966	30	0,9245
9	0,9373	20	0,9930	31	0,9206
10	0,9318	21	0,9923	32	0,9198
11	0,9310	22	0,9917	33	0,9197



Gbr. 7 Profil tegangan sistem 33 *bus IEEE* sebelum penambahan DG RES.



Gbr. 8 Profil tegangan sistem 33 *bus IEEE* setelah penambahan DG RES.

B. Hasil Simulasi dengan Dua DG Sumber Energi Terbarukan

Pada skenario kedua, yaitu simulasi dengan penambahan dua DG sumber energi terbarukan, diperoleh lokasi optimal pada *bus* 18 dan *bus* 33, dengan DG tipe PV dan berkapasitas 80 kW. Berdasarkan simulasi aliran daya yang dilakukan setelah menambahkan dua DG sumber energi terbarukan, diperoleh total rugi daya nyata pada saluran sebesar 190,4 kW dan total rugi daya reaktif sebesar 126,6 kVAr. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan DG PV 80 kW pada sistem 33 *bus* IEEE dapat mengurangi rugi daya aktif sebesar 11,8 kW dan daya reaktif sebesar 8,2 kVAr.

Tabel III menunjukkan data hasil simulasi setelah penambahan DG sumber energi terbarukan pada sistem 33 *bus* IEEE. Dari Tabel III dapat diketahui bahwa tegangan pada *bus* tidak semuanya normal. Pada *bus* 7 sampai *bus* 18 dan pada *bus* 26 sampai *bus* 33 masih terjadi *undervoltage*, yaitu tegangan di bawah 0,95 pu. Namun, tegangan pada *bus* 6 sudah normal, dengan tegangan sebesar 0,9512 pu.

Gbr. 8 menunjukkan grafik profil tegangan pada setiap *bus* pada simulasi dengan penambahan dua DG sumber energi terbarukan. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tegangan terendah terdapat pada *bus* 18, dengan tegangan 0,9176 pu, dan tertinggi pada *bus* sumber, yaitu bus 1, sebesar 1 pu. Hal ini menunjukkkan bahwa penambahan DG sumber energi terbarukan pada sistem 33 *bus* IEEE dapat menaikkan tegangan terendah dari 0,9133 pu menjadi 0,9176 pu.

C. Hasil Simulasi dengan Dua DG Sumber Energi Terbarukan Mempertimbangkan Sifat Intermiten

Skenario ketiga adalah simulasi dengan penambahan dua DG sumber energi terbarukan mempertimbangkan variabel sifat intermiten. Pada skenario ketiga ini penambahan dua buah DG sumber energi terbarukan pada sistem 33 *bus* IEEE mempertimbangkan perkiraan iradiasi matahari dan kecepatan angin yang merujuk pada data di Tabel I tentang perkiraan iradiasi matahari dan kecepatan angin selama 24 jam. Dari simulasi diperoleh lokasi optimal kedua DG pada *bus* 18 dengan DG tipe WT dan berkapasitas 80 kW.

Berdasarkan simulasi aliran daya yang dilakukan setelah menambahkan dua DG energi terbarukan mempertimbangkan sifat intermiten pada Tabel IV, diperoleh total rugi daya nyata pada saluran sebesar 196,4 kW dan total rugi daya reaktif sebesar 134,4 kVAr. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan DG sumber energi terbarukan dengan mempertimbangkan variabel sifat intermiten dapat mengurangi rugi daya aktif sebesar 5,8 kW dan daya reaktif sebesar 0,4 kVAr.

Tabel IV menyajikan hasil simulasi profil tegangan sistem 33 *bus* IEEE setelah penambahan DG sumber energi terbarukan dengan mempertimbangkan variabel sifat intermiten. Dari

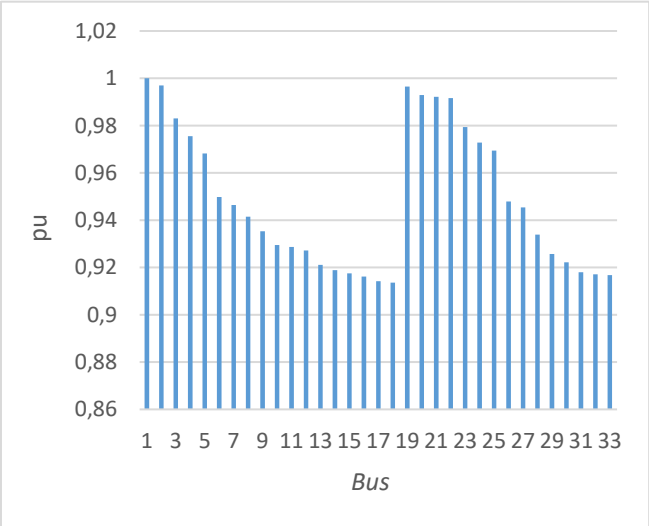
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

TABEL IV
TEGANGAN *BUS* SETELAH PENAMBAHAN DUA DG DENGAN MEMPERTIMBANGKAN SIFAT INTERMITEN

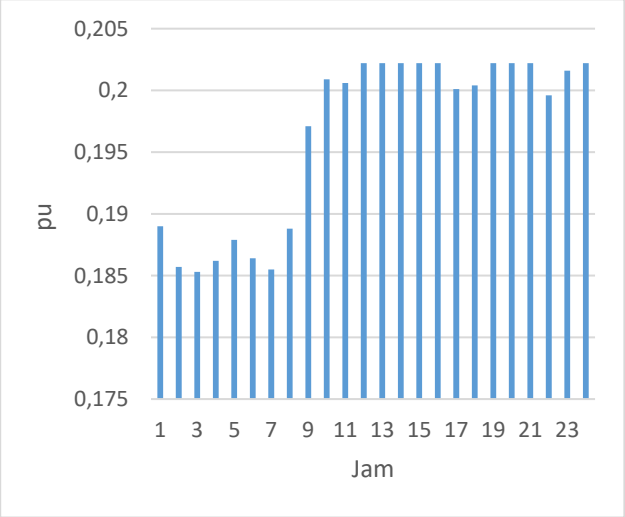
Bus	Tegangan (pu)	*Bus*	Tegangan (pu)	*Bus*	Tegangan (pu)
1	1,0000	12	0,9272	23	0,9794
2	0,9970	13	0,9211	24	0,9728
3	0,9830	14	0,9189	25	0,9694
4	0,9755	15	0,9175	26	0,9479
5	0,9682	16	0,9162	27	0,9454
6	0,9498	17	0,9142	28	0,9339
7	0,9464	18	0,9136	29	0,9257
8	0,9415	19	0,9965	30	0,9222
9	0,9353	20	0,9929	31	0,9180
10	0,9295	21	0,9922	32	0,9171
11	0,9287	22	0,9916	33	0,9168

TABEL V
RUGI-RUGI DAYA AKTIF SETIAP JAM SETELAH PENAMBAHAN DUA DG DENGAN MEMPERTIMBANGKAN SIFAT INTERMITEN

Jam	Rugi Daya (pu)	Jam	Rugi Daya (pu)
1	0,1890	13	0,2022
2	0,1857	14	0,2022
3	0,1853	15	0,2022
4	0,1862	16	0,2022
5	0,1879	17	0,2001
6	0,1864	18	0,2004
7	0,1855	19	0,2022
8	0,1888	20	0,2022
9	0,1971	21	0,2022
10	0,2009	22	0,1996
11	0,2006	23	0,2016
12	0,2022	24	0,2022



Gbr. 9 Profil tegangan setelah penambahan DG RES intermiten.



Gbr. 10 Rugi daya aktif setiap jam.

Tabel IV dapat diketahui bahwa tegangan pada *bus* tidak semuanya normal. Pada *bus* 7 sampai *bus* 18 dan pada *bus* 26 sampai *bus* 33 masih terjadi *undervoltage*, yaitu tegangan di bawah 0,95 pu.

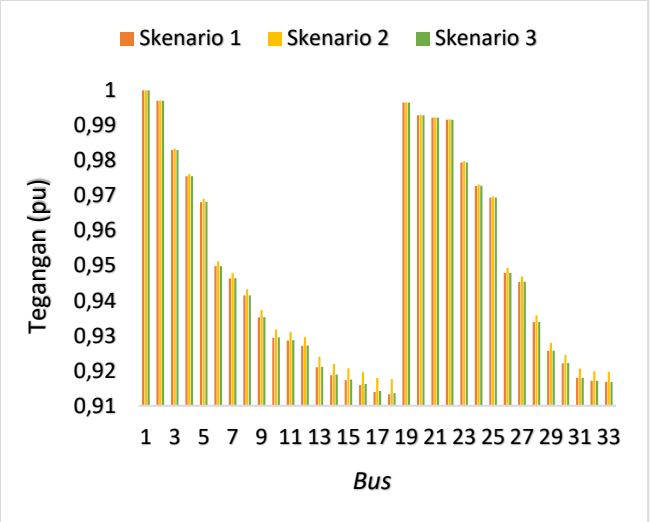
Gbr. 9 menunjukkan grafik profil tegangan Sistem 33 *bus* IEEE setelah penambahan DG sumber energi terbarukan dengan mempertimbangkan variabel sifat intermiten. Dari Gbr. 9 terlihat bahwa tegangan terendah terdapat pada *bus* 18, sebesar 0,9136 pu, dan tertinggi pada *bus* sumber, yaitu *bus* 1, sebesar 1 pu. Terjadi penurunan dibandingkan dengan hasil simulasi penambahan dua DG sumber energi terbarukan tanpa mempertimbangkan variabel sifat intermiten.

Tabel V menyajikan rugi-rugi daya aktif setiap jam pada sistem 33 *bus* IEEE setelah penambahan DG sumber energi terbarukan dengan mempertimbangkan variabel sifat intermiten. Dari Tabel V dapat diketahui rugi daya aktif minimum diperoleh pada pukul 03.00, yaitu 0,1853 pu atau 183 kW. Rugi-rugi daya aktif maksimum, yaitu 0,2022 pu atau 202,2 kW, terjadi pada pukul 12.00 sampai pukul 14.00, pukul 19.00 sampai pukul 21.00, dan pukul 24.00. Perbandingan rugi-rugi daya aktif setiap jam pada sistem 33 *bus* IEEE setelah penambahan DG sumber energi terbarukan dengan mempertimbangkan variabel sifat intermiten dalam bentuk grafik diperlihatkan pada Gbr. 10

Gbr. 11 menunjukkan perbandingan profil tegangan pada masing-masing *bus* untuk ketiga skenario. Profil tegangan pada ketiga skenario tersebut adalah profil tegangan sebelum penambahan DG sumber energi terbarukan, setelah penambahan DG sumber energi terbarukan, dan yang ketiga adalah profil tegangan setelah penambahan DG sumber energi terbarukan dengan mempertimbangkan perkiraan iradiasi matahari dan kecepatan angin. Hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa secara keseluruhan profil tegangan terbaik adalah pada skenario penambahan DG sumber energi terbarukan tanpa mempertimbangkan variabel sifat intermiten atau perkiraan iradiasi matahari dan kecepatan angin.

Tabel VI menyajikan perbandingan rugi daya pada simulasi tiga skenario. Data hasil simulasi pada Tabel VI menunjukkan bahwa penambahan dua DG sumber energi terbarukan dapat mengurangi rugi daya aktif sebesar 11,8 kW dan daya reaktif sebesar 8,2 kVAr. Namun, apabila penambahan dua DG sumber energi terbarukan mempertimbangkan sifat intermiten atau perkiraan iradiasi matahari dan kecepatan angin selama 24 jam, pengurangan rugi daya aktif hanya sebesar 5,8 kW dan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gbr. 11 Profil tegangan sistem 33 *bus* IEEE untuk semua skenario.

TABEL VI
PERBANDINGAN RUGI-RUGI DAYA

Kasus	Kondisi	Rugi Daya Aktif (kW)	Rugi Daya Reaktif (kVAr)
1	Sebelum pemasangan DG	202,2	134,8
2	Setelah pemasangan DG RES	190,4	126,6
3	Setelah pemasangan DG RES mempertimbangkan sifat intermiten	196,4	134,4

TABEL VII
ALOKASI DG DENGAN BEBERAPA METODE UNTUK 33 *BUS* IEEE

Kasus	Metode	Lokasi Optimal (*Bus*)
Dua DG	LSF [27]	18 dan 33
	IA [27]	6 dan 14
	ELF [27]	12 dan 30
	SOS [28]	13 dan 30
	PSO [29]	13 dan 30
	MVO	18 dan 33

daya reaktif sebesar 0,4 kVAr. Hal ini menunjukkan bahwa rugi-rugi daya minimum dapat diperoleh jika ditambahkan DG sumber energi terbarukan tanpa mempertimbangkan variabel sifat intermiten.

Tabel VII menunjukkan alokasi DG pada sistem 33 *bus* IEEE menggunakan beberapa metode alokasi. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya pada sistem 33 *bus* IEEE [27], penempatan dua buah DG dengan metode *Loss Sensitivity Factor* (LSF) akan optimal pada *bus* 18 dan *bus* 33. Hal ini sama dengan lokasi optimal dengan menggunakan metode yang digunakan pada makalah ini, yaitu metode algoritme MVO. Sementara itu, hasil penelitian dengan menggunakan metode *Improved Analytical* (IA) optimal pada *bus* 6 dan *bus* 14, sedangkan metode *Exhaustive Load Flow* (ELF) pada *bus* 12 dan *bus* 30 [27]. Hasil yang berbeda diperoleh menggunakan metode *Symbiotic Organisms Search* (SOS), yang menemukan lokasi optimal pada *bus* 13 dan *bus* 30 [28], sedangkan dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) diperoleh lokasi optimal pada *bus* 13 dan *bus* 30 [29]. Berdasarkan Tabel VII, diketahui bahwa lokasi optimal penempatan DG dapat bervariasi berdasarkan metode optimasi yang digunakan, walaupun menggunakan sistem yang sama seperti sistem 33 *bus* IEEE.

VI. KESIMPULAN

Setelah simulasi dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut. Alokasi optimal DG sumber energi terbarukan yang diperoleh dengan menggunakan MVO adalah pada *bus* 18 dan *bus* 33 dengan tipe DG PV. Pada simulasi yang mempertimbangkan variabel sifat intermiten, yaitu simulasi yang memasukkan data perkiraan iradiasi matahari dan kecepatan angin selama 24 jam, diperoleh lokasi penempatan DG pada *bus* 18 sebanyak dua DG tipe turbin angin. Sebelum pemasangan DG, rugi daya aktif adalah 202,2 kW dan rugi daya reaktif adalah 134,8 kVAr. Setelah pemasangan DG terbarukan, rugi daya aktif adalah 190,4 kW dan rugi daya reaktif adalah 126,6 kVAr. Kemudian, dengan mempertimbangkan variabel sifat intermiten, rugi daya aktif adalah 196,4 kW dan rugi daya reaktif adalah 134,4 kVAr.

REFERENSI

[1] N. Pragallapati dan V. Agarwal, "Distributed PV Power Extraction Based on a Modified Interleaved SEPIC for Nonuniform Irradiation Conditions," *IEEE J. Photovolt.*, Vol. 5, No. 5, hal. 1442–1453, Sep. 2015.

[2] N. Hayashi, A. Matsushita, D. Inoue, M. Matsumoto, T. Nagata, H. Higuchi, Y. Aya, dan T. Nakagawa, "Nonuniformity Sunlight-Irradiation Effect on Photovoltaic Performance of Concentrating Photovoltaic Using Microsolar Cells Without Secondary Optics," *IEEE J. Photovolt.*, Vol. 6, No. 1, hal. 350–357, Jan. 2016.

[3] S. Kolesnik, M. Sitbon, S. Lineykin, E. Batzelis, S. Papathanassiou, T. Suntio, dan A. Kuperman, "Solar Irradiation Independent Expression for Photovoltaic Generator Maximum Power Line," *IEEE J. Photovolt.*, Vol. 7, No. 5, hal. 1416–1420, Sep. 2017.

[4] I. Kim dan R.G. Harley, "The Transient Behavior of the Volt/Var Control of Photovoltaic Systems for Solar Irradiation Variations," *2016 IEEE Electr. Power Energy Conf. (EPEC)*, 2016, hal. 1–5.

[5] M. Fan, "A Novel Optimal Generation Dispatch Algorithm to Reduce the Uncertainty Impact of Renewable Energy," *2016 IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet. (PESGM)*, 2016, hal. 1–5.

[6] J. Hussain dan M.K. Mishra, "An Efficient Wind Speed Computation Method Using Sliding Mode Observers in Wind Energy Conversion System Control Applications," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 56, No. 1, hal. 730–739, Jan. 2020.

[7] J. Kazda, M. Mirzaei, dan N.A. Cutululis, "On the Architecture of Wind Turbine Control Required for Induction-based Optimal Wind Farm Control," *2018 Ann. Am. Control Conf. (ACC)*, 2018, hal. 3074–3079.

[8] J. Hussain dan M.K. Mishra, "Sliding Mode Observers Based Wind Speed Computation Method in Wind Energy Conversion Systems Control Applications," *2018 IEEE Int. Conf. Power Electron., Drives Energy Syst. (PEDES)*, 2018, hal. 1–6.

[9] A. Ramadan, M. Ebeed, S. Kamel, dan L. Nasrat, "Optimal Allocation of Renewable Energy Resources Considering Uncertainty in Load Demand and Generation," *2019 IEEE Conf. Power Electron. Renew. Energy (CPERE)*, 2019, hal. 124–128.

[10] S. Kandil dan H.E. Farag, "Impacts of Binding Constraints on the Planning Process of Renewable DG in Distribution Systems," *2015 IEEE Electr. Power Energy Conf. (EPEC)*, 2015, hal. 451–456.

[11] S. Nawaz, A.K. Bansal, dan M.P. Sharma, "A Novel DG Allocation Method for Power Loss Reduction in Radial Distribution System," *2016 IEEE 7th Power India Int. Conf. (PIICON)*, 2016, hal. 1–4.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

[12] A. Alhamali, M.E. Farrag, G. Bevan, dan D.M. Hepburn, "Determination of Optimal Site and Capacity of DG Systems in Distribution Network based on Genetic Algorithm," *2017 52nd Int. Univ. Power Eng. Conf. (UPEC)*, 2017, hal. 1–6.

[13] R. Prithvi dan M.R. Manjunath, "A Practical Approach for Optimal Allocation of Dispatchable and Non-dispatchable DG Units in Distribution Systems," *2017 Innov. Power Adv. Comput. Technol. (i-PACT)*, 2017, hal. 1–7.

[14] A.R. Gupta, "Effect of Optimal Allocation of Multiple DG dan D-STATCOM in Radial Distribution System for Minimising Losses and THD," *Int. Symp. Embed. Computi. Syst. Design (ISED), 2017*, hal. 1 - 5.

[15] A. Chowdhury, R. Roy, dan K.K. Mandal, "Comparative Study of Single and Multiple Point Renewable Energy Based DG Allocation Considering Improvement of Voltage Stability, Economic and Environmental Factors Using Jaya Algorithm," *2017 Int. Conf. Comput., Electr. Commun. Eng. (ICCECE)*, 2017, hal. 1–7.

[16] S. Bhuyan, M. Das, dan K.C. Bhuyan, "Particle Swarm Optimizations Based DG Allocation in Local PV Distribution Networks for Voltage Profile Improvement," *2017 Int. Conf. Comput., Electr. Commun. Eng. (ICCECE)*, 2017, hal. 1–4.

[17] M.H. Albadi, A.S. Al-Hinai, N.N. Al-Abri, Y.H. Al-Busafi, dan R.S. Al-Sadairi, "Optimal Allocation of Renewable-Based DG Resources in Rural Areas Using Genetic Algorithms," *2012 Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf.*, 2012, hal. 1–4.

[18] I.N. Trivedi, P. Jangir, N. Jangir, S.A. Parmar, M. Bhoye, dan A. Kumar, "Voltage Stability Enhancement and Voltage Deviation Minimization Using Multi-Verse Optimizer Algorithm," *2016 Int. Conf. Circuit, Power Comput. Technol. (ICCPCT)*, 2016, hal. 1–5.

[19] S. Mirjalili, S.M. Mirjalili, dan A. Hatamlou, "Multi-Verse Optimizer: A Nature-inspired Algorithm for Global Optimization," *Neural Comput. Appl.*, Vol. 27, No. 2, hal. 495–513, Feb. 2016.

[20] K.M. Bataineh dan A. Hamzeh," Efficient Maximum Power Point Tracking Algorithm for PV Application under Rapid Changing Weather Condition," *Int. Sch. Rese. Notices Renew. Energy*, Vol. 2014, hal. 1-13, 2014.

[21] R. Ramaprabha dan B.L. Matur "Development of an Improved Model SPV Cell for Partially Shaded Solar Photovoltaic Arrays," *Eur. J. Sci. Res.*, Vol. 47, No. 1, hal. 122-134, 2010.

[22] T.G. Hlalele, R.M. Naidoo, J. Zhang, dan R.C. Bansal, "Dynamic Economic Dispatch with Maximal Renewable Penetration Under Renewable Obligation," *IEEE Access*, Vol. 8, hal. 38794–38808, 2020.

[23] Y.M. Atwa, E.F. El-Saadany, M.M.A. Salama, dan R. Seethapathy, "Optimal Renewable Resources Mix for Distribution System Energy Loss Minimization," *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 25, No. 1, hal. 360–370, Feb. 2010.

[24] A. Zidan, H.A. Gabbar, dan A. Eldessouky, "Optimal Planning of Combined Heat and Power Systems within Microgrids," *Energy*, Vol. 93, hal. 235–244, Des. 2015.

[25] F.A. Mohamed dan H.N. Koivo "System Modelling and Online Optimal Management of Micro Grid Using Mesh Adaptive Direct Search," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, Vol. 32, No. 5, hal. 398–407, 2010.

[26] P. Li, P. Han, S. He, dan X. Wang, "Double-uncertainty Optimal Operation of Hybrid AC/DC Microgrids with High Proportion of Intermittent Energy Sources," *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, Vol. 5, No. 6, hal. 838–849, Nov. 2017.

[27] D.Q. Hung dan N. Mithulananthan, "Multiple Distributed Generator Placement in Primary Distribution Networks for Loss Reduction," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 60, No. 4, hal. 1700–1708, Apr. 2013.

[28] U. Umar, G. Setyawan, F. Faanzir, F. Firdaus, D. Fajar U.P., A. Soeprijanto, dan O. Penangsang, "New Enhanced Symbiotic Organisms Search for Optimal Location and Sizing of Distributed Generation in Radial Distribution System," *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, Vol. 13, No. 5, hal. 170–180, Okt. 2020.

[29] S. Kansal, V. Kumar, dan B. Tyagi, "Hybrid Approach for Optimal Placement of Multiple DGs of Multiple Types in Distribution Networks," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, Vol. 75, hal. 226–235, Feb. 2016.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Alternatif Anoda Limbah Kulit Udang dan Cangkang Telur

Dharma Abiyyu Allam*[1], Siti Miftachul Jannah[2], Lilis Nur Fitriani [3]
Universitas Brawijaya, Indonesia

INFO ARTIKEL

Alamat Web Artikel:
https://journal.umy.ac.id/index.php/mt/article/view/10721

DOI:
https://doi.org/10.18196/mt.v2i2.10721

Data Artikel:
Diterima:
04 Januari 2021
Direview:
03 Februari 2021
Direvisi :
17 Februari 2021
Disetujui :
31 Maret 2021

Korespondensi:
dharmaabi60@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia mengalami kesulitan mencapai target pembangunan energi karena pemanfaatan potensi terbarukan belum berjalan sesuai dengan rencana. Tingginya konsumsi energi fosil belum dapat diimbangi dengan penemuan energi cadangan baru. Selain mengalami penurunan produksi energi fosil semenjak 1990-an, status sebagai negara pengimpor juga membuat ketahanan energi minyak nasional berada pada posisi rentan. Kondisi ini akan sangat berpengaruh terhadap implementasi point ke-7 pada Sustainable Development Goals (SDGs), yakni energi bersih dan terjangkau, serta dapat menghambat perwujudan target pada 2030. Disisi lain, kulit udang dan cangkang telur merupakan limbah yang belum dimanfaatkan secara maksimal di masyarakat, padahal keduanya memiliki kandungan yang sangat potensial yakni CaCO3 (kalsium karbonat). Berdasarkan data yang kami peroleh, limbah udang mengandung protein kasar sekitar 25-40%, kalsium karbonat 45-50% dan kitin 15-20%. Sedangkan cangkang telur memiliki komposisi mineral, dan tersusun atas kristal CaCO3 (98,41%), MgCO3 (0,84%) dan Ca3(PO4)2 (0,75%). Setelah pereaksian sederhana antara CaCO3 dengan H2O, terjadi reaksi kimia berupa elektron akan mengalir dari baterai menuju kabel atau kutub negatif ke kutub positif. Hasil yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif dari tegangan yang ditampilkan dan dilakukan uji konduksi listrik dengan intensitas tertinggi dengan hasil terbaik adalah kombinasi 6 gram cangkang telur dan 2 gram cangkang udang dengan output 1,3 Volt. Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah cangkang udang dan cangkang telur berpotensi besar untuk menggantikan batere Anoda sebagai energi terbarukan.

Kata Kunci: Baterai, Kulit Telur, Kulit Udang, SDGs, Energi Terbarukan

ABSTRACT

Indonesia is facing problems in achieving its energy development targets. The high consumption of fossil energy is much higher than the discovery of new energy reserves. The decline of fossil energy production since the 1990s and its status as an importing country have made national oil energy security vulnerable. This condition will significantly affect the implementation of point 7 on the Sustainable Development Goals (SDGs) in providing clean and affordable energy, and may hinder the target in 2030. On the other hand, shrimp shells and eggshells have not been utilized optimally in the community considering both have CaCO3 (calcium carbonate). Based on our data, shrimp waste contains about 25-40% crude protein, 45-50% calcium carbonate, and 15-20% chitin. Meanwhile, eggshells have a mineral composition and are composed of crystals of CaCO3 (98.41%), MgCO3 (0.84%), and Ca3 (PO4) 2 (0.75%). In this research, a simple reaction between CaCO3 and H2O will be carried out leading to a chemical reaction in which electrons will flow from the battery to the cable or negative pole to the positive pole. The electrical conduction test was carried out with the highest intensity, with the best results being a combination of 6-gram eggshells and 2-gram shrimp shells with an output of 1.3 volts and the resulting High-Intensity Light. This research shows that the waste of shrimp and eggshells has great potential to replace Anode batteries as renewable energy.

Keywords: Battery, Eggshell, Shrimp Shell, SDGs, Renewable Energy

1. PENDAHULUAN

Indonesia hingga saat ini masih menghadapi persoalan dalam mencapai target pembangunan energi. Upaya dalam memaksimalkan pemanfaatan potensi terbarukan belum berjalan sesuai dengan perencanaan. Tingginya konsumsi energi fosil belum dapat diimbangi dengan penemuan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

cadangan baru [1]. Energi fosil telah menunjukan kedigdayaannya dan membuat masyarakat selalu terbius untuk mengkonsumsi. Sedangkan bila dicermati, Indonesia telah mengalami tren penurunan produksi yang menurun semenjak paruh akhir dekade 1990-an [2]. Belum lagi status sebagai negara pengimpor membuat ketahanan energi minyak nasional berada pada posisi rendah ketiga serta termasuk kelompok sangat rentan [3].

Komoditas udang termasuk sepuluh komoditas unggulan ekspor Indonesia dan menyumbang sebesar 1,06% devisa negara di tahun 2015 sampai dengan tahun 2016 [4]. Hal ini menujukkan bahwa komoditas udang memiliki pertumbuhan yang positif di subsektor perikanan. Udang termasuk komoditas unggulan ekspor non migas serta subsektor perikanan Indonesia. Sejak tahun 1987, Indonesia telah menjadi salah satu pemasok terpenting udang di dunia, bahkan, kontribusi udang dalam perolehan devisa Indonesia tergolong cukup besar [5]. Limbah kulit udang merupakan hasil samping yang dibuang industri pengolahan udang beku [6]. Limbah kulit udang yang digunakan yaitu kulit, kepala, dan bagian yang tidak dimanfaatkan. Kulit udang berasal dari salah satu golongan hewan crustacea yang mengandung konstituen utama yang terdiri kalsium karbonat (45%-50%), protein (25%-40%), dan kitin (15%-20%) [7]. Selain itu, kitin pada kulit udang dapat dimodifikasi struktur khitin dilakukan dengan basa kuat Natrium hidroksida (proses deasetilasi) menghasilkan turunannya yaitu biopolimer β(1,4)-2-amino-2-deoksi-D-glukosa yang disebut khitosan. Setelah berupa khitosan, dapat berfumgsi sebagai pngkhelat untuk logam-logam berat dari larutan, sekaligus sebagai penukar ion [8].

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Indonesia (BPS) tahun 2015, konsumsi telur per kapita dapat mencapai sekitar 112 butir telur ayam per tahun. Pada tahun 2017 terdapat sekitar 67.851.944 KK di Indonesia, maka konsumsi telur di Indonesia dapat mencapai sekitar 7,6 miliar butir dalam setahun [9]. Hal tersebut menunjukkan bahwa akan terdapat cukup banyak limbah dari cangkang telur yang terdapat di Indonesia setiap tahunnya [10]. Limbah cangkang telur merupakan limbah rumah tangga yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Pada umumnya cangkang telur hanya dimanfaatkan sebagai bahan baku industri kerajinan tangan [11].

Setiap tahunnya riset mengenai energi baru terbarukan (EBT) yang telah didanai program intesif kementrian riset dan teknologi terus mengalami penurunan. Tentu dengan keterbatasan anggaran saat ini, maka kewajiban untuk menumbuhkan gerakan riset energi terbarukan bukan hanya menjadi tugas pemerintah saja, melainkan menjadi responsibilitas bagi semua pihak yang memiliki kepentingan seirama [12]. Peningkatan pertumbuhan kegiatan riset tentunya akan menpengaruhi pada dinamika publikasi ilmiah yang mampu dikreasikan [13]. Berawal dari permasalahan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat menjadi sebuah inovasi baru untuk riset energi baru terbarukan yaitu dengan memanfaatkan limbah sebagai kutub negatif (anoda) pada baterai. Limbah kulit udang dan limbah cangkang telur yang dapat dijadikan sebagai baterai Foster yang ramah lingkungan serta mendukung Sustainable Development Goals (SGDs) [14]. Sehingga dapat mengurangi limbah limbah kulit udang dan limbah cangkang telur serta sekaligus dapat menambah nilai ekonomis dari limbah kulit udang dan limbah cangkang telur tersebut [15].

2. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksaakan selama 4 bulan yakni pada bulan Maret hingga Juni 2020. Adapun tempat penelitian, yakni tempat persiapan bahan, pembuatan baterai, serta pengujian sampel, dilakukan di Laboratorium Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: pisau, gunting, spatula, gelas beker, pipet, mortar, pembakar spirtus, batang pengaduk, kawat kasa, kaki tiga, rangkaian lampu, dan voltmeter.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: cangkang telur seberat 24 gram, kulit udang seberat 24 gram, air dengan volume 180 mili liter, baterai bekas sebanyak 3 buah, dan busa berpori.

2.3 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian dan pembuatan Alternatif anoda baterai sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan bahan.
2. Pembersihan dan penghalusan bahan yaitu cangkang telur dan kulit udang.
3. Penyaringan cangkang telur dan kulit udang yang telah dihaluskan dengan menggunakan saringan santan.
4. Pengukusan cangkang telur kulit udang yang telah dihaluskan di atas air yang mendidih.
5. Pembongkaran baterai bekas dan mengganti anoda atau kutub negatif dengan cangkang telur dan kulit udang yang telah dihaluskan selanjutnya direaksikan dengan uap air.
6. Penyusunan baterai kembali.
7. Pengujian baterai pada rangkaian listrik yang telah disediakan dengan media lampu dan *voltmeter*.
8. Analisa data.

2.4 Cara Kerja

2.4.1 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan yaitu meliputi: cangkang telur seberat 24 gram, kulit udang seberat 24 gram, air dengan volume 180 mili liter, baterai bekas sebanyak 3 buah, busa berpori, pisau, gunting, spatula, gelas beker, pipet, mortar, pembakar spirtus, batang pengaduk, kawat kasa, kaki tiga, rangkaian lampu, dan voltmeter.



Gambar 1. Alat dan Bahan Penelitian

2.4.2 Pembersihan dan Penghalusan Cangkang Telur dan Kulit Udang

Cangkang telur dan kulit udang dibersihkan menggunakan air hingga bersih untuk menghilangkan bau amis. Setelah proses pembersihan, cangkang telur dan kulit udang dihaluskan dengan menggunakan mortar.

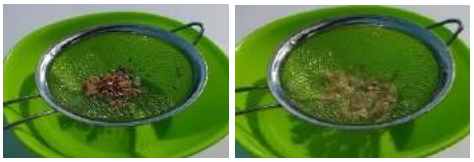


Gambar 2. Pembersihan dan Penghalusan Bahan

2.4.3 Penyaringan Cangkang Telur dan Kulit Udang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Cangkang telur dan kulit udang yang telah halus kemudian dilakukan penyaringan menggunakan saringan santan. Hal ini bertujuan agar cangkang telur dan kulit udang yang belum halus bisa tersaring dan menjadi partikel yang lebih kecil.



Gambar 3. Penyaringan Bahan

2.4.4 Pengukusan Cangkang Telur dan Kulit Udang

Cangkang telur dan kulit udang yang telah melalui tahap penyaringan, akan melalui tahap pengukusan di atas air yang mendidih. Hal ini bertujuan agar kalsium yang terdapat pada cangkang telur dan kulit udang yang elektron valensinya kecil dapat dilepaskan kapan saja. Selain itu, kalsium juga merupakan salah satu unsur dalam deret volta yang mudah teroksidasi.



Gambar 4. Pengukusan Bahan

2.4.5 Pembongkaran Baterai Bekas Dan Penggantian Anoda

Pembongkaran baterai bekas dan penggantian anoda atau kutub negatif dengan cangkang telur dan kulit udang yang telah dihaluskan, dilakukan dengan mereaksikannya bersama uap air. Siapkan baterai bekas kemudian bongkar baterai bekas dan keluarkan elektroda. Masukan cangkang telur dan kulit udang yang telah dihaluskan, selanjutnya direaksikan dengan uap air sebagai pengganti anoda atau kutub negatifnya.



Gambar 5. Pembongkaran Baterai

2.4.6 Penyusunan Baterai

Penyusunan baterai dilakukan dengan mengisinya dengan cangkang telur dan kulit udang di bagian anoda atau kutub negatifnya dirangkai kembali seperti semula. Penyusunan baterai dilakukan dengan satu faktor yakni bahan dan 2 jenis komposisi bahan tersebut adalah cangkan telur dan kulit udang; 1:1, 3:1, 1:3. Total pada percobaan sebanyak 3 perlakuan.

Tabel 1. Rancangan Percobaan dalam Perbandingan

Kategori	Cangkang Telur	Kulit Udang
A	1	1
B	3	1
C	1	3

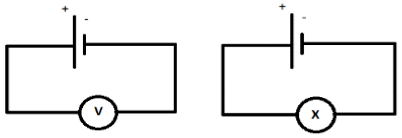
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 6. Penyusunan Baterai

2.4.7 Pengujian Baterai Pada Rangkaian Listrik Yang Telah Disediakan Media Lampu

Pengujian dilakukan di Laboratorium Elektronika untuk mengetahui daya listrik dan tegangan dalam baterai. Media lampu dibutuhkan untuk mengetahui apakah lampu bisa menyala dengan terang atau redup. Pengujian dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif. Pada metode kuantitatif dilakukan pengujian tegangan yang dihasilkan oleh baterai dengan menggunakan voltmeter. Sementara pada metode kualitatif, dilakukan pengujian dengan menggunakan lampu dan indikator redup terang nyala lampu tersebut.



(a) (b)

Gambar 1. Rangkaian Pengujian Baterai
(a) Pengujian dengan Voltmeter; (b) Pengujian dengan Lampu



Gambar 7. Pengujian Baterai dengan Lampu

2.4.8 Analisis Data

Analisis data digunakan untuk mengetahui nilai efektifitas dari Baterai limah kulit udang dan cangkang telur yang telah dilakukan pengujian. Analisis data dilakukan dengan membahas data hasil penelitian yang telah diperoleh dan dibandingkan dengan studi literatur yang telah dikumpulkan

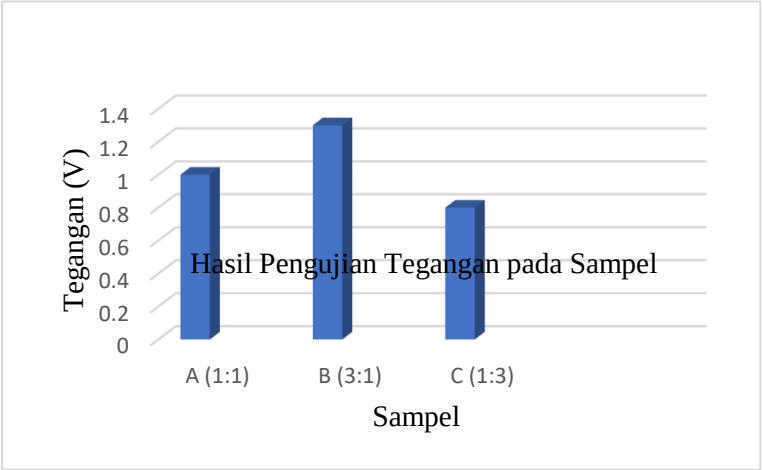
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Penelitian

Tabel 2. Data Hasil Penelitian

Sampel	Cangkang telur (gram)	Kulit udang (gram)	Air (ml)	Tegangan yang Dihasilk-an (Volt)	Nyala Lampu yang Dihasilkan	Hasil
A	4	4	60	1,0	Terang	√
B	6	2	60	1,3	Terang	√
C	2	6	60	0,8	Redup	-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 8. Hasil Pengujian Tegangan pada Sampel

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah diperoleh, dapat diketahui bahwa hasil dari percobaan dan pengujian baterai memiliki hasil yang beragam. Pada sampel A, yakni baterai yang menggunakan perbandingan antara cangkang telur dan kulit udang sebesar 1:1, sebanyak masing-masing 4 gram bahan. Secara kuantitatif, sampel A menghasilkan tegangan sebesar 1,0 volt. Sementara secara kualitatif, sampel A mampu menyalakan lampu dengan terang. Pada sampel B, yakni baterai yang menggunakan perbandingan antara cangkang telur dan kulit udang sebesar 3:1, sebanyak 6 gram cangkang telur dan 2 gram kulit udang. Secara kuantitatif, sampel B menghasilkan tegangan sebesar 1,3 volt. Sementara secara kualitatif, sampel B mampu menyalakan lampu dengan terang. Pada sampel C, yakni baterai yang menggunakan perbandingan antara cangkang telur dan kulit udang sebesar 1:3, sebanyak 2 gram cangkang telur dan 6 gram kulit udang. Secara kuantitatif, sampel C menghasilkan tegangan sebesar 0,8 volt. Sementara secara kualitatif, sampel C mampu menyalakan lampu dengan redup.

3.2 Pembahasan

Berdasarkan kajian pustaka, dapat diketahui bahwa limbah cangkang telur dan kulit udang dapat dijadikan sebagai pengganti anoda pada baterai karena mengandung kalsium yang elektron valensinya kecil sehingga dapat dilepaskan kapan saja. Selain itu, kalsium juga merupakan salah satu unsur dalam deret volta yang mudah teroksidasi. Jika kalsium direaksikan dengan H_2O (air) akan mengalami reaksi kimia sebagai berikut:

$$Ca(s) + 2H_2O(g) \rightarrow Ca(OH)_2(aq) + H_2(g)$$

Baterai cangkang telur dan kulit udang terdiri dari suatu silinder seng yang berisi pasta campuran dari $CaCO_3$ yang telah direaksikan dengan uap air. Pasta itu sendiri berfungsi sebagai oksidator. Reaksi rumit tersebut di sederhanakan menjadi:

$$CaCO_3 + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + CO_2$$

Kecepatan dari proses ini mengontrol seberapa banyak elektron yang dapat mengalir diantara kedua kutub. Elektron mengalir dari baterai ke kabel dan tentunya bergerak dari kutub negatif ke kutub positif, tempat dimana reaksi kimia tersebut sedang berlangsung. Hal ini lah yang disebut dengan tegangan (*voltase*) dan dapat menghasilkan arus listrik. Kemudian berdasarkan rancangan percobaan, terdapat 3 jenis komposisi yang digunakan dalam penelitian ini untuk menguji efektifitas tiap komposisi. Adapun komposisi yang digunakan adalah perbandingan berat cangkang telur dan kulit udang sebagai pengganti anoda.

Berdasarkan rekapitulasi hasil penelitian yang telah dilakukan (tabel 4.1), dapat diketahui bahwa dari ketiga perlakuan, yaitu sampel A,B, dan C, yang paling optimal adalah sampel B. Sampel B menghasilkan tegangan sebesar 1,3 volt dengan nyala lampu yang terang. Hasil ini paling optimal dibandingkan dengan sampel A dan C. Hal tersebut disebabkan karena jumlah

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

$CaCO_3$ dan gas H_2 yang dihasilkan lebih banyak, sehingga nyala lampu menjadi lebih terang. Sementara pada sampel A dan C, jumlah $CaCO_3$ dan gas H_2 yang dihasilkan lebih sedikit.

4. KESIMPULAN

4.1 Simpulan

Berdasarkan kajian pustaka dan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Formulasi limbah cangkang telur dan kulit udang yang sesuai digunakan untuk pengganti anoda terhadap tegangan baterai adalah 3:1. Formulasi terbukti lebih optimal dibandingan formulasi lain yang telah diuji dalam penelitian ini.
2. Limbah cangkang telur dan kulit udang pada baterai memiliki karakteristik yang sangat baik dan dapat digunakan sebagai pengganti anoda terhadap tegangan baterai. baterai juga terbukti efektif sebagai pengganti baterai konvensional. Hal ini dikarenakan baterai dapat menghasilkan tegangan sebesar 1,3 volt, hanya selisih 0,2 volt daripada baterai konvensional dan sifat baterai yang ramah lingkungan.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, adapun terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian ini, sebagai berikut:

1. Pengujian baterai dapat menggunakan komposisi atau formulasi yang lebih banyak, sehingga dapat diketahui nilai maksimal dari efektifitas dan keoptiimalan baterai.
2. Dapat bekerjasama dengan pemerintah atau instansi terkait untuk program pendanaan, sehingga implementasi baterai juga dapat dirasakan oleh masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Himawanto. 2016. Produktivitas Peneliti Indonesia di Riset Energy Internasional (Kajian Jurnal Science Direct). *Jurnal Ilmu Perpustakaan, Informasi, dan Kearsipan Khizanah Al-Hikmah*. 4, (1) : 1-23.

[2] Putra D.R, Yoesgiantoro D, Thamrin S. 2020. Kebijakan Ketahanan Energi Berbasis Energi Listrik Pada Bidang Transportasi Guna Mendukung Pertahanan Negara Di Indonesia: Sebuah Kerangka Konseptual. *NUSANTARA: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*. 7(3): 658-672.

[3] Nugroho, Andry Satrio. 2015. Analisis Ketahanan Minyak di 15 Negara Pengimpor Minyak Tahun 2010. *Bina Ekonomi*. 19(1): 71-89.

[4] Yusuf R, Rosyidah L, Zamroni A, Apriliani T. 2020. Rantai Pasok Dan Sistem Logistik Udang Vaname Di Kabupaten Pinrang, Provinsi Sulawesi Selatan. *Buletin Ilmiah Marina Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan* 6(1): 23-35.

[5] Kurniawati, Lestari. 2017. Kebijakan Dana Ketahanan Energi Sebagai Upaya Mewujudkan Ketahanan Energi Nasional: Konsep Dan Tantangannya. *Jurnal Manajemen Keuangan Publik* 1(1): 29-41.

[6] Hermanto S.E.M.P, Nengseh K.N.A. 2020. Pemanfaatan Limbah Udang (Kepala dan Kulit Udang) Sebagai Bubuk Kaldu Pengganti Msg Di Desa Medalem. *Jurnal Abadimas Adi Buana* 3(2): 7-10.

[7] Iyan, Sari A.D. 2020. Pengoptimalan Nilai Guna Limbah Kulit Udang. *Barometer:Jurnal Ilmu dan Aplikasi Teknik* 5(1): 224-226.

[8] Meicahayanti I, Marwah, Setiawan Y. 2018. Efektifitas Kitosan Limbah Kulit Udang Dan Alum Sebagai Koagulan Dalam Penurunan Tss Limbah Cair Tekstil. *Jurnal Chemurgy* 2(1): 1-5.

[9] Anton, Taufik E, Wulandari Z. 2020. Studi Residu Antibiotika dan Kualitas Mikrobiologi Telur Ayam Konsumsi yang Beredar di Kota Administrasi Jakarta Timur. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Perternakan* 8(3): 151-159.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

[10] Putri, T. Rahayu. 2018. Eksplorasi Kadar Kalsium (Ca) Dalam Limbah Cangkang Kulit Telur Bebek dan Burung Puyuh Menggunakan Metode Titrasi dan Asam. *Al-Kimiya.* 5(2) : 74-77.

[11] Irna I, Sanuriza,Risfianty D,K. 2020. Limbah Cangkang Telur Ayam Ras *(Gallus Domesticus)* Sebagai Bahan Pupuk Untuk Memperbaiki Sifat Kimia Tanah. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia* 8(2): 67-73.

[12] Oktarina S.D, Nurkhoiry R, Nasution M.N, Rahutomo S. 2019. Riset Pasar Biodiesel B20 Di Indonesia: Evaluasi Terhadap Produk Dan Kesadaran Konsumen Market. *Analisis Kebijakan Pertanian* 17(2): 79-93

[13] Salam R, Akhyar M , Tayeb A.M , Niswaty R. 2017. Peningkatan Kualitas Publikasi Ilmiah Mahasiswa dalam Menunjang Daya Saing Perguruan Tinggi. *Jurnal Office* 3(1): 61-66.

[14] Putri Y.P, Fitriyanti R, Emilia I. 2019. Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Udang Putih (Penaeus merguiensis) sebagai Kontribusi Perhitungan Ocean Health Index (OHI). *Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam* 8(2): 58-69.

[15] Rahmadina, Tambunan E.P.S. 2017. Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur, Kulit Bawang Dan Daun Kering Melalui Proses Sains Dan Teknologi Sebagai Alternatif Penghasil Produk Yang Ramah Lingkungan. *Klorofil* 1(1): 48-55.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

© 2021 Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP
JURNAL ILMU LINGKUNGAN
Volume 19 Issue 1 (2021) : 117-126 *ISSN 1829-8907*

Analisis Dampak Sosial Ekonomi Budaya Kegiatan Eksplorasi Panasbumi di WKP Baturraden (Studi Kasus di Desa Karangtengah, Kecamatan Cilongok, Kabupaten Banyumas)

Muhammad Fadil Ramadhan[1], Muslihudin[2], dan Mukhtar Effendi[3]

[1]Mahasiswa Program Magister Ilmu Lingkungan, Pascasarjana, Universitas Jenderal Soedirman
[2]Dosen Program Magister Ilmu Lingkungan, Pascasarjana, Universitas Jenderal Soedirman: e-mail: muslihudin1963@yahoo.com
[3]Dosen Jurusan Ilmu Fisika, Fakultas Mipa, Universitas Jenderal Soedirman

ABSTRAK

Hadirnya energi panasbumi sebagai Energi Baru Terbarukan (EBT) rupanya bukan berarti hadir tanpa suatu dampak bagi lingkungan disekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana dampak sosial-ekonomi-budaya yang terjadi dan merumuskan strategi pengelolaan lingkungan komponen sosial ekonomi budaya guna meminimasi dampak negatif dan mengoptimasi dampak positif dari kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden di Desa Karangtengah, Kecamatan Cilongok, Kabupaten Banyumas. Penelitian ini merupakan penelitian metode campuran dengan pendekatan eksplanatoris sekuensial, yaitu dengan menggabungkan metode kuantitatif dan metode kualitatif. Metode kuantitatif yang digunakan berupa analisis besar dampak serta analisis sifat dampak. Berdasarkan hasil pengolahan data secara kuantitatif tersebut, selanjutnya dianalisis secara kualitatif menggunakan matrik SWOT untuk perumusan strategi pengelolaan lingkungan komponen sosial ekonomi budaya. Pengumpulan data primer dilakukan menggunakan kuesioner dan observasi. Sedangkan data sekunder diperoleh dari studi literatur yang memiliki ketkaitan dengan topik penelitian. Berdasarkan hasil analis yang dilakukan dalam penelitian ini, menjelaskan bahwa dampak yang terjadi atas kegiatan eksplorasi panasbumi di WKP Baturraden bervariasi, dari yang tidak menimbulkan dampak hingga berdampak sangat besar. Sedangkan berdasarkan sifat dampaknya terdapat dampak yang cukup penting hingga sangat penting. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa terdapat 2 dampak dengan bobot besar dampak dan sifat dampak tertinggi, yaitu penurunan kenyamanan masyarakat dan perubahan persepsi masyarakat. Dengan kondisi tersebut, meninjau tingkat urgensi kegiatan eksplorasi panasbumi dalam rangka pengupayaan energi baru terbarukan maka strategi pengelolaan lingkungan yang paling tepat pada komponen sosial ekonomi budaya berdasar analisis SWOT adalah menggunakan strategi devensif yang memadukan antara kekuatan internal dengan peluang eksternal dan strategi diversifikasi yang memadukan antara kekuatan internal dengan ancaman eksternal.

***Kata kunci*:** Lingkungan, Analisis dampak, Dampak sosial ekonomi budaya, Eksplorasi panasbumi, Energi terbarukan

ABSTRACT

The presence of geothermal energy as renewable energy (EBT) apparently does not mean present without an impact on the surrounding environment. This study aims to find out how socio-economic-cultural impacts occur and formulate environmental management strategies of socio-economic components of culture in order to minimize negative impacts and optimize the positive impact of WKP Baturraden geothermal exploration activities in Karangtengah Village, Cilongok Subdistrict, Banyumas Regency. This research is mixed-method research with a sequential explanatory approach, namely by combining quantitative method and qualitative method. Quantitative methods are used in the form of large impact analysis as well as impact nature analysis. Based on the results of quantitative data processing, then analyzed qualitatively using SWOT matrix for the formulation of environmental management strategy socio-economic-cultural components. Primary data collection is conducted using questionnaires and observations. While the secondary data is obtained from literature studies that have something related to the topic of research. Based on the results of the analysts conducted in this study, explained that the impact that occurs on geothermal exploration activities in WKP Baturraden varies, from those that do not cause impacts to have a huge impact. While based on the nature of the impact there is an impact that is quite important to very important. Based on the results of this study, it can be concluded that there are 2 impacts with a large weight of impact and the nature of the highest impact, namely the decrease in public comfort and changes in public perception. With these conditions, reviewing the level of urgency of geothermal exploration activities in the framework of renewable energy (EBT) payment, the most appropriate environmental management strategy in the socio-economic component of culture based on SWOT analysis is to use a defensive strategy that combines the internal forces with external opportunities and diversification strategies that combine internal forces with external threats.

***Keywords*:** Environment, Impact analysis, Social economic culture impact, Geothermal exploration, Renewable energy

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Citation: Ramadhan, M.F., Muslihudin, dan Effendi, M. (2021). Analisis Dampak Sosial Ekonomi Budaya Kegiatan Eksplorasi Panasbumi di WKP Baturraden (Studi Kasus di Desa Karangtengah, Kecamatan Cilongok, Kabupaten Banyumas). Jurnal Ilmu Lingkungan, 19(1), 117-126, doi:10.14710/jil.19.1.117-126

1. Pendahuluan

Dalam rangka pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Panasbumi (PLTP) Baturraden yang berada di Gunung Slamet, Kementrian Energi dan Sumberdaya Mineral telah menetapkan wilayah kerja panasbumi (WKP) Baturaden mencakup areal seluas 24.660 ha yang berlokasi di beberapa kabupaten, antara lain Kabupaten Brebes, Kabupaten Banyumas, Kabupaten Purbalingga, Kabupaten Pemalang dan Kabupaten Tegal. Ketika telah beroperasi secara efektif nantinya PLTP Baturraden diproyeksikan akan mampu menghasilkan listrik sebesar 220 MW (Kementrian ESDM, 2010).

Sistem panasbumi yang berada di Gunung Slamet merupakan volcano-hosted, sistem panasbumi tersebut umumnya erat kaitannya dengan dengan aktivitas gunungapi kuarter. (Purnomo dan Pichler, 2014). Sumber panasbumi di Gunung Slamet berupa uap yang cocok untuk pembangkit listrik dengan jenis teknologi *binary cylcle power plants*, teknologi pembangkit tersebut terbilang aman bagi lingkungan karena tidak terdapat zat yang dilepas ke atmosfer karena kegiatannya dilakukan dengan sistem tertutup (Nafiri, 2010).

Pada tahun 2017 pelaksanaan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden pernah menyebabkan keruhnya air Sungai Prukut yang alirannya melewati Desa Krangtengah. Hal itu disebabkan oleh aktivitas pembukaan lahan saat pembangunan akses jalan kendaraan alat berat menuju lokasi uji sumur (wellpad). Dampak yang dirasakan oleh masyarakat ketika itu antara lain matinya ratusan ikan milik petani setempat, susahnya mengakses air bersih, dan menurunnya hasil produksi tani padi (Radar Banyumas, 2018). Kompas (2017) dalam pemberitaannya menyebutkan, sejumlah ratusan masa yang tergabung dalam Aliansi Selamatkan Slamet (ASS) menuntut agar izin kegiatan eksplorasi panasbumi yang sedang dilaksanakan untuk dicabut.

Berdasarkan hal tersebut upaya yang perlu dilakukan adalah dengan menganalisis dampak yang mengkaji pada aspek sosial, aspek ekonomi dan aspek budaya guna tercapainya kehidupan yang lebih lestari dan berkeadilan secara sosial, ekonomi dan budaya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak sosial-ekonomi-budaya dan merumuskan strategi pengelolaan komponen sosial-ekonomi-budaya atas kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden di Desa Karangtengah, Kecamatan Cilongok, Kabupaten Banyumas.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini didesain sebagai penelitian menggunakan metode campuran atau dengan kata lain berupa penggabungan metode kuantitatif dan kualitatif untuk memahani permasalahan penelitian (Johnson dan Christensen, 2012). Pada penelitian metode campuran ini, jenis penelitian yang digunakan adalah eksplanatoris sekuensial. Jenis penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan dan menganalisis data kuantitatif, kemudian mengumpulkan dan menganalisis data kualitatif berdasarkan hasil analisis kuantitatif tahap awal. (Cresswell, 2010). Penelitian ini termasuk penelitian metode campuran dengan pendekatan eksplanatoris sekuensial, yaitu dengan menggabungkan metode kuantitatif berupa analisis besar dampak serta analisis sifat dampak menggunakan metode Fandeli (2013). Berdasarkan hasil kuantitatif tersebut kemudian dianalisis secara kualitatif menggunakan matrik SWOT dengan merumuskan factor lingkungan strategis internal dan eksternal (Tangkilasan, 2003). Pengumpulan data primer dilakukan menggunakan kuesioner dan observasi lapangan. Sedangkan data sekunder diperoleh dari literatur berupa penelitian sebelumnya dan peraturan/kebijakan yang terkait dengan kegiatan penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Deskripsi Lokasi dan Data Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Desa Karangtengah Kecamatan Cilongok Kabupaten Banyumas. Desa Karangtengah terdiri dari 7 RW dengan jumlah penduduk sebanyak 10.756 jiwa serta memiliki luas wilayah seluas 17,22 km^2 (Badan Pusat Statistik, 2020). Responden dalam penelitian ini adalah masyarakat Desa Karangtengah. Tingkat pengembalian pertanyaan dan jawaban terbilang tinggi, karena penulis dapat mendistribusikannya secara langsung dan menunggu jawaban dari responden. Jumlah kuesioner yang dibagikan kepada responden adalah 46 dengan tingkat pengembalian kuesioner kepada penulis adalah 100%. Dalam melakukan uji normalitas data pada penelitian ini menggunakan uji *Lilliefors*. Pengujian data menggunakan Lilliefors dapat diterapkan untuk rentang data yang tidak melebihi 50 (Matonda, 2012; Oktaviani dan Notobroto, 2014). Pengujian data dinyatakan berdistribusi nomal jika nilai tertinggi (L0) < nilai tabel (Lt) dan tidak normal apabila nilai tertinggi (L0) > nilai tabel (Lt). Hasil pengujian normalitas data pada penelitian ini disajikan pada tabel 1.

Berdasarkan jumlah sebaran data yang ada maka nilai rata-rata ($\bar{x}$) diperoleh 6,43 dengan standar deviasi (S) sebesar 0,53. Setelah dimasukan kedalam rumus uji normalitas Liliefors maka diperoleh hasil |F(z)-S(z)| dengan nilai tertinggi 0,1152 dan terendah 0,458. Secara keseluruhan sebaran data berdistribusi normal. Hal tersebut disebabkan oleh nilai tertinggi (L0) yang berfungsi sebagai angka penguji normalitas, yaitu 0,1152 lebih kecil dari nilai kuantil penguji Lilliefors α=0,05 dengan N=45 yaitu 0,1321.

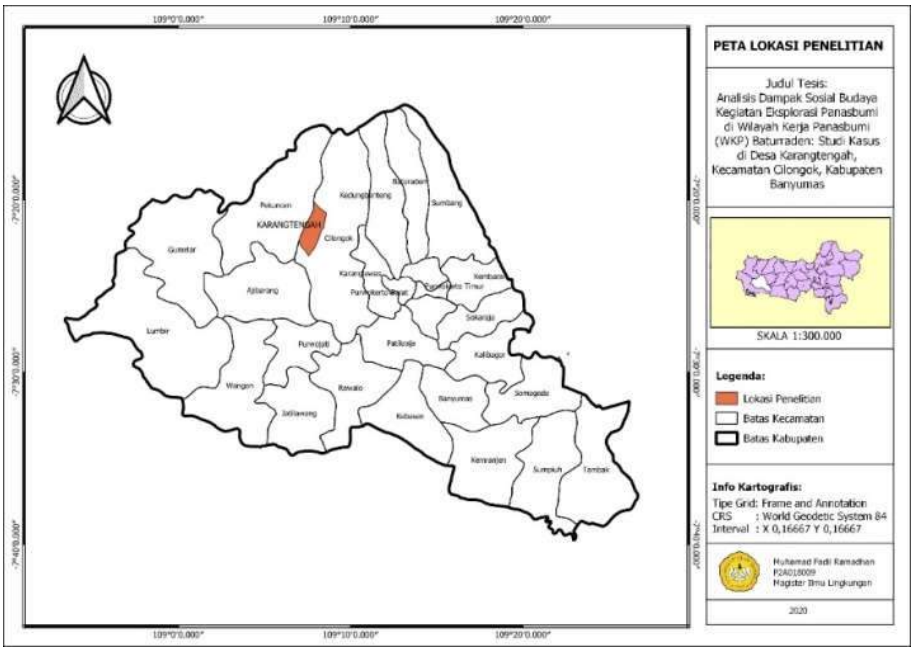
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

© 2021, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Tabel 1. Uji Normalitas Sebaran Data

No	Xi	z	S(z)	F(z)	|F(z)-S(z)|	Keterangan
1	7	-2,0371	0,0208	0,0667	0,0458	Normal
2	7	-2,0371	0,0208	0,0667	0,0458	Normal
3	7	-2,0371	0,0208	0,0667	0,0458	Normal
4	6	-1,7461	0,0404	0,1556	0,1152	Normal
5	6	-1,7461	0,0404	0,1556	0,1152	Normal
6	6	-1,7461	0,0404	0,1556	0,1152	Normal
7	6	-1,7461	0,0404	0,1556	0,1152	Normal
N = 45						
$\bar{x}$ = 6,43		L_0 = 0,1152				
S = 0,53		L_t = 0,1321				

Sumber: Hasil Pengolahan Data Primer, 2020



Gambar 1. Lokasi Penelitian

3.2. Dampak Sosial Ekonomi Budaya Kegiatan Eksplorasi Panasbumi WKP Baturraden

Dalam menentukan dampak sosial-ekonomi-budaya yang terjadi dikaji menggunakan analisis besar dampak dengan membandingkan kondisi sebelum adanya kegiatan (Q_{tp}) dengan kondisi setelah adanya kegiatan (Q_{dp}). Selisih angka Q_{dp}-Q_{tp} merupakan nilai besaran dampak yang terjadi (Fandeli, 2013). Adapun selisih dengan nilai 1 merupakan dampak dengan kategori sangat kecil, selisih 2 kategori sedang, selisih 3 kategori besar dan selisih 4 kategori sangat besar. Standar skala kualitas lingkungan menurut Fandeli (2013) yang telah dimodifikasi berdasarkan kebutuhan penelitian disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan kajian literatur dengan melakukan perbandingan antara parameter sosial yang ada dalam Keputusan Kepala Bapedal Nomor 299 Tahun 1996 tentang Pedoman Teknis Kajian Aspek Sosial Dalam Penyusunan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan dengan dokumen UKL-UPL kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden (2016), maka terdapat 7 komponen dampak yang dapat diamati dalam penelitian ini. Antara lain kesempatan kerja, peluang berusaha, pendapatan masyarakat, pendapatan masyarakat, kenyamanan masyarakat, warisan budaya, persepsi masyarakat dan sikap masyarakat.

Selain melakukan analisis besaran dampak untuk mengetahui bagaimana dampak yang terjadi dari kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden dalam penelitian ini juga melakukan analisis sifat dampak guna mengetahui skala kepentingan. Pentingnya suatu dampak ditentukan mengacu pada pada Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 pasal 22 (Fandeli, 2013; Yakin, 2017). Kriteria dampak penting terhadap lingkungan hidup yang dimaksud adalah:

1. Jumlah penduduk yang akan terkena dampak
2. Luas wilayah penyebaran dampak
3. Intensitas dan lamanya dampak berlangsung
4. Banyaknya komponen hidup lain yang terkena dampak
5. Sifat kumulatif dampak
6. Berbalik atau tidak berbaliknya dampak
7. Kriteria lain sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi

Setelah masing-masing dampak dievaluasi menggunakan 7 kriteria dampak penting tersebut. Kemudian adalah menentukan sifat dampak berdasarkan skala kepentingan dampak menurut Fandeli (2013).

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

© 2021, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Tabel 2. Standar Skala Kualitas Lingkungan

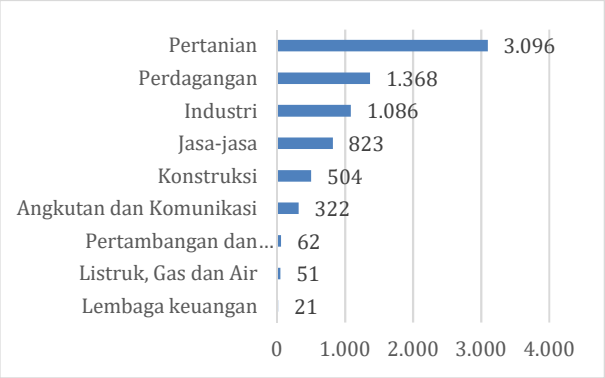
No	Variabel	Sangat Buruk	Buruk	Sedang	Baik	Sangat Baik
		1	2	3	4	5
1	Kesempatan Kerja	Jumlah tingkat pengangguran				
		75%	55-75%	30-55%	10-30%	<10%
2	Peluang Berusaha	Jumlah usaha yang muncul				
		0-3	4-6	7-11	12-16	> 16
3	Pendapatan Masyarakat	Pendapatan berdasarkan upah minimum kabupaten/kota (UMK)				
		< 30 %	30- 44 %	45-59 %	60-80%	> 80 %
4	Kenyamanan Masyarakat	Jumlah masyarakat yang menyatakan nyaman				
		< 30%	30- 44 %	45-59 %	60-75%	> 75 %
5	Warisan Budaya	Jumlah warisan budaya yang rusak				
		> 75%	74-50%	49-25%	24-1%	0%
6	Persepsi Masyarakat	Jumlah persepsi positif masyarakat				
		0-20%	21-40%	41-60%	61-80%	81-100%
7	Sikap Masyarakat	Jumlah sikap setuju masyarakat				
		0-20%	21-40%	41-60%	61-80%	81-100%

Sumber: Fandeli (2013) yang dimodifikasi

Tabel 3. Skala Kepentingan Dampak

Kurang Penting	Cukup Penting	Penting	Lebih Penting	Sangat Penting
1	2	3	4	5
∑P=0-19%	∑P=20-39%	∑P=40-59%	∑P=60-79%	∑P=80-100%

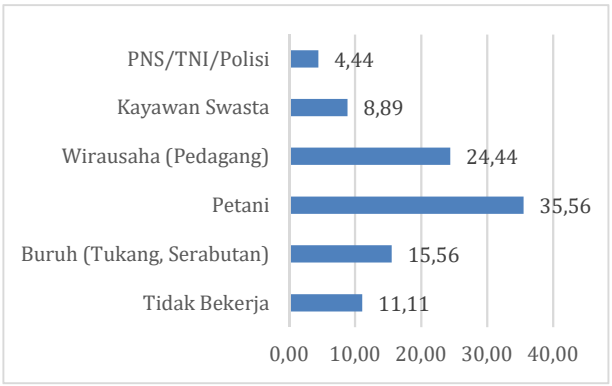
3.2.1. Kesempatan Kerja



Gambar 2. Jenis Bidang Pekerjaan Penduduk Desa Karangtengah

Berdasarkan data yang dihimpun oleh Badan Pusat Statistik (2020), distribusi pekerjaan penduduk Desa Karangtengah didominasi oleh masyarakat yang bekerja di bidang pertanian sebanyak 3.096 jiwa, sedangkan jumlah pengangguran sebanyak 48 jiwa. Menurut Campolieti (2014), pengangguran terjadi karena adanya ketimpangan antara pertumbuhan penduduk usia kerja dengan penyediaan lapangan kerja, sehingga menimbulkan kesenjangan yang disebut pengangguran. Nilai Q_{tp} pada dampak kesempatan kerja tanpa adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berasal dari jumlah pengangguran yang ada di Desa Karangtengah menurut data sekunder. Apabila jumlah pengangguran di Desa Karangtengah sejumlah 48 jiwa atau sama dengan 0,45% dari jumlah penduduk, maka nilai Q_{tp} menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 5 dengan ketentuan tingkat pengangguran < 10%.

Nilai Q_{dp} pada dampak kesempatan kerja dengan adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berasal dari jumlah pengangguran yang ada di Desa Karangtengah sesuai hasil pengambilan data primer. Berdasarkan hasil penyebaran kuesioner dari keseluruhan responden sebanyak 35,56% memiliki pekerjaan paling banyak adalah petani, diikuti wirausaha/pedagang, buruh tukang/serabutan. Karyawan swasta dan terkecil adalah PNS/TNI/Polisi. Sisanya sebanyak 11,11% dari responden tidak memiliki pekerjaan. Maka nilai Q_{dp} menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 4 dengan ketentuan tingkat pengangguran sebanyak 10% – 30%.



Gambar 3. Jenis Pekerjaan Masyarakat Desa Karangtengah

Berdasar analisis sifat penting dampak untuk kesempatan kerja dari kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berdasarkan UU 32 Tahun 2009 pasal 22 memenuhi 5 kriteria dampak penting, sehingga nilai ∑P dari dampak kesempatan kerja dari kegiatan tersebut adalah 71,4%. Maka sifat penting kesempatan kerja menurut Fandeli (2013) masuk kedalam kategori skala 4 (lebih penting) dengan ketentuan ∑P=60-79%.

3.2.2. Peluang Berusaha

Berdasarkan catatan Badan Pusat Statistik (2020), jumlah usaha industri kecil di Desa Karangtengah sebanyak 3 dengan kemampuan menyerap 16 tenaga kerja. Nilai Q_{tp} pada dampak peluang berusaha tanpa adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berasal dari jumlah usaha yang ada di Desa Karangtengah menurut data sekunder. Apabila jumlah usaha di Desa Karangtengah

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

© 2021, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

sejumlah 3, maka nilai Qtp menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 1 dengan ketentuan usaha yang muncul dengan adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden sebanyak 0– 2.

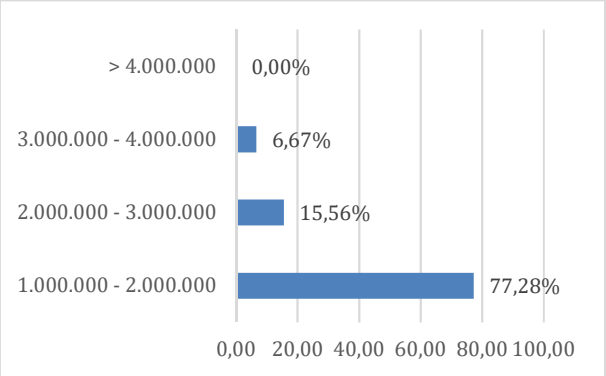
Nilai Q_{dp} pada dampak peluang berusaha dengan adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berasal dari jumlah usaha informal yang ada di Desa Karangtengah sesuai hasil pengambilan data primer. Berdasarkan hasil observasi selama di lapangan sudah cukup banyak aktifitas usaha informal seperti warung kelontong, bengkel, penginapan dan tambak ikan. Beberapa tahun belakangan ini Desa Karangtengah sedang mengoptimalkan potensi yang dimiliki seperti pariwisata dan agro. Munculnya usaha-usaha ini hadir secara organis sejalan dengan perkembangan lokasi wisata yang berada di Desa Karangtengah. Akan tetapi usaha-usaha tersebut tidak ada kaitannya dengan kegiatan eksplorasi panasbumi di WKP Baturraden karena pintu masuk Kawasan WKP Baturraden tidak berada di Desa Karangtengah. Maka nilai Qdp menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 1 dengan ketentuan usaha yang muncul dengan adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden sebanyak 0–2.

Berdasar analisis sifat penting dampak untuk peluang berusaha dari kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berdasarkan UU 32 Tahun 2009 pasal 22 memenuhi 2 kriteria dampak penting, sehingga nilai ∑P dari dampak peluang berusaha dari kegiatan tersebut adalah 28,5%. Maka sifat penting kesempatan kerja menurut Fandeli (2013) masuk kedalam kategori skala 2 (cukup penting) dengan ketentuan ∑P=20-39%.

3.2.3. Pendapatan Masyarakat

Untuk mengetahui pendapatan masyarakat Desa Karangtengah maka dapat dilakukan pendekatan analogi dari penelitian sebelumnya tentang pendapatan seorang petani, karena pada pembahasan sebelumnya mayoritas pekerjaan masyarakat Desa Karangtengah adalah petani. Penelitian mengenai pendapatan petani di Desa Sambang, Kecamatan Kembaran, Kabupaten Banyumas pernah dilakukan oleh Pratiwi et al. (2018) yang menyebutkan pendapatan rata-rata petani di lokasi penelitiannya sebesar Rp 1.624.961. Nilai tersebut menunjukan pendapatan rata-rata seorang buruh tani masih berada di atas UMK Kabupaten Banyumas tahun 2018 sebesar Rp 1.588.688. Apabila sejumlah 34,9% pendapatan masyarakat di Desa Karangtengah berada diatas UMK Kabupaten Banyumas, maka nilai Q_{tp} menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 2 dengan ketentuan sejumlah 30-44% memiliki pendapatan diatas UMK Kabupaten Banyumas.

Menurut informasi yang diperoleh di lapangan, pendapatan masyarakat Desa Karangtengah sempat mengalami perubahan pada saat terjadi banjir di Sungai Prukut yang menyebabkan ratusan ikan yang diternakan mati karena air sungai tersebut mengalami kekeruhan. Selain itu sekian banyak petak sawah juga mengalami gagal panen akibat rusaknya tanaman padi yang rusak akibat endapan material yang dibawa saat banjir terjadi. Nilai Q_{dp} pada dampak pendapatan masyarakat dengan adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berasal dari jumlah pendapatan rata-rata masyarakat Desa Karangtengah sesuai hasil pengambilan data primer. Berdasarkan hasil kuesioner dari keseluruhan responden sebanyak 77,78% memiliki pendapatan dengan rentang Rp 1.000.000 – Rp 2.000.000. Dengan posisi terbanyak kedua sebanyak 15,56% memiliki pendapatan dengan rentang Rp 2.000.000 – Rp 3.000.000, sisanya sebesar 6,67% memiliki pendapatan sebesar Rp 3.000.000 – Rp 4.000.000. Mengacu Surat Keputusan Gubernur Jawa Tengah Nomor 561/61 tahun 2020, UMK Kabupaten Banyumas pada tahun 2021 sebesar Rp 1.970.000. Masyarakat Desa Karangtengah yang memiliki pendapatan diatas UMK sebanyak 22,23%. Maka nilai Q_{dp} menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 1 dengan ketentuan sejumlah < 30% memiliki pendapatan diatas UMK Kabupaten Banyumas.



Gambar 4. Pendapatan Masyarakat Desa Karangtengah

Berdasar analisis sifat penting dampak untuk pendapatan masyarakat dari kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berdasarkan UU 32 Tahun 2009 pasal 22 memenuhi 5 kriteria dampak penting, sehingga nilai ∑P dari dampak pendapatan masyarakat dari kegiatan tersebut adalah 71,4%. Maka sifat penting pendapatan masyarakat menurut Fandeli (2013) masuk kedalam kategori skala 4 (lebih penting) dengan ketentuan ∑P=60-79%.

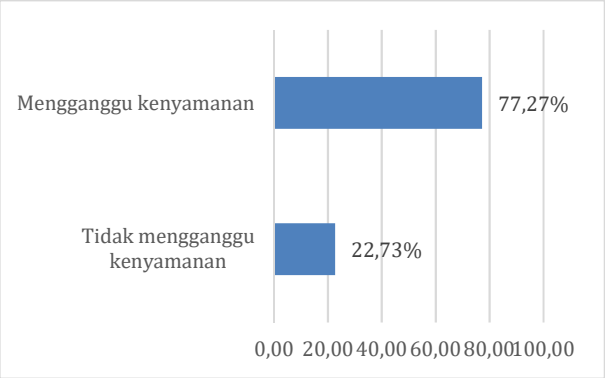
3.2.4. Kenyamanan Masyarakat

Nilai Q_{tp} pada dampak kenyamanan masyarakat tanpa adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berasal dari gambaran keadaan masyarakat Desa Karangtengah menurut data sekunder. Untuk kondisi tersebut maka dilakukan pendekatan analogi dari penelitian sebelumnya yang menggambarkan kondisi masyarakat Desa Karangtengah. Masyarakat Desa Karangtengah didominasi oleh suku jawa Banyumasan, dicirikan dengan karakteristik cablaka yang diartikan sebagai karakter mengedepankan keterusterangan dan kebersahajaan (Prawiroatmojo, 1988; Priyadi, 2007).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

© 2021, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Pada penelitian sebelumnya berjudul Budaya Banyumasan Tak Sekedar Dialek menjelaskan bahwa dalam menjalankan aktivitas hariannya masyarakat Banyumas memiliki aktivitas kelompok yang dilakukan secara turun temurun seperti gotong royong, sambatan, dan upacara adat (Koderi, 1991; Suhardi, 2013). Melihat kondisi tersebut maka nilai Q_{tp} menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 5 dengan ketentuan sejumlah > 75 % masyarakat nyaman tinggal di lingkungannya.



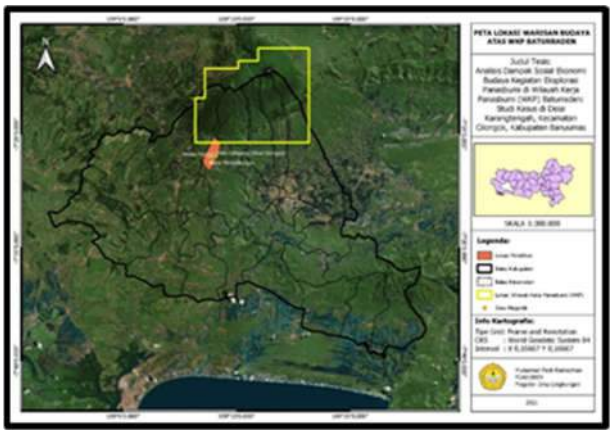
Gambar 5. Tingkat Kenyamanan Masyarakat Desa Karangtengah

Nilai Q_{dp} pada dampak kenyamanan masyarakat dengan adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berasal dari tingkat rasa nyaman masyarakat yang ada di Desa Karangtengah sesuai hasil pengambilan data primer. Berdasarkan hasil kuesioner mayoritas responden sebanyak 77,27% menyatakan merasa terganggu atau sama dengan sebesar 22,73% merasa nyaman dengan adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden. Kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden sempat membuat terjadinya gejolak publik baik dari elemen akademisi maupun non-akademisi. Gejolak tersebut juga dirasakan secara langsung di lingkungan masyarakat Desa Karangtengah yang menyebabkan adanya keresahan di lingkungan masyarakat. Maka nilai Q_{dp} menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 1 dengan ketentuan < 30% masyarakat merasa nyaman tinggal di wilayahnya.

Berdasar analisis sifat penting dampak untuk kenyamanan masyarakat dari kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berdasarkan UU 32 Tahun 2009 pasal 22 memenuhi 6 kriteria dampak penting, sehingga nilai ∑P dari dampak kenyamanan masyarakat dari kegiatan tersebut adalah 85,7%. Maka sifat penting kenyamanan masyarakat menurut Fandeli (2013) masuk kedalam kategori skala 5 (sangat penting) dengan ketentuan ∑P=80-100%.

3.2.5. Warisan Budaya

Nilai Q_{tp} pada dampak terhadap warisan budaya tanpa adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berasal dari keberadaan dan kondisi warisan budaya yang berada di Desa Karangtengah berdasarkan data sekunder. Pada penelitian sebelumnya yang berjudul Tipologi Situs Megalitik di Lereng Selatan Gunung Slamet. Terdapat 33 situs megalitik yang tersebar di seluruh lereng selatan Gunung Slamet. Sedangkan di Desa Karangtengah terdapat 3 buah situs megalitik, antara lain Madas Payung, Batur Panembangan dan Situs Cilongok/Watu Lumpang (Ramadhan, 2018). Dengan kondisi tersebut maka bisa didapatkan informasi bahwa semua situs megalitik sebelum adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berada dalam kondisi baik-baik saja. Maka nilai Q_{tp} menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 5 dengan ketentuan sejumlah 0% warisan budaya yang mengalami kerusakan.



Gambar 6. Lokasi Warisan Budaya Terhadap WKP Baturraden

Nilai Q_{dp} pada dampak warisan budaya dengan adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berasal dari kondisi dan keberadaan warisan budaya yang ada di Desa Karangtengah sesuai hasil analisis data spasial menggunakan perangkat lunak QGIS. Berdasarkan hasil analisa keseluruhan warisan budaya berupa situs megalitik di Desa Karangtengah tidak terancam dari kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden karena berada di luar wilayah kerja. Akan tetapi masih ada kemungkinan keberadaan warisan budaya lain yang belum terungkap di wilayah kerja tersebut. Maka nilai Q_{dp} menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 5 dengan ketentuan sejumlah 0% warisan budaya yang mengalami kerusakan.

Berdasar analisis sifat penting dampak untuk warisan budaya dari kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berdasarkan UU 32 Tahun 2009 pasal 22 memenuhi 2 kriteria dampak penting, sehingga nilai ∑P dari dampak warisan budaya dari kegiatan tersebut adalah 28,6%. Maka sifat penting kenyamanan masyarakat menurut Fandeli (2013) masuk kedalam kategori skala 2 (cukup penting) dengan ketentuan ∑P=20-39%.

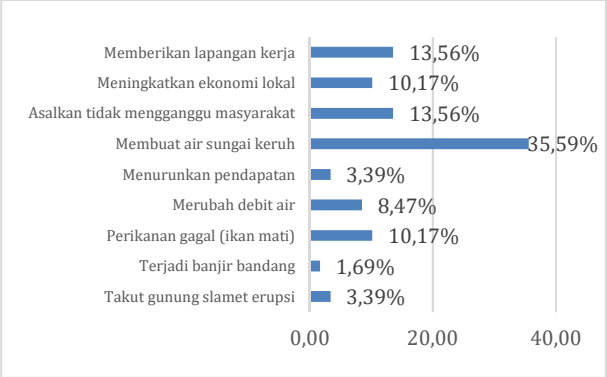
3.2.6. Persepsi Masyarakat

Nilai Q_{tp} pada dampak terhadap sikap masyarakat tanpa adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berasal dari kondisi secara umum persepsi masyarakat yang berada di Desa Karangtengah berdasarkan pendekatan analogi. Sebelum adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

© 2021, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Baturraden masyarakat Desa Karangtengah menjalani kehidupan sehari hari seperti hari yang biasa tanpa adanya persepsi apapun atas kegiatan tersebut. Dengan kondisi seperti itu maka nilai Q_{tp} menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 5 karena masyarakat Desa Karangtengah tidak memiliki persepsi netral atas kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden



Gambar 7. Persepsi Masyarakat Desa Karangtengah

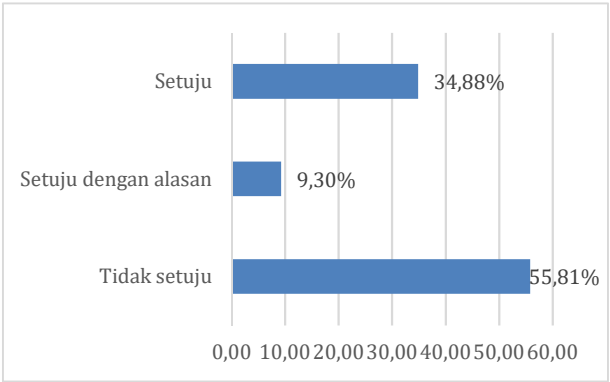
Nilai Q_{dp} pada dampak persepsi masyarakat dengan adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berasal dari persepsi positif responden sesuai hasil pengambilan data primer melalui kuesioner. Berdasarkan hasil kuesioner menunjukan dominasi persepsi negatif responden atas kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden sebesar 62,7%. Persepsi negatif tersebut merpupakan hasil respon yang pernah terjadi selama ini. Adapun persepsi negatif masyarakat paling banyak sebesar 35,59 adalah ketakutan terjadi kekeruhan pada air Sungai Prukut seperti yang pernah terjadi pada tahun 2017. Selain itu persepsi negatif lainnya seperti ketakutan gagalnya budidaya ikan karena mati akibat keruhnya air sungai, perubahan debit air bersih, menurunkan tingkat pendapatan, anggapan Gunung Slamet akan erupsi apabila dilakukan eksploitasi panasbumi, dan ketakutan terjadinya banjir bandang.

Namun persepsi positif yang muncul berdasarkan hasil kuesioner menunjukan angka 37,3%. Adapun persepsi tersebut antara lain anggapan bahwa hadirnya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden mampu memberikan lapangan kerja bagi masyarakat, meningkatkan ekonomi lokal serta ada juga persepsi positif atas kegiatan tersebut asalkan tidak menimbulkan dampak buruk kepada masyarakat. Berdasarkan penjelasan tersebut maka nilai Qdp menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 2 dengan ketentuan sebanyak 21-40% responden berpersepsi positif atas kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden.

Berdasar analisis sifat penting dampak untuk persepsi masyarakat dari kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berdasarkan UU 32 Tahun 2009 pasal 22 memenuhi 5 kriteria dampak penting, sehingga nilai ∑P dari dampak persepsi masyarakat dari kegiatan tersebut adalah 71,4%. Maka sifat penting kenyamanan masyarakat menurut Fandeli (2013) masuk kedalam kategori skala 4 (lebih penting) dengan ketentuan ∑P=60-79%.

3.2.7. Sikap Masyarakat

Nilai Q_{tp} pada dampak terhadap sikap masyarakat tanpa adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berasal dari kondisi secara umum sikap masyarakat yang berada di Desa Karangtengah berdasarkan pendekatan analogi. Jauh sebelum adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden masyarakat Desa Karangtengah menjalani kehidupan sehari hari seperti hari yang normal pada umumnya. Dengan kondisi tersebut maka nilai Q_{tp} menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 5 karena masyarakat Desa Karangtengah tidak mengambil sebuah sikap atas kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden.



Gambar 8. Sikap Masyarakat Desa Karangtengah

Nilai Q_{dp} pada dampak sikap masyarakat dengan adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berasal dari sikap persetujuan masyarakat yang ada di Desa Karangtengah sesuai hasil pengambilan data primer melalui kuesioner. Berdasarkan hasil kuesioner dari keseluruhan responden sebanyak 44,18% menyatakan setuju dengan adanya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden, jumlah sikap setuju tersebut terdiri dari 34,88% menyatakan persetujuan secara mutlak melihat karena melihat aka nada dampak positif yang hadir dari kegiatan tersebut dan 9,3% dengan sikap setuju namun dengan syarat tidak menimbulkan dampak negative seperti kejadian keruhnya Sungai Prukut serta harapan mampu memakmurkan masyarakat sekitar terutama Desa Karangtengah. Maka nilai Qdp menurut skala kualitas lingkungan Fandeli (2013) adalah skala 3 dengan ketentuan sebanyak 41-60% responden menyatakan setuju dengan kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden

Berdasar analisis sifat penting dampak untuk sikap masyarakat dari kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden berdasarkan UU 32 Tahun 2009 pasal 22 memenuhi 6 kriteria dampak penting, sehingga nilai ∑P dari dampak sikap masyarakat dari kegiatan tersebut adalah 85,7%. Maka sifat penting kenyamanan masyarakat menurut Fandeli (2013) masuk kedalam kategori skala 5 (sangat penting) dengan ketentuan ∑P=80-100%.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

© 2021, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

3.3. Strategi Pengelolaan Lingkungan Komponen Sosial-Ekonomi-Budaya

Perencanaan strategis bertujuan untuk memperjelas maksud dan tujuan pemilihan berbagai kebijakan, terutama ketika memperoleh dan mengalokasikan sumber daya untuk merumuskan suatu pedoman bagi organisasi/perusahaan (Salusu, 2008; Abdillah et al., 2014; Muslihudin et al., 2020). Dalam melakukan analisis lingkungan strategis terdapat 2 langkah, hal yang dapat dilakukan (Tangkilasan, 2003), antara lain:

1. Mengidentifikasi faktor strategis
   a. Identifikasi lingkungan internal
      Identifikasi berbagai faktor dari dalam organisasi, termasuk kekuatan dan kelemahan, termasuk strategi saat ini.
   b. Identifikasi lingkungan eksternal
      Identifikasi berbagai faktor terkait peluang dan ancaman di luar organisasi, seperti komunitas yang terkena dampak atau pihak lain.
2. Pencocokan menggunakan matriks SWOT

Analisis menggunakan matriks SWOT didasarkan pada logika memaksimalkan kekuatan dan peluang serta meminimalkan kelemahan dan ancaman. Dengan cara tersebut, perencanaan strategis akaan menganalisi faktor-faktor startegis dalam kondisi yang ada saat ini (Sulistiani, 2014; Muslihudin et al., 2019). Dalam mencocokan faktor-faktor strategis, Rangkuti (2015) membuat bagan dalam penentuan bentuk strategi apa yang akan dirumuskan dengan memadukan keseluruhan faktor strategis seperti yang disajikan pada Tabel 4 .

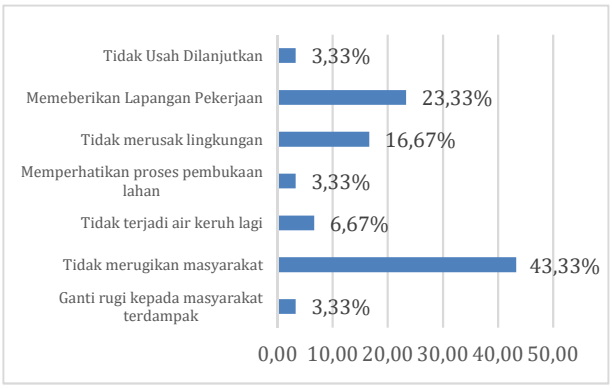
Tabel 4. Matriks SWOT

Internal Eksternal	*Strengths* (S) Menentukan faktor-faktor kekuatan internal	*Weakness* (W) Menentukan faktor-faktor kelemahan internal
Opportunities (O) Menentukan faktor-faktor peluang eksternal	Strategi SO Menciptakan strategi yang menggunakan kekuatan untuk memanfaatkan peluang	Strategi WO Menciptakan strategi yang meminimalkan kelemahan untuk memanfaatkan peluang
Threats (T) Menentukan faktor-faktor ancaman eksternal	Strategi ST Menciptakan strategi yang menggunakan kekuatan untuk mengaatasi ancaman	Strategi WT Menciptakan strategi yang meminimalkan kelemahan dan menghindari ancaman

Sumber: Rangkuti (2015)

Kondisi suatu lingkungan mampu mempengaruhi tingkat kenyamanan masyarakat. Keadaan lingkungan yang buruk mampu berdampak pada penurunan pada kesehatan mental dan kesejahteraan warga, sehingga tidak jarang menyebabkan perilaku agresif (Halim, 2008). Melihat besaran dampak yang terjadi akibat kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden pada kenyamanan di Desa Karangtengah masuk kedalam kategori sangat besar dengan bobot -4. Penurunan kenyamanan yang terjadi di Desa Karangtengah masuk kedalam bentu kenyamanan sosial-kultural. Menurut Kolcaba et al. (2003), kondisi kenyamaman sosial-kultural merupakan suatu kondisi yang terkait hubungan interpersonal, keluarga dan sosial masyarakat. Sehingga dampak kenyamanan masyarakat perlu menjadi catatan pemrakarsa/pelaku usaha kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden untuk diprioritaskan dalam pengelolaan lingkungan.

Harapan masyarakat atas kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden merupakan hal yang harus di respon dengan baik oleh pihak pemrakarsa kegiatan. Secara normatif keterlibatan masyarakat dalam perencanaan suatu kegiatan diatur oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 17 Tahun 2012 (Ramadhan, 2015). partisipasi masyarakat bertujuan untuk menumbuhkan semangat dan rasa memiliki terhadap suatu kegiatan pembangunan berdasar keterlibatannya dalam perencanaan, pelaksanaan dan evaluasi (Sunanto, 2008). Degan dasar itu maka harapan masyarakat dijadikan sebagai salah satu faktor strategis dalam merumuskan strategi pengelolaan lingkungan komponen sosial-ekonomi-budaya dalam penelitian ini.



Gambar 9. Harapan Masyarakat Atas Kegiatan Eksplorasi Panasbumi WKP Baturraden

Tangkilasan (2003) berpendapat bahwa dalam melakukan analisis lingkungan strategis terdapat 2 langkah, antara lain menentukan faktor strategis lingkungan internal dan lingkungan eksternal. Adapun faktor strategis dan perumusan strategi pengelolaan lingkungan komponen sosial ekonomi budaya kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden sebagai berikut:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA
© 2021, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Tabel 6. Perumusan Strategi Pengelolaan Komponen Sosial-Ekonomi-Budaya

Faktor Ling`kungan Internal / Faktor Lingkungan Eksternal	*Strengths* (S)	*Weakness* (W)
	▪ Merupakan energi baru terbarukan yang ramah lingkungan ▪ Dukungan secara politik dari pemerintah pusat ▪ Menyerap banyak tenaga kerja	▪ Kelalaian pada saat pembukaan lahan menyebabkan keruhnya air Sungai Prukut ▪ Kualitas sumber daya manusia yang kurang ▪ Biaya investasi usaha yang tinggi
Opportunity (O) ▪ Harapan masyarakat memberikan dampak positif berupa kesempatan kerja ▪ Ada persepsi positif bahwa kegiatan yang dilaksanakan menyangkut kebutuhan orang banyak ▪ Konversi energi fosil yang saat ini banyak digunakan	Strategi SO ▪ Peningkatan skala usaha ▪ Peningkatan keterlibatan masyarakat ▪ Melakukan pengembangan usaha pendukung	Strategi WO ▪ Melaksanakan kegiatan sesuai dengan ketentuan yang berlaku ▪ Peningkatan kualitas sumberdaya manusia
Threats (T) ▪ Munculnya rasa tidak nyaman masyarakat atas kegiatan eksplorasi panasbumi ▪ Munculnya persepsi negatif akibat kejadian keruhnya sungai prukut ▪ Munculnya sikap penolakan karena penurunan tingkat kenyamanan masyarakat dan persepsi negatif yang berkembang	Strategi ST ▪ Menjalin komunikasi yang terbuka dan sinergis dengan masyarakat dan pemerintah ▪ Sosialisasi kepada masyarakat	Strategi WT ▪ Melaksanakan kegiatan sesuai dengan ketentuan yang berlaku ▪ Sosialisasi kepada masyarakat ▪ Menjalankan program bina sosial/lingkungan

Sumber: Hasil Analisis (2021)

Sehingga dapat dirumuskan 4 jenis strategi menurut Rangkuti (2015) dalam Hernawan, Y. et al. (2020), yaitu (1) strategi agresif dengan menggunakan potensi kekuatan untuk memanfaatkan peluang, (2) strategi turn around dengan meminimalkan kelemahan untuk memanfaatkan peluang, (3) strategi diversifikasi dengan menggunakan potensi kekuatan untuk mengatasi ancaman, dan (4) strategi devensif dengan meminimalkan kelemahan guna menghindari ancaman. Strategi yang berhasil dirumuskan guna pengelolaan lingkungan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden adalah:

1. Strategi Agresif (SO)
   a. Peningkatan skala usaha
   b. Peningkatan keterlibatan masyarakat
   c. Melakukan pengembangan usaha pendukung
2. Strategi Turn Around (WO)
   a. Melaksanakan kegiatan sesuai dengan ketentuan yang berlaku
   b. Peningkatan kualitas sumberdaya manusia
3. Strategi Diversifikasi (ST)
   a. Menjalin komunikasi yang terbuka dan sinergis dengan masyarakat dan pemerintah
   b. Menyediakan mekanisme pengaduan atau Grievance Redress Mechanism (GRM)
   c. Sosialisasi kepada masyarakat
4. Strategi Devensif (WT)
   a. Melaksanakan kegiatan sesuai dengan ketentuan yang berlaku
   b. Sosialisasi kepada masyarakat
   c. Menjalankan program bina sosial/lingkungan

Melihat kondisi masyarakat Desa Karangtengah yang didominasi oleh persepsi negatif hingga munculnya sikap penolakan, maka strategi yang baik digunakan adalah strategi devensif dan strategi diversifikasi sebagai prioritas.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dampak sosial-ekonomi kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden di Desa Karangtengah, Kecamatan Cilongok, Kabupaten Banyumas, dapat disimpulkan bahwa:

Dampak sosial-ekonomi-budaya dari kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturaden di Desa Karangtengah antara lain (a) kesempatan kerja, (b) pendapatan masyarakat, (c) kenyaman masyarakat, (d) persepsi masyarakat, dan (e) sikap masyarakat. Dampak sosial ekonomi budaya dengan kategori sangat besar adalah terjadinya penurunan tingkat kenyamanan masyarakat dengan bobot dampak -4, kategori besar adalah terjadinya perubahan persepsi masyarakat dengan bobot dampak -3, kategori sedang adalah terjadinya perubahan sikap masyarakat dengan bobot dampak -2, kategori kecil adalah peningkatan kesempatan dan pendapatan masyarakat dengan bobot dampak -1. Berdasarkan analisis sifat dampak, dampak sosial-ekonomi-budaya dengan kategori sangat penting adalah kenyamanan masyarakat dan sikap masyarakat. Dampak yang masuk kedalam kategori lebih penting adalah kesempatan kerja, pendapatan masyarakat dan persepsi masyarakat.

Strategi pengelolaan lingkungan hidup komponen sosial ekonomi budaya dari kegiatan eksplorasi panasbumi di WKP Baturraden adalah menggunakan strategi devensif dan diversifikasi. Antara lain (1) Peningkatan skala usaha sehingga mampu menyerap tenaga kerja secara maksimal, (2) Melakukan pengembangan usaha pendukung sehingga mampu menumbuhkan peluang berusaha, kesempatan kerja

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

© 2021, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

dan peningkatan pendapatan, (3) Melaksanakan kegiatan sesuai dengan ketentuan yang berlaku guna menekan persepsi negatif masyarakat dan rendahnya tingkat kenyamanan sehingga tidak terjadi sikap penolakan dari masyarakat, (4) Peningkatan kualitas sumberdaya manusia guna meminimalisir potensi dampak lingkungan yang disebabkan kesalahan manusia (human error), (5) Menjalin komunikasi yang terbuka dan sinergis dengan masyarakat dan pemerintah (6) Menyediakan GRM (Grievance Redress Mechanism) atau mekanisme pengaduan guna meningkatkan keterlibatan masyarakat dalam proses kegiatan eksplorasi panasbumi WKP Baturraden, (7) Sosialisasi kepada masyarakat atas setiap rencana kegiatan yang memiliki potensi dampak pada masyarakat, (8) Menjalankan program bina sosial/lingkungan seperti ganti untung/gani rugi, mendukung aktifitas sosial masyarakat, dan lain sebagainy

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, R., Hariani, D., Rihandoyo. 2014. Analisis Strategi Pengelolaan Sampah di Kota Semarang. Public Policy and Management Review Vol. 3. Hal. 1-10.

Badan Pengkaji Dampak Lingkungan. 1996. Keputusan Kepala Bapedal Nomor 299 Tahun 1996 tentang Pedoman Teknis Kajian Aspek Sosial dalam Penyusunan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan. Jakarta.

Badan Pusat Statistik. 2020. Kabupaten Banyumas Dalam Angka 2020. Banyumas.

Badan Pusat Statistik. 2020. Kecamatan Cilongok Dalam Angka 2020. Banyumas.

Campolieti, M. 2014. A New Look at Variation in Employment Growth in Canada: The Role of Industry, Provincial, National and External Factors. Economic Dynamics and Control. Vol. 41. Pages 257-275.

Cresswell, J. W. 2010. Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif da Mixed. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.

Fahmi, M. I. 2017. Tolak Pembangkit Listrik Panas Bumi, Masa Duduki Gedung DPRD Banyumas.

Fandeli, C. 2013. Metodologi Analisis Dampak Lingkungan. Institut Teknologi Yogyakarta Press. Yogyakarta.

Hernawan, Y. Musafa, Dewi, S. W. K. 2020. Pengembangan Strategi Bisnis Menggunakan Analisis SWOT di Perkebunan Kopi Palasari Kabupaten Bandung. Business Innovation & Enterpreneurship. Vol. 2. Hal. 54-60.

Ibrahim, Ali. 2018. Sungai Prukut Keruh, Ratusan Ikan Warga Mati.

Johnson, B. Christensen, L. 2012. Educational ResearchL Quantitative, Qualitative and Mixed Approches. SAGE Publications. California.

Kementrian Energi dan Sumber daya Mineral. 2010. Penetapan Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi di Daerah Baturraden, Kabupatn Banyumas, Kabupaten Tgal, Kabupaten Brebes, Kabupaten Purbalingga dan Kabupaten Pemalang, Provinsi Jawa Tengah. Jakarta.

Kolcaba, K. 2003. Comfort Theory and Practice: Vision For Holistic Health Care and Research. Springer Publishing. New York.

Muslihudin, M. Rosyadi, S. Santoso, J. 2019. Sustainable Traditional Gold-Mining Management in Banyumas, Central Java, Indonesia, International Journal of Conservation Science Vol. 10 No. 1. Pages 147-156.

Muslihudin, M. Santosa, I. Setyoko, P.I. Bahtiar, RA. Local Government's Role And Policy On Illegal Mining (Case Study of Gold Mining in Banyumas Indonesia), American Journal of Humanities and Social Science Research (AJHSSR) Vol. 4 No. 2, Pages 275-282.

Nafiri, F. 2010. Studi Pengaruh Pembangunan PLTP Baturaden 220 MW di Gunung Slamet Terhadap Tarif Listrik Regional Jawa Tengah. Institut Teknologi Surabaya. Surabaya.

Oktaviani, M. A. Notobroto, H. B. 2014. Perbandingan Tingkat Konsisteni Normalitas Distribusi Metode Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, Shapiro-Wilk, dan Skewness-Kurtosis. Jurnal Biometrika dan Kependudukan Vol. 3. Pages 127-135.

Pratiwi, C. A., Gunawan, D. S., Istiqomah. 2018. Analisis Ekonomi Usaha Tani Padi dan Kelayakan Rumah Tangga Tani di Desa Sambeng Kulon Kecamatan Kembaran Kabupaten Banyumas. JSEP No. 11. Hal. 33-45.

PT Sejahtera Alam Energi, 2016. Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup (UKL UPL) Perubahan Rencana Kegiatan Eksplorasi Panas Bumi di Wilayah Kerja Baturraden.

Priyadi, S. 2007. Cablaka Sebagai Inti Model Karakter Manusia Banyumas. Diksi No. 14. Hal. 11-18.

Purnomo, B.J. Pichler, T. 2014. Geothermal System on The Island of Java, Indonesia. Journal of Vulcanology and Geotermal Research Vol. 285. Pages 47-59.

Ramadhan, M. F. 2018. Tipologi Situs Megalitik di Lereng Selatan Gunung Slamet: Kajian Keruangan Berdasarkan Satuan Medan. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Ramadhan, M. K. 2015. Implementasi Keterlibatan Masyarakat Dalam Analisis Mengenai Dampak Lingkungan. Universitas Negeri Semarang. Semarang.

Rangkuti, F. 2015. Analisis SWOT: Teknik Membedah Kasus Bisnis. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Suhardi, I. 2013. Budaya Banyumasan Tak Sekedar Dialek (Representasi Budaya Banyumas Dalam Prosa Karya Ahmad Tohari). Wacana Etnik No. 4. Hal. 37-46.

Sulistiani, D. 2014. Analisis SWOT Sebagai Strategi Perusahaan Dalam Memenangkan Persaingan Bisnis. UIN Maulana Malik Ibrahim. Malang.

Sunanto. 2008. Peran Serta Masyarakat Dalam Pencegahan dan Penanggulanagan Kebakaran Lahan. Universitas Diponegoro. Semarang.

Tangkilasan, H. 2003. Manajemen Modern Untuk Sektor Publik. Balairung & CO. Yogyakarta.

Yakin, Sumadi Kamarol. 2017. Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) Sebagai Instrumen Pencegahan Pencemaran dan Perusakan Lingkungan. Badamai Law No. 1. Hal. 113-132.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

© 2021, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Received: Maret 2019	Accepted: April 2019	Published : April 2019

Analisis Kecepatan Angin Pesisir Pantai Monpera Sebagai Sumber Energi Terbarukan Kota Balikpapan

Adhe Yusphie Panca Tentra Sandika[1*], David Christover[2], Mohammad Saiful Rozikin[3], Budiani Fitria Endrawati[4]

[1,2,3,4]*Institut Teknologi Kalimantan, Karang Joang, kota Balikpapan*

[*]*E-mail: tetraskeith01@gmail.com*

Abstract

Balikpapan as one of the cities in East Kalimantan with unique characteristic region of topographic condition consisting coastal area with hilly land that wind potential can be utilized. Based on data from BAPPEDA Balikpapan city explained that the topography of Balikpapan is almost entirely hilly (85%), and the height of area from sea level ranges is 0-80 meters. Characteristics of the region, the height of the area from the sea surface is one of the factors that affected the movement of the existing airflow thus affecting the wind speed generated in coastal city Balikpapan. Based on the phenomenon, became an object of our research to knowing how big the potential of coastal breeze MONPERA to becoming a source of renewable energy. This research uses media *tools to supported in taking research data that is horizontal wind turbine DC 12 / 24V 400W so that will get results of data consists of wind speed, maximum power, real power and total power obtained which the results is the highest wind speed equal to 11,15 knots (5.66 m / s), maximum power is 74,129 Watt, real power is 39,99 Watt, total power is 125,092 Watt and electrical power is 27,18 Watt.*

Keywords: *Balikpapan, Potential, Power, Speed, Wind*

Abstrak

Balikpapan sebagai salah satu kota di Kalimantan Timur, merupakan kota dengan karakteristik wilayah yang cukup unik dengan kondisi topografi wilayah yang terdiri dari daerah pesisir dengan daratan yang berbukit hingga potensi angin yang dapat dimanfaatkan. Berdasarkan data Bappeda kota Balikpapan menjelaskan bahwa topografi Balikpapan yang hampir seluruhnya berbukit (85%), serta ketinggian wilayah kota Balikpapan dari permukaan air laut berkisar 0–80 meter. Karakteristik wilayah, ketinggian daerah dari permukaan laut merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap gerak aliran udara yang ada sehingga mempengaruhi kecepatan angin yang dihasilkan di pesisir kota Balikpapan. Berdasarkan fenomena tersebut, hal ini menjadi sebuah objek penelitian kami dalam mengetahui seberapa besar potensi kecepatan angin di pesisir pantai MONPERA kota Balikpapan untuk menjadi sumber energi terbarukan. Penelitian ini menggunakan media alat yang menunjang dalam pengambilan data penelitian yaitu berupa turbin angin horizontal DC 12/24V 400W sehingga akan didapatkan hasil data berupa kecepatan angin, daya maksimum, daya nyata dan daya total yang diperoleh pada daerah tersebut yaitu kecepatan angin tertinggi sebesar 11.15 knot (5,66 m/s), daya maksimum sebesar 74,129 Watt, daya nyata sebesar 39,99 Watt, daya total sebesar 125,092 Watt dan daya output elektrik sebesar 27,18 Watt.

Kata kunci: Angin, Balikpapan, Daya, Kecepatan, Potensi

PENDAHULUAN

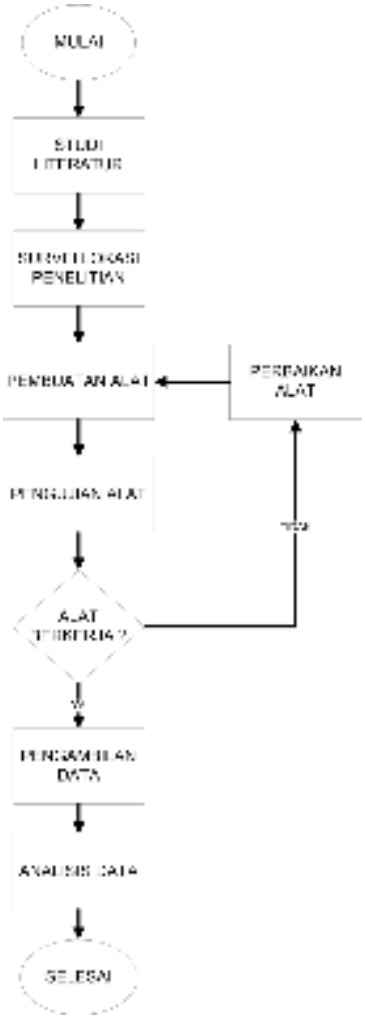
Berdasarkan data Bappeda kota Balikpapan [1] bahwa luas wilayah kelas lereng di kota Balikpapan adalah 0-2% seluas 6.976 Ha, 2-15% seluas 5.709 Ha, 15-40% seluas 12.394 Ha, serta >40% seluas 18.171 Ha.Data tersebut menunjukkan bahwa sebagian besarwilayah Kota Balikpapan mempunyai kelas lereng >40% yakni seluas 18.171 Ha. Kemiringan ini dampak pada topografi Balikpapan yang hampir seluruhnya berbukit (85%), terutama dibagian utara wilayah kota, serta ketinggian wilayah kota Balikpapan dari

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

permukaan air laut berkisar 0-80 meter.Karakteristik wilayah serta ketinggian daerah dari permukaan laut Kota Balikpapan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh pada unsur-unsur curah hujan dan tinggi rendahnya suhu yang ada, sehingga mempengaruhi cuaca serta iklim kota Balikpapan yang tidak menentu. Akibat hal tersebut maka kecepatan angin yang ada di Kota Balikpapan termasuk labil dan memiliki potensi yang tidak menentu untuk digunakan sebagai *renewable energy* (energi terbarukan) sehingga diperlukan adanya penelitian lebih lanjut guna mengetahui hal tersebut [2].

METODOLOGI

Metode penelitian dapat digambarkan pada *FlowChart*, dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. *Flowchart* Metode Penelitian

Pengumpulan Informasi

Metode yang digunakan dalam studi literatur adalah dengan mencari sumber-sumber data dari buku dan jurnal yang berkaitan dalam menunjang pembuatan proposal penelitian tersebut. Instrumen alat kami adalah dengan menggunakan turbin angin *(wind turbine)* 400W 12/24V, *inverter*, sensor dan buku-buku yang berkaitan dengan tema kegiatan penelitian [3].

Survei Lapangan

Dalam penelitian harus dilakukan pengamatan lokasi yang akan dituju yaitu pesisir pantai MONPERA terkait dengan perancangan tepat guna di pesisir pantai yang mempunyai potensi kecepatan angin yang tinggi dan pemakaiannya lebih efisien. Dalam hal ini masalah yang ada adalah kecepatan angin di kota Balikpapan yang tidak menentu, serta untuk mengetahui apakah kecepatan angin kota Balikpapan memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan atau tidak [2].

Pembuatan Media Alat Penelitian

Perakitan alat ini bertujuan untuk mendapatkan mekanisme dan fungsi yang optimal dengan memperhatikan data yang telah didapat berdasarkan hasil observasi. Berikut merupakan komponen yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah:



Gambar 2. Sensor Anemometer Vertikal

Sensor Anemometer Vertikal sebagai alat untuk mengukur kecepatan angin dari segala arah.



Gambar 3. *Arduino Uno*

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Arduino Uno sebagai mikrokontroler yang mengatur seluruh fungsi kerja seluruh sensor yang digunakan.



Gambar 4. Turbin Angin

Turbin angin sebagai sumber pembangkit listrik dan alat utama mengukur daya.



Gambar 5. *Accu 12v 3.5 A*

Aki 12v 3.5 A sebagai baterai penyimpan daya yang dihasilkan oleh turbin angin.



Gambar 6. *Inverter DC to AC 300W*

Inverter berfungsi untuk mengubah arus DC pada aki menjadi arus AC.



Gambar 7. *Micro SD Module*

Micro SD Module berfungsi sebagai media penyimpan data di dalam *SD Card* atau kartu memori.



Gambar 8.*RTC(Real Time Clock)*

RTC sebagai pengatur waktu secara *Real Time.*

Dari komponen tersebut kemudian disatukan hingga membentuk media akhir untuk penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 9. Rangkaian Alat Setelah Disatukan

Proses kerja alat ini adalah dengan memberikan suplai listrik melalui turbin angin untuk disimpan ke dalam baterai/*accu* dan dilengkapi *Inverter DC to AC 300W* digunakan untuk menghidupkan mikrokontroler *Arduino Uno* dan sensor. Sensor yang berupa anemometer vertikal dihidupkan untuk membaca data kecepatan angin melalui mikrokontroler untuk disimpan ke *Micro SD Module* yang diintegrasikan dengan *RTC Module* sebagai pemberi tanda berupa waktu pengambilan setiap data.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi Turbin Angin

Efisiensi pada turbin angin adalah perbandingan antara energi kinetik yang diserap oleh turbin angin terhadap energi kinetik angin yang tersedia dan dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$Cp = \frac{\text{Daya maksimum Turbine}}{\frac{1}{2} * \rho * A * v^3} 100\% \quad (1)$$

$$Cp = \frac{400}{\frac{1}{2} * 1{,}22 * 1{,}13097 * (5{,}66)^3} 100\%$$

$$Cp = 31{,}97\%$$

Keterangan:
Cp = Efisiensi Turbin
ρ = Densitas udara (Kg/m^3)
A = Luas Penampang (m^2)
v = Kecepatan Angin (m/s)

Energi Kinetik

Dikarenakan angin adalah udara yang bergerak maka udara mempunyai massa sehingga energi yang ditimbulkannya dapat dihitung sebagai berikut:

$$Ek = 0{,}5 * M * v^2 \quad (2)$$
$$Ek = 0{,}5 * 15 * (5{,}66)^2$$
$$Ek = 240{,}267\ J$$

Keterangan:
M = massa (kg)

Daya Total Mekanis

Dayatotal aliran angin adalah sebanding dengan tenagakinetik aliran udara yang dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$Ptot = \frac{1}{2Gc} * \rho * A * v^3 \quad (3)$$

$$Ptot = \frac{1}{2 * 1} * 1{,}22 * 1{,}13097 * (5{,}66)^3$$

$$Ptot = 125{,}092\ watt$$

Keterangan:
Gc = Faktor Konversi

Daya Maksimum Mekanis

Daya maksimum angin yang dapat diserapoleh sudu rotor dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$Pmax = \frac{8}{27} * \rho * A * v^3 \quad (4)$$

$$Pmax = \frac{8}{27} * 1{,}22 * 1{,}13097 * (5{,}66)^3$$

$$Pmax = 74{,}129\ watt$$

Daya Nyata Mekanis

Daya nyata adalah daya yang dapat dimanfaatkan oleh turbin untuk dijadikan sebagai energi baru yang dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$P = Cp * Ptot \quad (5)$$

$$P = 31{,}97\ \% * 125{,}092$$

$$P = 39{,}99\ watt$$

Kecepatan Sudut

Selanjutnya adalah menemukan nilai kecepatan sudut turbin dengan asumsi kecepatan putar sebesar 500 rpm adalah sebagai berikut:

$$\omega = \frac{\pi * n}{30} \quad (6)$$

$$\omega = \frac{\pi * 500\ rpm}{30}$$

$$\omega = 52{,}36\ rad/s$$

Keterangan:
ω = Kecepatan Sudut (rad/s)
n = Kecepatan putar (rpm)

Torsi

Semua benda yang berputar selalu terdapat torsi, yaitu gaya yang menyebabkansebuahtetapdapatberputarpad akecepatanputarnya. Setelah menemukan nilai kecepatan sudut, besarnyatorsi dapat diperhitungkandalampersamaan sebagai berikut:

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

$$\tau = \frac{\pi * D * Ptot}{\omega} \quad (7)$$

$$\tau = \frac{\pi * 1{,}2 * 125{,}092}{52{,}36}$$

$$\tau = 9{,}007 \text{ Nm}$$

Keterangan:
D = Diameter (m)

Tip Speed-Ratio

Tip – Speed Ratio (TSR) adalah perbandingan kecepatan angin dengan kecepatan sudu. Lalu untuk kecepatan angin nominal tertentu, TSR akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. TSR dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\pi * D * n}{60v} \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{\pi * 1{,}2 * 771}{60 * 5{,}66}$$

$$\lambda = 8{,}56$$

Keterangan:
n = Kecepatan Putar (rpm)

Tegangan yang Dibangkitkan

Berikutnya adalah menemukan tegangan yang dibangkitkandengan jumlah lilitan per kumparan sebanyak 50 lilitan, frekuensi sebesar 50 Hz, nilai kumparan stator sebanyak 6 buah, jumlah fase sebanyak 1 fase dan nilai fluksnya *neodydmium* N50 sebesar 1,45 Wb/m^2 dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$E_S = 2\pi * f * N * \emptyset * \frac{N_S}{N_{ph}} \quad (9)$$

$$E_S = 2\pi * 50 * 50 * (1{,}45 * 0{,}0004) * \frac{6}{1}$$

$$E_S = 53{,}72 \text{ Volt}$$

Keterangan:
E_S = Tegangan yang dibangkitkan (Volt)
f = Frekuensi (Hz)
N = Jumlah lilitan per kumparan
$\emptyset$ = Nilai fluks *neodydmium* N50 (Wb/m^2)
N_S = Nilai kumparan stator
N_{ph} = Jumlah fase

Daya *Output* Elektrik

Setelah mendapatkan nilai dari kecepatan sudut dan torsi, maka berikutnya adalah menemukan nilai daya *output* dengan nilai arusnya sebesar 0,506 Ampere menggunakan perhitungan sebagai berikut:

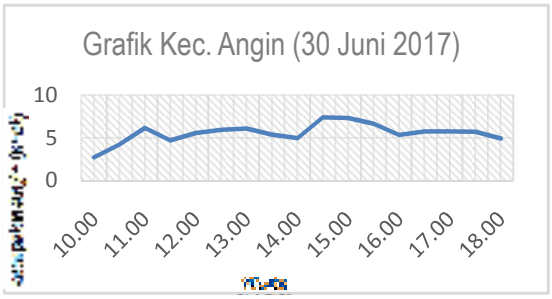
$$Pout = E_S * I \quad (9)$$

$$Pout = 53{,}72 * 0{,}506$$

$$Pout = 27{,}18 \text{ watt}$$

Keterangan:
I = Arus (Ampere)

Kemudian, berdasarkan data yang ditampilkan pada gambar 10 tersebut memberikan penjelasan berupa tingkat kestabilan kecepatan angin selama 9 jam dimana kecepatan angin tersebut lebih seimbang dengan adanya peningkatan dan penurunan pada tiap 1 jam yang memiliki variabel tidak begitu jauh sehingga lebih konsisten. Hal ini sesuai dengan teori pada jurnal penelitian *World Meteorological Organization Instruments And Observing Methods Report No.106* yang menyatakan bahwa hasil data dengan analisis yang akurat membutuhkan tingkat efisiensi dan tingkat konsistensi tertentu dimana jumlah variabel antar data tidak memiliki tingkat yang jauh dan dominan kecil perbedaannya agar memiliki hasil data yang sesuai [4].

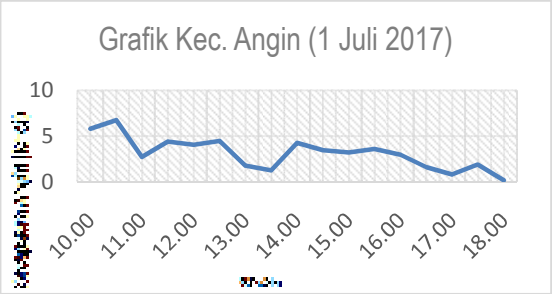


Gambar 10. Data kecepatan angin pada 30 Juni 2017

Data yang ditampilkan pada gambar 11 memberikan penjelasan dengan adanya perubahan signifikan dimana pada gambar tersebut menampilkan adanya tingkat penurunan kecepatan angin yang cenderung menurun dan memiliki tingkat kenaikan yang lebih sedikit perbandingannya namun memiliki variabel yang tidak begitu jauh dan dominan memiliki nilai perbedaan yang kecil. Tingkat dominan penurunan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

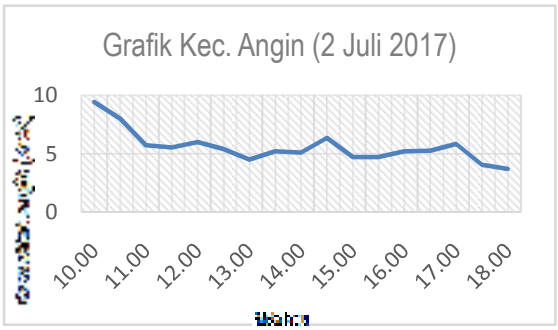
kecepatan angin dengan variabel terjauh hanya terjadi pada pukul 10:00 WITA hingga 11:00 WITA setempat sehingga analisis dari hasil data tersebut masih bisa diterima sesuai dengan teori jurnal penelitian *World Meteorological Organization Instruments And Observing Methods Report No.106* [4].



Gambar 11. Data kecepatan angin pada 1 Juli 2017

Data yang ditampilkan pada gambar 12 memberikan penjelasan yang menyatakan adanya tingkat penurunan signifikan pada pukul 10:00 WITA sampai dengan 11:00 WITA setempat yang kemudian pada jam-jam setelahnya kembali stabil dengan tingkat penurunan dan peningkatan yang seimbang dengan variabel nilai perbedaannya yang cenderung kecil. Jika dibandingkan dengan grafik pada gambar 11, hasil analisis data pada gambar 12 memiliki nilai yang lebih tinggi dan jauh lebih stabil dibandingkan dengan gambar 11 yang cenderung memiliki penurunan tingkat kecepatan angin hingga mendekati nilai nol. Dalam hal ini, perlu diketahui bahwa nilai nol yang didapatkan dalam penelitian tetap dianggap ada atau bernilai dikarenakan nilai variabel nol sangat berpengaruh dalam hasil analisis akhir data yang berupa kesimpulan.

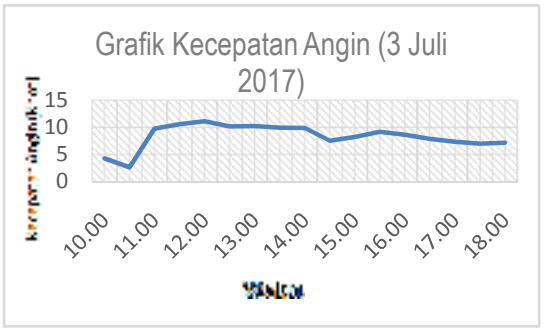
Penjelasan ini juga secara tidak langsung telah didukung dengan berdasarkan teori pada jurnal penelitian milik *World Meteorological Organization Instruments And Observing Methods Report No.106* dan *Guide Meteorological Instruments And Methods Of Observation* yang menyatakan bahwa tingkat *error* suatu data ditentukan saat data tersebut tidak dapat dibaca atau terbaca dari instrumen yang digunakan beserta metodenya, yang hal ini memiliki perbedaan arti jika data yang dimiliki bernilai nol [4] [5].



Gambar 12. Data kecepatan angin pada 2 Juli 2017

Data yang ditampilkan pada gambar 13 memberikan penjelasan berupa adanya penurunan tingkat kecepatan angin pada pukul 10:00 WITA sampai dengan 11:WITA dan mengalami peningkatan kecepatan angin yang sangat signifikan pada pukul 11:00 WITA hingga 11:25 WITA setempat, dimana pada jam-jam setelahnya mengalami kestabilan pada variabel data yang dihasilkan sehingga memiliki tingkat pemerataan pada peningkatan dan penurunan variabel yang cenderung seimbang.

Jika dibandingkan dengan grafik pada gambar 11, grafik pada gambar 13 memiliki peningkatan kecepatan angin jauh lebih tajam serta didahului oleh penurunan tingkat kecepatan angin yang tidak begitu signifikan dan sesuai dengan teori pada jurnal penelitian *World Meteorological Organization Instruments And Observing Methods Report No.106* [4].



Gambar 13. Data kecepatan angin pada 2 Juli 2017

Kemudian, hasil data berupa kecepatan angin dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1. Hasil Data Kecepatan Angin

Hari & Tanggal	Kecepatan Angin (knot)		
	Minimal	Maksimal	Rata-rata
Jumat, 30 Juni 2017	1,9	8,2	5,55
Sabtu, 1 Juli 2017	0	8,4	3,14
Minggu, 2 Juli 2017	3,3	10,8	5,58
Senin, 3 Juli 2017	1,5	11,15	8,36

Berdasarkan pada data tabel 1 maka dapat diperhatikan bahwa pada hari Jum'at kecepatan angin 5,55 knot, lalu pada hari Sabtu kecepatan angin 3,14 knot, kemudian pada hari Minggu kecepatan angin 5,58 knot kondisi cerah dan pada hari Senin kecepatan angin 8,36 knot.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kegiatan penelitian didapatkan berupa data kecepatan angin dan perhitungan daya yang diperoleh pada daerah tersebut, dapat diketahui bahwa kecepatan angin tertinggi yang dihasilkan adalah sebesar 11,15 knot atau 5,66 m/s dengan perolehan daya maksimum mekanis sebesar 74,129 Watt, daya nyata mekanis sebesar 39,99 Watt, daya total mekanis sebesar 125,092 Watt dan daya *output* elektrik sebesar 27,18 Watt.

Hasil penelitian ini didapatkan dengan menggunakan turbin angin horizontal DC 12/24V 400W dengan tinggi tiang penyangga sebesar 3 meter dan diameter sudu sebesar 1,2 meter sehingga masih adanya kemungkinan peningkatan terhadap energi listrik yang dihasilkan jika menggunakan turbin angin horizontal dengan ukuran yang lebih besar dan lebih tinggi serta pemasangan yang dilakukan secara merata di kota Balikpapan.

SARAN

Untuk penelitian selanjutnya, diperlukan setidaknya minimal 4 turbin angin jenis horizontal dengan spesifikasi yang sama agar didapatkan korelasi yang tepat mengenai kecepatan angin dengan listrik yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian tersebut tidak akan mendapatkan hasil yang sesuai jika tanpa adanya bantuan dari dosen pembimbing dan teman seperjuangan Institut Teknologi Kalimantan demi tujuan bersama yaitu penelitian dengan kebermanfaatan yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. "*Analisa Penyusun Kecepatan Angin Kota Balikpapan"*. Balikpapan (2015).
[2] Badan Perencanaan Pembangunan Daerah. "*Kajian Energi Terbarukan Di Kota Balikpapan*". Balikpapan (2015).
[3] Kalmikov, Alex. *"Wind Power Fundamentals"*. MIT University (2010).
[4] World Meteorological Organization. "*World Meteorological Organization Instruments And Observing Methods Report No.106"*. Geneva 2, Switzerland (2011).
[5] World Meteorological Organization. "*Guide Meteorological Instruments And Methods Of Observation"*. Geneva 2, Switzerland (2011).

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

ANALISIS KINERJA *SOLAR CELL* DI GEDUNG PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA, KETENAGALISTRIKAN, ENERGI BARU DAN TERBARUKAN DAN KONSERVASI ENERGI

[1]Putriansyah, [2]Massus Subekti, [3]Imam Arif Rahardjo
[1,2,3] Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta
[1,2,3] Email : ansyahputri@gmail.com ; masus@unj.ac.id ; imam_ar@unj.ac.id

Abstract

The purpose of this research is knowing the number of performance of solar cell on Annex Building, Human Resources Development, Electricity, Renewable Energy and Concervation Energy Center. The research is conducted on Annex Building by measuring the photovoltaic module and the inverter and conducted in December 2018. The researcher used the qualitative method approach descriptive of evaluation. The results of the research represent that the photovoltaic modules's efficiency is 6.65%. The average of net energy output yield is 32.61 kWh and the power rating is 15.4 kW, so therefore the final photovoltaic yield is 2.12 hours. The total of daily in-plane irradiance is 4.65 kWh/m^2 and the reference irradiance is 1 kW/m^2, so therefore the reference yield is 4.65 hours. The performance ratio is 0.47 or 47%. The conclusion of this research is the value of photovoltaic module's efficiency is still under rating efficiency which is 13.4%, it is because of the fluctuating values of the solar irradiance. The value of performance ratio is smaller than normally range which is 0.6 - 0.8.

Keywords: *Performance analysis, solar cell, renewable energy, concervation of energy, and PPSDM KEBTKE*

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai kinerja dari *solar cell* di Gedung Annex Pengembangan Sumber Daya Manusia, Ketenagalistrikan, Energi Baru dan Terbarukan dan Konservasi Energi. Penelitian dilakukan di Gedung Annex dengan cara pengukuran pada modul surya dan inverter dan dilakukan pada bulan Desember 2018. Metode yang digunakan adalah metode kualitatif dengan pendekatan deskriptif evaluasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai effisiensi modul surya rata-rata adalah 6,65%. Energi netto *output* yang dihasilkan rata-rata adalah 32,61 kWh dan kapasitas nominal PLTS adalah 15,4 kW, sehingga nilai final sistem PLTS menjadi 2,12 jam. Jumlah irradiansi total perhari rata-rata yang terukur adalah 4,65 kWh/m^2 dengan nilai irradiansi referensi adalah 1 kW/m^2, sehingga nilai *reference yield* menjadi 4,65 jam. Sehingga nilai perhitungan rasio performa (PR) yang didapat adalah 0,47 atau 47%. Kesimpulan, nilai effisiensi modul surya berada di bawah nilai effisiensi pada *nameplate* modul surya yaitu 13,4% dikarenakan nilai irradiansi matahari yang dihasilkan berubah-ubah sesuai dengan pergeseran letak matahari dan nilai PR masih dinilai rendah, karena PR pada umumnya bernilai 0,6 - 0,8 atau 60% - 80%.

Kata kunci: Analisis kinerja, *solar cell*, energi terbarukan, konservasi energi, PPSDM KEBTKE

PENDAHULUAN

Pemakaian energi tidak terbarukan seperti minyak bumi, gas bumi dan batubara adalah sumber energi terbesar di Indonesia. Pemakaian energi yang berlebihan tersebut akan menyebabkan masalah ketersediaan sumber energi. Menurut Hodgson (2010), sebagian energi yang digunakan dan dihasilkan oleh sumber energi tidak terbaukan seperti batubara, minyak bumi dan gas bumi akan menimbulkan masalah ketika sumber energinya telah habis. Hal ini disebabkan karena proses terbentuknya energi tersebut membutuhkan waktu yang sangat lama dan belum pasti terjadi dalam waktu jutaan tahun.

Saat ini pemanfaatan energi terbarukan/ *renewable energy* sedang digalakkan untuk dapat mengurangi pemakaian energi tidak terbarukan. Energi terbarukan ini disebut juga sebagai energi alternatif. Di Indonesia, energi terbarukan yang banyak digunakan saat ini antara lain adalah matahari, angin, biomassa, air dan panas bumi.

Selain menggunakan energi yang dapat diperbaharui, pencarian energi yang bersih juga harus dilakukan untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan. Salah satu energi yang dapat diperbaharui dan termasuk energi bersih adalah energi matahari/surya. Matahari merupakan sumber energi terbesar. Sinar matahari dapat digunakan untuk memanasi, memberi penerangan dan menghasilkan listrik.

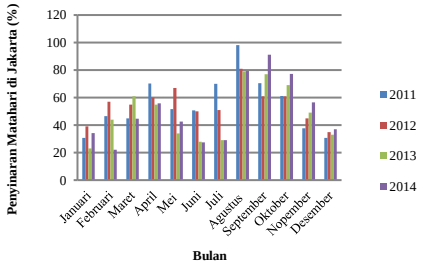
Menurut Hamdi, potensi tenaga matahari di Indonesia dalam menerima matahari harian persatuan luas ±4,8 kW/m^2. Penerimaan radiasi energi matahari di Indonesia lebih kecil

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dibandingkan dengan Australia Tengah, Amerika Tengah, sebagian negara di Eropa (> 6,0 kW/m^2), Arab Saudi, Mesir dan beberapa negara di Afrika (5,5 kW/m^2). Namun, Indonesia menerima radiasi sepanjang tahun dengan waktu siang tahunan lebih panjang terhadap negara-negara subtropis (Hamdi, 2016: 245).

Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia, Ketenagalistrikan, Energi Baru dan Terbarukan dan Konservasi Energi (PPSDM KEBTKE) adalah suatu badan pengembangan Sumber Daya Manusia di bawah naungan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Badan pengembangan SDM Kementerian ESDM ini diharapkan dapat mewujudkan keamanan sumber daya pasokan energi yang optimal, peningkatan efisiensi energi terbarukan untuk masyarakat yang tidak mampu, serta menjaga kelestarian fungsi lingkungan hidup dalam rangka mendukung pembangunan skala nasional. PPSDM KEBTKE mengembangkan studi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk mengembangkan potensi energi terbarukan yang bersih tanpa emisi gas CO_2.

PPSDM KEBTKE mengunakan energi surya untuk membantu suplai daya di gedung-gedungnya sebagai wujud pemanfaatan pemakaian energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan. Pemakaian energi surya untuk pembangkitan energi listrik khususnya di Gedung Annex dimulai sejak 2012, pembangunan PLTS di Gedung Annex dirancang dengan kapasitas 15.400 Wp atau 15,4 kWp dengan sistem off grid. Luas total PLTS di Gedung Annex adalah 114,8 m^2. PLTS di Gedung Annex digunakan untuk sistem penerangan di lantai 1 dan lantai 2 pada Gedung Annex dengan total beban 4 kW.



Gambar 1.1. Data Penyinaran Matahari di Jakarta
Sumber: http://data.jakarta.go.id

Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2018. Berdasarkan data penyinaran matahari di Jakarta, pada Desember penyinaran matahari rata-rata pertahun hanya 33,95%, dimana pada Desember termasuk bulan dengan intensitas penyinaran terendah dibandingkan dengan Agustus, September dan Oktober. Persentase penyinaran matahari tahunan tersebut akan mempengaruhi nilai irradiansi yang dihasilkan oleh *solar cell* yang kemudian akan mempengaruhi hasil produksi *solar cell*.

Hasil produksi final dari *solar cell* akan mempengaruhi nilai dari kinerja *solar cell*. Pada penelitian ini, peneliti bertujuan mengetahui nilai kinerja dari *solar cell* yang sebelumnya tidak diketahui. Perhitungan nilai kinerja atau rasio performa pada *solar cell* yang dilakukan dengan pengambilan sampel 4 hari, akan berfungsi untuk mengidentifikasi kegagalan pada komponen.

Perhitungan rasio performa yang digunakan mengacu pada standar IEC 61724. Nilai kinerja dari *solar cell* tersebut akan sangat dipengaruhi oleh nilai irradiansi matahari yang ditangkap oleh *solar cell*. Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis tertarik meneliti "Analisis Kinerja *Solar Cell* di Gedung Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia, Ketenagalistrikan, Energi Baru dan Terbarukan dan Konservasi Energi".

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif dengan pendekatan deskriptif evaluasi. Data hasil penelitian akan menggambarkan kinerja dari solar cel di Gedung Annex PPSDM KEBTKE, kemudian data tersebut akan dievaluasi sesuai dengan standar IEC 61724.

Instrumen penelitian yang digunakan berupa data pengukuran irradiansi matahari, arus yang dihasilkan oleh modul surya dan tegangan yang dihasilkan oleh modul surya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

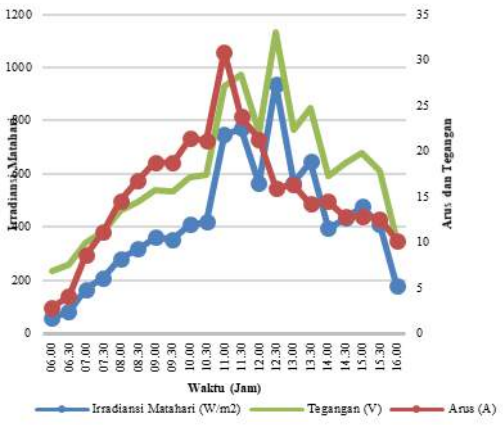
Hasil Pengukuran Modul Surya

Pengukuran dilakukan dengan mengambil sampel pada 8 Desember 2018 dengan data pada tabel 4.1.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Modul Surya

No.	Waktu	Irradiansi Matahari (W/m^2)	Arus (A)	Tegangan (V)
1	06.00	61	2,9	174,5
2	06.30	83	4,1	174,6
3	07.00	166	8,6	175,6
4	07.30	209	11,2	176,3
5	08.00	283	14,6	176,7
6	08.30	318	16,8	177,7
7	09.00	362	18,8	178,2
8	09.30	355	18,7	178,1
9	10.00	411	21,4	178,8
10	10.30	419	21,2	178,7
11	11.00	747	30,9	181,3
12	11.30	772	23,8	201,3
13	12.00	564	21,3	192,3
14	12.30	938	16,0	197,0
15	13.00	567	16,3	197,4
16	13.30	646	14,2	203,6
17	14.00	396	14,5	197,9
18	14.30	434	12,8	207,5
19	15.00	477	12,9	202,7
20	15.30	410	12,6	202,4
21	16.00	181	10,2	175,7



Gambar 4.1. Grafik Irradiansi Terhadap Arus dan Tegangan

Hasil Perhitungan Daya Input Modul Surya

Perhitungan daya input menggunakan rumus :

P_{in} = Irradiansi matahari x Luas modul surya

$P_{in}\ 06.00 = 61\ {}^{W}/_{m^2} \times 114{,}8\ m^2 = 7.002{,}8\ W$

$P_{in}\ 07.00 = 166\ {}^{W}/_{m^2} \times 114{,}8\ m^2 = 19.056{,}8\ W$

$P_{in}\ 08.00 = 283\ {}^{W}/_{m^2} \times 114{,}8\ m^2 = 32.488{,}4\ W$

$P_{in}\ 09.00 = 362\ {}^{W}/_{m^2} \times 114{,}8\ m^2 = 41.557{,}6\ W$

$P_{in}\ 10.00 = 411\ {}^{W}/_{m^2} \times 114{,}8\ m^2 = 47.182{,}8\ W$

$P_{in}\ 11.00 = 747\ {}^{W}/_{m^2} \times 114{,}8\ m^2 = 85.755{,}6\ W$

1. **Hasil Perhitungan Effisiensi Modul Surya**

Perhitungan effisiensi modul surya dilakukan dengan rumus :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Dimana didapat nilai Pout rata-rata dalam sehari adalah 3.021,11 W dan Pin rata-rata dalam sehari adalah 656,94 W. Maka effisiensi modul surya dalam sehari rata-rata adalah :

$$\eta = \frac{656{,}94\ W}{3.021{,}11} \times 100\% = 6{,}65\%$$

2. **Hasil Perhitungan Performa Rasio/Nilai Unjuk Kerja Solar Cell**

Tabel 4.2. Sistem PLTS 15,4 kW di Gedung Annex

No.	Jam	Irradiansi Matahari (G) (W/m^2)	Ppv,max (W)	Ppv (W)
1	06.00	61	939,4	506,1
2	07.00	166	2.556,4	1.510,1
3	08.00	283	4.358,2	2.579,8
4	09.00	362	5.574,8	3.350,2
5	10.00	411	6.329,4	3.826,3
6	11.00	747	11.503,8	5.602,2
7	12.00	564	8.685,6	4.096
8	13.00	567	8.731,8	3.217,6
9	14.00	396	6.098,4	2.869,6
10	15.00	477	7.345,8	2.614,8
11	16.00	181	2.787,4	1.792,4

$$Y_f = \frac{31{,}97\ kWh}{15{,}4\ kW} = 2{,}08\ jam$$

$$Y_f = \frac{4{,}22\ kWh/m^2}{1\ kW/m^2} = 4{,}22\ jam$$

$$PR = \frac{2{,}08}{4{,}22} = 0{,}493\ atau\ 49{,}3\%$$

Nilai rasio performa pada Gedung Annex dinilai masih kurang baik yaitu 0,493 atau 49,3% jika mengacu kepada standar nilai rasio

ISSN 25489-178

performa yang baik yaitu 0,6 - 0,8 atau 60% - 80%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Nilai irradiansi matahari mengalami perubahan sesuai dengan kondisi cuaca pada hari tersebut dan perubahan tersebut mempengaruhi nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh modul surya.
2. Nilai effisiensi modul surya rata-rata adalah 6,65%, nilai tersebut tidak mencapai nilai effisiensi maksimal pada modul surya. Hal tersebut dikarenakan nilai irradiansi matahari yang ditangkap oleh modul surya berubah-ubah sepanjang hari dan durasi pengukuran yang tidak *real time*.
3. Hasil final sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya menunjukkan nilai 2,12 jam untuk PV array jika beroperasi pada daya nominal untuk energi yang sama. Nilai ekuivalen pada irradiansi referensi adalah 4,65 jam.
4. Rasio performa yang dihasilkan adalah 47%. Nilai rasio performa tersebut masih berada di bawah nilai pada umumnya, yaitu 60% - 80%. Hal ini dapat disebabkan karena komponen baterai yang sudah terisi penuh, sehingga energi yang didapatkan oleh modul surya tidak dapat disimpan lagi oleh baterai.

SARAN

Berdasarkan pembahasan dari hasil perhitungan dan kesimpulan yang didapat, peneliti memiliki saran sebagai berikut:

1. Melakukan perawatan dan pemeliharaan rutin pada modul surya di Gedung Annex PPSDM KEBTKE.
2. Menjadwalkan pengecekan berkala pada tiap-tiap komponen PLTS di Gedung Annex PPSDM KEBTKE.

DAFTAR PUSTAKA

_____. 2017. *Performance Ratio,* https://www.solarserver.com/knowledge/lexicon/p/performance-ratio.html, diakses pada 5 Agustus 2018.

Hamdi. 2016. *Energi Terbarukan*. Edisi Pertama. Jakarta: Kencana.

Jubilee Enterprisee. 2010. *Teknik Menghemat Baterai*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.

Kho, Didin. 2018. *Pengertian Sel Surya (Solar Cell) dan Prinsip Kerjanya*, https://teknikelektronika.com/pengertian-sel-surya-solar-cell-prinsip-kerja-sel-surya/, diakses pada 26 Juli 2018.

Luque, Antoni, Steven Hegedus, ed. 2003. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. England: John Wiley & Sons Ltd.

Ramadhan, Anwar Ilman, dkk. 2016. *Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP*. Teknik. 37(2): 59-63.

Rusman. 2015. *Pengaruh Variansi Beban Terhadap Efisiensi Solar Cell Dengan Kapasitas 50 WP*. Turbo. 4(2): 84-90.

Sunaryo, Joko Setiono. 2014. *Analisis Daya Listrik yang Dihasilkan Panel Surya Ukuran 216 Cm x 121 Cm Berdasarkan Intensitas Cahaya*. Simposium Nasional Teknologi Terapan. 2: M29-M37.

Winasis, dkk. 2014. Evaluasi Unjuk Kerja Sistem Photovoltaic 12 KWp Pada Pembangkit Listrik Hibrida Surya - Angin Pantai Baru Bantul. Prosiding Seminar Nasional Teknik: 114-119.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PEMANFAATAN ENERGI ALTERNATIF SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN UNTUK MENDUKUNG SUBTITUSI BBM

Imam Kholiq
Fakultas Teknik - Universitas Wijaya Putra Surabaya Jawa Timur Indonesia
Jln.Raya 1-3Benowo
Email : kholiqimam@gmail.com

ABSTRACT

Energy represent requirement of human being base, what increasing in line with its life storey; level. Oil fuel/fossil energy represent one the source energy having the character of do not newly (non sources energy renewable) which during the time representing pledge to fulfill requirement of energi in all activity sector. Properties of resource of energy in Indonesia, that is water power (Hydropower), hot earth, earth gas, coal, peat, biomassa, biogas, wind, sea energy, sun and other can be exploited as alternative energy, replacing depended to oil fuel, what limited progressively goodness sum up and its reserve. Oil fuel hold very dominant position in accomplishment requirement of energi in country. Have to realize in this time Indonesia have imported crude oil and also oil fuel to fulfill requirement.Crisis of Energy which knock over world affect, world crude oil price height, having an effect on direct to activity of economics. Properties of resource energy, specially the source of new and new energy which we have, require to difikirkan to be exploited as alternative energi, replacing and lessening role of oil fuel in consumption of energi in Indonesia. On that pattern, Body Research and Development of University of wijaya Putra doing research with activity of Analysis Exploiting Of Resource of Energi Alternative To Is Ready of Energi Society in Indonesia, upon which policy of management of exploiting of resource of energi existing. Energy terbarukan To support BBM subtitusi

Keywords:Renewable energy Sustainability, Subtitusi BBM

ABSTRAK

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengantingkat kehidupannya. Bahan bakar minyak/energi fosil merupakan salah satu sumberenergi yang bersifat tak terbarukan (non renewable energy sources) yang selama inimerupakan andalan untuk memenuhi kebutuhan energi di seluruh sektor kegiatan.Kekayaan sumber daya energi di Indonesia, yaitu tenaga air (Hydropower), panasbumi, gas bumi, batubara, gambut, biomassa, biogas, angin, energi laut, matahari danlainnya dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif, menggantikan ketergantunganterhadap bahan bakar minyak, yang semakin terbatas baik jumlah dan cadangannya. Bahan bakar minyak memegang posisi yang sangat dominan dalam pemenuhankebutuhan energi di dalam negeri. Harus disadari saat ini Indonesia telah mengimporminyak mentah maupun bahan bakar minyak untuk memenuhi kebutuhan tersebut.Krisis energi yang melanda dunia berdampak, tingginya harga minyak mentah dunia,berpengaruh langsung terhadap kegiatan perekonomian. Kekayaan sumber dayaenergi, khususnya sumber energi baru dan terbarukan yang kita miliki, perlu dipikirkan untuk dimanfaatkan sebagai energi alternatif, menggantikan danmengurangi peran bahan bakar minyak dalam konsumsi energi di Indonesia. Dalam rangka itu, Badan Penelitian dan Pengembangan Universitas wijaya Putramelakukan penelitian dengan kegiatan Analisis Pemanfaatan Sumber Daya EnergiAlternatif Untuk Penyediaan Energi Masyarakat di Indonesia, sebagai bahankebijakan pengelolaan pemanfaatan sumber daya energi yang ada.EnergiTerbarukanuntuk mendukung subtitusi BBM.

Keywords: Renewable energySustainability,Subtitusi BBM

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengantingkat kehidupannya. Bahan bakar minyak (BBM) memegang posisi yang sangatdominan dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional. Komposisi konsumsi energinasional saat ini adalah BBM : 52,50%; Gas: 19,04%; Batubara: 21,52%; Air:3,73%; Panas Bumi: 3,01%; dan Energi Baru: 0,2%. Kondisi demikian terjadisebagai akibat dari kebijakan subsidi masa lalu terhadap bahan bakar minyak dalamupaya memacu percepatan pertumbuhan ekonomi.Suatu kenyataan yang tidak dapat dipungkiri bahwa produksi minyak bumi Indonesiamengalami penurunan akibat adanya penurunan secara alamiah dan semakinmenipisnya cadangan. Menurunnya produksi minyak mentah kita dan tingginya hargaminyak mentah dunia sangat berpengaruh terhadap kemampuan anggaranpembangunan. Selama ini bahan bakar minyak di Indonesia masih disubsidi olehnegara (melalui APBN), sehingga menjadi beban yang sangat berat bagi pemerintah.Untuk mengurangi beban subsidi tersebut pemerintah berusaha mengurangiketergantungan kepada energi bahan bakar minyak, dengan mencari danmengembangkan sumber energi lain yang murah dan mudah didapat.Harus disadari bahwa saat ini Indonesia telah mengimpor minyak mentah maupunBBM untuk memenuhi kebutuhan konsumsi dalam negeri. Hingga saat ini sumberenergi minyak bumi masih menjadi sumber energi utama didalam penggunaannyaterutama dalam bidang kelistrikan, industri dan transportasi. Ditengah krisis energisaat ini timbul pemikiran untuk penganekaragaman energi (diversifikasi energi)dengan mengembangkan sumber energi lain sebagai energi alternatif untukpenyediaan konsumsi energi domestik.Indonesia memiliki beranekaragam sumber daya energi, sepertiminyak dan gas bumi, panas bumi (geothermal), batubara, gambut, energi air, biogas,biomassa, matahari, angin, gelombang laut dan lain lain. Potensi sumber daya energitersebut tersebar diseluruh daerah diIndonesia menurut karekteristik dankondisi geologinya. Secara umum dalam pemakaian/konsumsi energi di Indonesiamasih mengandalkan dan bergantung pada sumber daya energi minyak bumi. Kondisireal menunjukkan bahwa sumber daya energi minyak bumi akan habis dan memilikiketerbatasan baik persediaan dalam bentuk cadangannya. Disisi lain permintaansumber daya energi tersebut semakin meningkat menyebabkan harga minyaksemakin tinggi sehingga mempunyai potensi pasar ekspor yang tinggi. Seharusnyaminyak bumi dapat diandalkan sebagai sumber pemasukan bagi pendapatan negaradan hanya sebagai energi untuk keperluan tertentu yang secara teknologi harusmenggunakan bahan bakar minyak.Energi listrik sebagai energi sekunder sangat populer digunakan diseluruh sektorkegiatan. P.T. Perusahaan Listrik Negara (Persero) sebagai badan usaha milik negara,menyelenggarakan tugas negara melakukan penyediaan dan pelayanan tenaga listrik,dalam membangkitkan tenaga listrik masih banyak menggunakan sumber daya energiminyak bumi. Suatu kondisi bahwa, perkembangan teknologi menunjukkan bahwahampir seluruh peralatan rumah tangga, perkantoran, perhotelan dan peralatanperalatanlainnya menggunakan energi listrik yang kesemua tersebut bergantung padabahan bakar minyak. Sementara teknologi konversi energi untuk pembangkit listriktelah banyak ditemukan dengan berbagai skala dan kapasitas seperti energi sumberdaya air (PLTA), energi sumber daya nuklir (PLTN), energi sumber daya panas bumi(Geothermal), energi biodisel dan lain sebagainya.Ketergantungan pemanfaatan kepada minyak bumi ini tidak dapat dibiarkan, karenakebutuhan energi terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan jumlah penduduk,meningkatnya industrialisasi dan perkembangan teknologi yang serba canggih danmutakhir seperti pada saat sekarang ini. Komposisi penggunaan energi yang terlalubersandar pada bahan bakar minyak harus segera dipikirkan dengan jalanmenganekaragamkan penggunaan sumber daya energi (diversifikasi energi) yangberbasis pada potensi dan kebutuhan yang ada pada saat ini. Dalam upaya tersebutperlu diketahui besaran penggunaan energi persektor kegiatan, jenis sumber dayaenergi yang dapat digunakan, jenis pemanfaatan dan penggunaan energi, teknologipenggunaan energi, lokasi/penyebaran kegiatan penggunaan energi.

Pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan perlu dikembangkan mengingatperan dan harga BBM terus meningkat dan melambung tinggi sebagai penggantiuntuk penyedia energi yang berkesinambungan. Berbagai cara yang dilakukan untukmengetahui potensi sumber daya energi yang dapat dikembangkan di Indonesia,salah satunya adalah dengan melakukan pendataan. Berdasarkan data yang diperolehdapat ditentukan langkah serta strategi dalam pemanfaatan dan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pengelolaan seluruhpotensi sumber kekayaan alam terutama sumber daya energi yang ada untukpenyediaan kebutuhan energi pada wilayah tertentu dan jenis kegiatan, sehinggadapat ditetapkan strategi pemanfaatannya. Penganekaragaman penggunaan energidengan memanfaatkan sumber daya energi setempat, diharapkan dapat mengurangiketergantungan pada sumber daya energi minyak bumi, sehingga dalam pemanfaatandan pengelolaan sumber daya energi minyak bumi harus benar-benar kepada yangmembutuhkannya terutama yang menjadi skala prioritas.Namunimplementasi sumber energi terbarukansangat penting untuk segera dimulai. Dibawah ini dibahas secara singkat berbagaisumber energi terbarukan tersebut. Mengapa energi terbarukan? EnergiTerbarukan harus segera dikembangkansecara nasional bila tetap tergantungan energi fosil, ini akan menimbulkansetidaknya tiga ancaman serius yakni:

1) Menipisnya cadangan minyak bumi yangdiketahui (bila tanpa temuan sumurminyak baru)
2) Kenaikan/ketidakstabilan harga akibatlaju permintaan yang lebih besar dariproduksi minyak, dan
3) Polusi gas rumah kaca (terutama CO2)akibat pembakaran bahan bakar fosil.

Kadar CO2 saat ini disebut sebagaiyang tertinggi selama 125,000 tahunbelakangan [2]. Bila ilmuwan masihmemperdebatkan besarnya cadanganminyak yang masih bisa dieksplorasi, efekburuk CO2 terhadap pemanasan global telahdisepakati hampir oleh semua kalangan. Halini menimbulkan ancaman serius bagikehidupan makhluk hidup di muka bumi.Oleh karena itu, pengembangan danimplementasi bahan bakar terbarukan yangramah lingkungan perlu mendapatkanperhatian serius.

1.2 Model Penyediaan Energi

Model penyediaan energi akan mengalokasikan berbagaisumber energi primer untuk memenuhi kebutuhan energi.Asumsi penting yang dimasukkan ke dalam model penyediaanenergi adalah:

- Pasokan dan kebutuhan gas bumi mengikuti BukuNeraca Gas Indonesia 2012-2025 (KementerianESDM), sedangkan untuk 2026-2030 mengikutitrend gas delivery. Ekspor gas bumi juga mengikutiBuku Neraca Gas Indonesia dan mempertimbangkan adanya impor gas sampai tahun 2030.
- Cadangan batubara dan minyak bumi mengikuti datadari Kementerian ESDM dengan status Januari 2012.Cadangan minyak yang dipertimbangkan adalahcadangan terbukti. Sedangkan cadangan batubarayang dipertimbangkan adalah cadangan tertambangdan cadangan terukur.
- Harga minyak mentah berdasarkan data tahun 2013sebesar 105 $/barel untuk harga saat ini (currentprice): dan diasumsikan naik secara linier menjadi 126$/barel pada tahun 2035.
- Pengembangan CBM berdasarkan data dari IATMI(Ikatan Ahli Teknik Perminyakan Indonesia) yangdipresentasikan dalam *The 5th International IndonesiaCBM 2014*.
- Teknologi coal to liquid (CTL) yang dipertimbangkan:proses indirect coal liquefaction dengan kapasitasproduksi 50 ribu barel/hari.
- Penambangan kilang minyak baru berdasarkan PetaInfrastruktur Kilang dari Direktorat Jenderal Migas,Kementerian ESDM tahun 2012 yang terdiri ataskilang minyak Plaju II, Balongan II, dan Tuban yangmasing-masing dengan kapasitas 300 ribu barel/hari.
- Pembangkit listrik *super-critical boiler* untuk PLTUbatubara 1000 MW di wilayah Jawa dimanfaatkanmulai tahun 2018.
- LNG receiving terminal dipertimbangkan.
- Biaya produksi pembangkit listrik hanya didasarkanpada keekonomiannya.
- Konservasi energi di sisi kebutuhan maupun disisi penyediaan sudah dipertimbangkan melaluipemanfaatan teknologi yang efisien.

1.3 Pemutakhiran Data

Data-data penting yang digunakan dalam buku ini adalahsebagai berikut:

- Cadangan terbukti minyak bumi sebesar 3,74 miliarbarel berdasarkan data Kementerian ESDM tahun2012.
- Cadangan terbukti gas bumi sebesar 103,35 TCFberdasarkan data KementerianESDM tahun 2012.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

- Cadangan batubara sebesar 28,9 miliar tonberdasarkan data dari Kementerian ESDM tahun 2012
- Sumberdaya CBM (Coal Bed Methane) sebesar 453TCF berdasarkan data dari Ditjen Migas, KementerianESDM dan dari IATMI.Sumber daya dan cadangan panas bumi sudahdiperhitungkan per wilayah dengan total sebesar29 GW berdasarkan data Kementerian ESDM tahun2012.
- Potensi tenaga air sudah diperhitungkan per wilayahdengan total sebesar 26,3 GW berdasarkan *masterplan study for hydro power development in Indonesia*dari Nippon Koei tahun 2011.
- Pengembangan kelistrikan nasional berdasarkanStatistik Ketenagalistrikan 2013 dan Statistik EBTKE2013 dari Kementerian ESDM serta RUPTL 2013-2022dari PT. PLN (Persero).
- Kebijakan batubara berdasarkan kebijakan untukmembangun ketahanan dan kemandirian energi dariDitjen Minerba, Kementerian ESDM tahun 2012.
- Kapasitas dan produksi kilang minyak Dumai-SP, Musi,Cilacap, Balongan, Balikpapan dan Kasim diperolehdari hasil kunjungan ke Pertamina bulan April 2012.

1.3.1 Skenario Dasar

- Tahun dasar yang digunakan sebagai acuan dalammodel adalah tahun 2012 dengan kurun waktuproyeksi 2013-2035.
- Pembahasan dalam buku ini menggunakan duaskenario yaitu skenario dasar dan skenario tinggiserta satu kasus, yaitu pengembangan energi untukmendukung program substitusi BBM.
- Pada skenario dasar sudah mempertimbangkansubstitusi minyak tanah ke LPG, realisasi programpercepatan pembangunan pembangkit listrik 10.000MW tahap pertama untuk pembangkit berbahanbakar batubara, dan tahap kedua untuk mendorongpenggunaan EBT.
- Pada skenario dasar pertumbuhan PDB diasumsikanakan meningkat sejalan dengan target pertumbuhanPDB dari Bappenas pada kurun waktu 2015-2019untuk skenario business as usual. Pada kurun waktutersebut pertumbuhan PDB meningkat rata-ratasebesar 6% per tahun. Pertumbuhan PDB untukkurun waktu 2020-2035 mengikuti tahun-tahunsebelumnya.

1.3.2 Skenario Tinggi

- Pada skenario tinggi, asumsi yang digunakan samadengan skenario rendah kecuali pertumbuhanekonomi.
- Pada skenario tinggi pertumbuhan PDB diasumsikanakan meningkat sejalan dengan target Bappenastahun 2015-2019 untuk skenario comprehensivereform.Pada kurun waktu tersebut pertumbuhanPDB meningkat rata-rata sebesar 7% per tahun.Pertumbuhan PDB untuk kurun waktu 2020-2035mengikuti tahun-tahun sebelumnya.
- Skenario dasar dan tinggi keduanya sudahmempertimbangkan upaya untuk melepaskan diridari jebakan negara berpendapatan menengah(middle income trap). Indonesia harus mencapaipendapatan per kapita 12.616 dolar dalam beberapatahun mendatang untuk dapat menjadi negara maju.Pemerintah perlu mendorong produktivitas nasionalmelalui peningkatan inovasi pada teknologi dan tidaklagi bergantung pada produksi sumber daya alamdan upah buruh yang rendah.

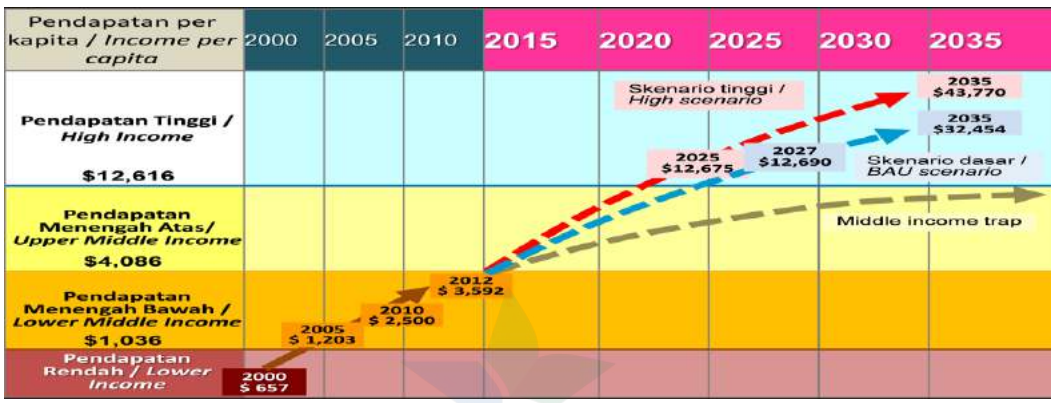
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1.1 Asumsi untuk skenario dasar dan skenario tinggi

Keterangan / *Note*	Satuan / *Unit*	Tahun / *Year*					
		2012	*2015*	*2020*	*2025*	*2030*	*2030*
Populasi / Population	Juta / *Million*	245.4	255.4	271.0	284.8	296.4	305.6
Pertumbuhan rata-rata / *Average growth*	%/tahun *%/year/*	1.40	1.40	1.19	1.19	0.08	0.08
Harga Minyak / *Crude Oil Price*	USD/barrel						
	Constant 2010	107.0	94.4	86.3	83.7	81.1	78.7
	%/tahun */%/year*	112.7	104.9	105.1	111.8	118.9	126.4
Harga Batubara / *Coal Price*	USD/ton						
	Constant 2010	90.7	72.5	74.5	76.5	78.5	80.7
	USD/barrel						
Harga LNG/*LNG Price*	USD/MMBTU						
	Constant 2010	15.9	13.8	10.4	9.9	9.8	9.6
	Current Price	16.7	15.3	12.6	13.3	14.3	15.4
Skenario Rendah / *Business as Usual (BAU) Scenario*							
PDB / *GDP*	Triliun Rupiah/ *Trillion Rupiah*						
	Constant 2010	2,619	3,110	4,431	6,620	9,795	14,193
	Current Price	8,229	11,636	22,057	43,323	84,271	160,542
Pertumbuhan PDB /*GDP Growth*	%/tahun *%/year*	6.2	6.1	8.0	8.4	8.0	7.5

1.3.3 Kasus

Kasus pengembangan energi untuk mendukung program substitusi BBM akan membahas pengembangan energi alternatif untuk mengurangi penggunaan BBM baik di sektor transportasi maupun sektor industri. Pembahasan akan meliputi prospek biodiesel sebagai bahan bakarpengganti solar, pengembangan perkebunan energi berbasis kelapa sawit, prospek CNG sebagai bahan bakar pengganti bensin dan prospek pengembangan bioetanol.



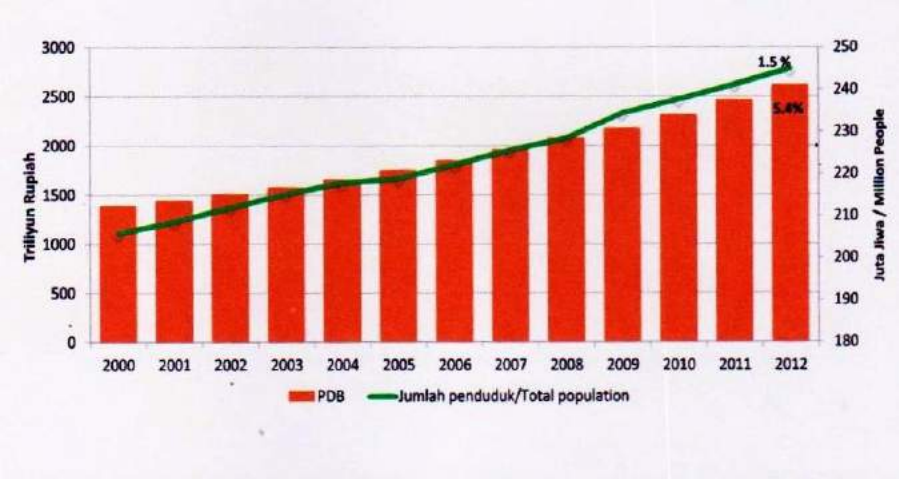
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 1. Asumsi pertumbuhan ekonomi (Data Bank Dunia 2013 dan asumsi sendiri)

BAB 2. KONDISI DAN PERMASALAHAN ENERGI SAAT INI

2.1 Produk Domestik Bruto dan Penduduk

Jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2012 mencapai245 juta jiwa atau meningkat rata-rata sebesar 1,51% pertahun sejak tahun 2000. Pada saat ini sekitar 54% penduduktinggal di wilayah perkotaan. Sedangkan produk domestikbruto (PDB) pada tahun 2012 mencapai 2.619 triliun rupiah(harga konstan tahun 2000) dengan laju pertumbuhanPDB rata-rata selama 12 tahun terakhir mencapai 5,4%.Pada tahun 2012, pertumbuhan ekonomi nasionalmencapai sebesar 6.3% per tahun yang lebih rendah daripertumbuhan pada tahun 2011 yakni sebesar 6.5%.Pendapatan per kapita meningkat dari 6,7 juta rupiahper kapita pada tahun 2000 menjadi 34,1 juta Rupiahper kapita pada tahun 2012. Berdasarkan kriteria BankDunia, Indonesia pada tahun 2012 termasuk negaraberpendapatan menengah bawah dengan pendapatansebesar 3,592 dolar per kapita.

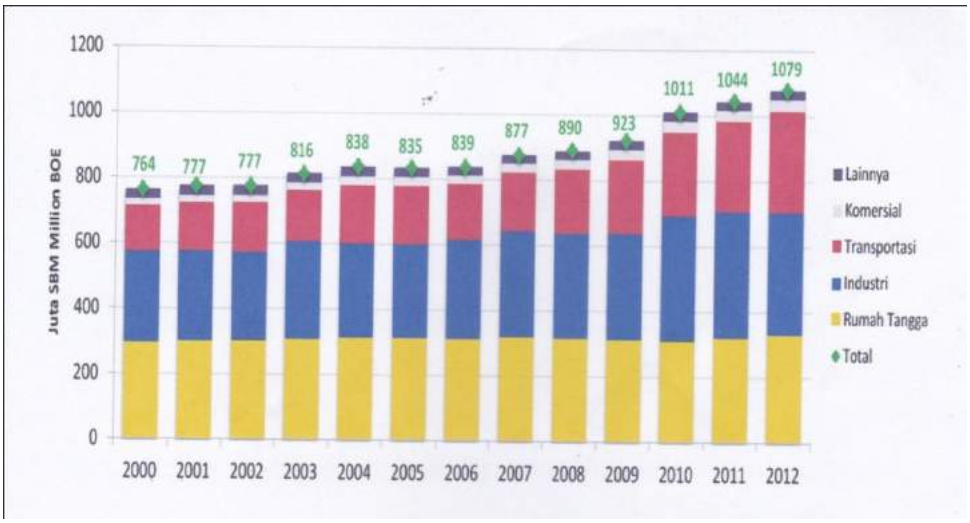


Gambar 2. Jumlah penduduk dan produk domestik bruto

2.2.1 Konsumsi Energi Final per Sektor

Konsumsi energi final (termasuk biomasa) pada kurun waktu 2000-2012 meningkat dari 764 juta SBM pada tahun 2000 menjadi 1.079 juta SBM pada tahun 2012 atau meningkat rata-rata 2,91% per tahun. Konsumsi energi final tersebut tidak mempertimbangkan other petroleumproducts, seperti pelumas, aspal, dan lainnya, di sektor industri. Pada tahun 2012 pangsa terbesar penggunaan energi adalah sektor industri (34,8%) diikuti oleh sektor rumah tangga (30,7%), transportasi (28,8%), komersial (3,3%), dan lainnya (2,4%). Selama kurun waktu 2000-2012, sektortransportasi mengalami pertumbuhan terbesar yang mencapai 6,92% per tahun, diikuti sektor komersial (4,58%), dan sektor industri (2,51%). Sedangkan untuk pertumbuhan di sektor rumah tangga hanya sebesar 0,92%, dan sektor lainnya mengalami penurunan sebesar 0,94%. Tingginya laju pertumbuhan konsumsi energi final di sektor transportasi disebabkan pesatnya pertumbuhan kendaraan bermotor dari kurun waktu 2000-2012 yang mencapai sekitar 14,3% per tahun. Sektor rumah tangga mempunyai pertumbuhan konsumsi energi yang rendah karena terjadi perubahan penggunaan peralatan dan teknologi yang lebih efisien serta beralihnya penggunaan kayu bakar digantikan penggunaan energi komersial seperti LPG dan listrik.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

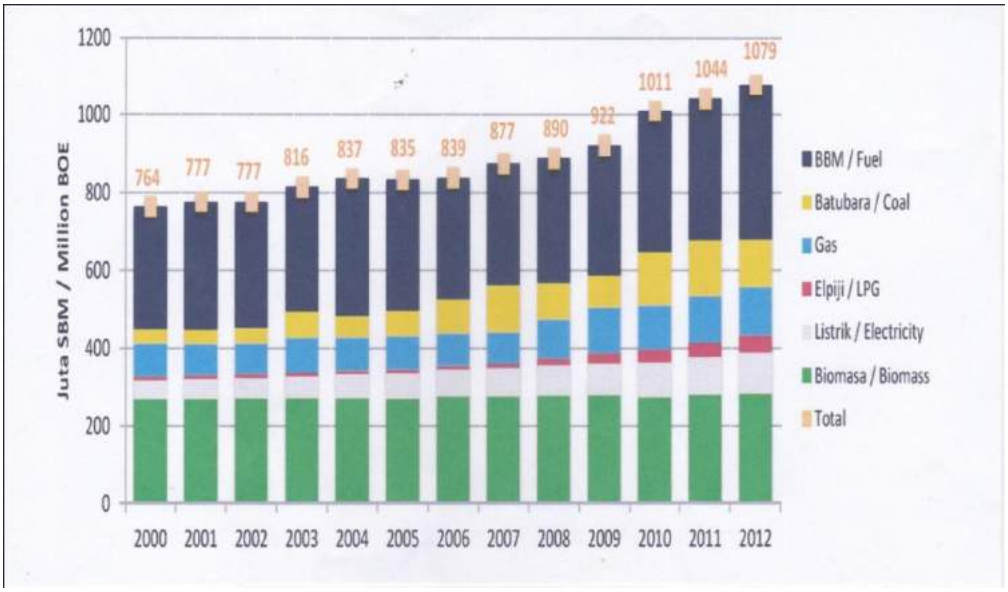


Gambar 2. Konsumsi energi final per sektor

2.2.2 Konsumsi Energi Final Per Jenis

Konsumsi energi final menurut jenis selama tahun 2000-2012 masih didominasi oleh BBM (avtur, avgas, bensin, minyak tanah, minyak solar, minyak diesel, dan minyak bakar). Selama kurun waktu tersebut, total konsumsi BBM meningkat dari 315 juta SBM pada tahun 2000 menjadi398 juta SBM pada tahun 2012 atau meningkat rata-rata 1,9% per tahun. Pada tahun 2000, konsumsi minyak solar termasuk minyak diesel mempunyai pangsa terbesar (42%) disusul minyak tanah (23%), bensin (23%), minyak bakar (10%), dan avtur (2%). Selanjutnya pada tahun 2012urutannya berubah menjadi bensin (50%), minyak solar (37%), avtur (7%), minyak tanah (4%), dan minyak bakar(2%).Perubahan pola konsumsi BBM tersebut disebabkan oleh tingginya laju konsumsi bensin kendaraan pribadi, tingginya laju konsumsi avtur/avgas oleh pesawat udara,terjadinya diversifikasi energi di sektor industri, dan adanya program substitusi minyak tanah dengan LPG di sektor rumah tangga. Konsumsi batubara meningkat pesat dari 36,1 juta SBMpada tahun 2000 menjadi 123 juta SBM pada tahun 2012 atau meningkat rata-rata 9.9% per tahun. Seluruh batubara tersebut digunakan untuk memasok kebutuhan energi sektor industri, terutama untuk industri semen, industri tekstil, serta industri kertas. **Konsumsi gas bumi meningkat dari 87,2 juta SBM pada** tahun 2000 menjadi 125,3 juta SBM pada tahun 2012 dengan laju pertumbuhan rata-rata 2,8% per tahun. Keterbatasan infrastruktur transmisi dan distribusi gas nasional menyebabkan pasokan gas bumi untuk memenuhi kebutuhan industri terbatas. Konsumsi listrik dalam kurun waktu tahun 2000-2012 mengalami pertumbuhan rata-rata 6,2% per tahun, masih lebih rendah dibanding batubara (9,9%), dan LPG (13,5%). Hal ini menyebabkan rasio elektrifikasi nasional masih 75,8% pada tahun 2012 yang berarti 24,8% penduduk Indonesia belum dialiri listrik. Kondisi ini menunjukkanbahwa tingkat elektrifikasi Indonesia masih rendah jika dibandingkan dengan negara-negara ASEAN lain seperti Singapura 100%, Malaysia 99,4%, Filipina 89,7%, dan Vietnam 97,6%.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 3. Konsumsi energi final per jenis

2.4.1 Potensi Sumber Daya Energi Fosil

Energi fosil yang terdiri atas batubara, minyak, dan gas merupakan sumber daya energi yang utama di Indonesia. Sebagian besar dari sumber daya maupun cadangan batubara yang dapat ditambang berada di wilayah Sumatera dan Kalimantan, terutama Sumatera Selatan dan Kalimantan Timur. Antara 2011-2012 terjadi penurunan sumberdaya batubaradari 120 milliar ton menjadi 119 milliar ton, sementara cadangannya bertambah dari 28 milyar ton menjadi 29 milyar ton. Dengan tingkat produksi batubara 353 juta ton pada 2011 dan 386 juta ton pada 2012, maka rasio cadangan terhadap produksi (R/P) batubara tersebut turun dari 79 pada tahun 2011 menjadi 75 tahun pada tahun 2012 Pada tahun 2011, total cadangan minyak Indonesia sebesar 7,73 milyar barel yang terdiri atas sekitar 4,04 miliar barel cadangan terbukti (proven) dan 3,69 miliar barel cadangan potensial. Pada 2012, total cadangan minyak tersebumenurun menjadi 7,41 milyar barel yang terdiri atas 3,74milyar barel cadangan terbukti dan 3,67 milyar barel cadangan potensial.
Berdasarkan tingkat produksi minyak bumi sebesar 329juta barel pada 2011 dan 315 juta barel pada2012, rasio cadangan produksi (R/P) minyak bumi adalah sekitar 12 tahun baik pada 2011maupun 2012. Sumber cadangan minyak tersebut sebagian besar berada di luar Jawa, terutama di Sumatera yang mencapai pangsa lebih dari 60 persen. Cadangan minyak lainnya tersebarantara lain di Kalimantan, Papua, Sulawesi, dan Maluku. Lebih dari 8 persen dari cadangan minyak tersebut berada di Kalimantan. Sementara cadangan minyak di Jawa mencapai sekitar 21 persen dari total cadangan nasional.Total cadangan gas bumi pada 2011 mencapai sekitar 153 TSCF yang terdiri dari cadangan terbukti sebesar 105 TSCF dan cadangan potensial lebih dari 48 TSCF. Total cadangangas tersebut pada 2012 cenderung menurun mencapai 151 TSCF yang terdiri atas 103 TSCF cadangan terbukti dan 47 TSCF cadangan potensial. Dengan Tingkat produksi gasbaik gas ikutan (associated) maupun gas bukan ikutan (non associated) mencapai 3,26 TCF pada 2011 dan 3,17 TCF pada 2012, rasio cadangan produksi gas mencapai secaraberurutan meningkat 32 tahun pada 2011 dan 33 tahun pada 2012.Sumber daya gas tersebut umumnya berada di luar Jawa,terutama di Sumatera termasuk Natuna yang mencapaihampir 56 persen. Cadangan gas di luar Jawa lainnya tersebar di Papua, Kalimantan, Maluku, dan Sulawesi yang masing-masing memiliki cadangan gas secara berurutan 16%, 11%, 10%, dan hampir 2%. Sementara itu di Jawa, cadangan gasnya hanya sekitar delapan persen dari totalcadangan gas Indonesia. Berdasarkan rasio cadangan produksi sumber energifosil tersebut, potensi pemanfaatan batubara merupakan yang paling tinggi, yaitu sekitar 75 tahun lagi akan habis, sedangkan potensi gas masih dapat bertahan sampai hampir 33 tahun lagi. Minyak merupakan sumber energi fosil yang potensinya paling kecil, yaitu masih dapatdimanfaatkan hanya sekitar 12 tahun lagi, bila tidak ditemukan cadangan baru.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Total cadangan gas bumi pada 2011 mencapai sekitar 153TSCF yang terdiri dari cadangan terbukti sebesar 105 TSCF dan cadangan potensial lebih dari 48 TSCF. Total cadangangas tersebut pada 2012 cenderung menurun mencapai 151 TSCF yang terdiri atas 103 TSCF cadangan terbukti dan 47 TSCF cadangan potensial. Dengan Tingkat produksi gas baik gas ikutan (associated) maupun gas bukan ikutan (non associated) mencapai 3,26 TCF pada 2011 dan 3,17 TCF pada 2012, rasio cadangan produksi gas mencapai secara berurutan meningkat 32 tahun pada 2011 dan 33 tahunpada 2012.Sumber daya gas tersebut umumnya berada di luar Jawa,terutama di Sumatera termasuk Natuna yang mencapai hampir 56 persen. Cadangan gas di luar Jawa lainnya tersebar di Papua, Kalimantan, Maluku, dan Sulawesi yang masing-masing memiliki cadangan gas secara berurutan 16%, 11%, 10%, dan hampir 2%. Sementara itu di Jawa,cadangan gasnya hanya sekitar delapan persen dari total cadangan gas Indonesia.Berdasarkan rasio cadangan produksi sumber energifosil tersebut, potensi pemanfaatan batubara merupakan yang paling tinggi, yaitu sekitar 75 tahun lagi akan habis, sedangkan potensi gas masih dapat bertahan sampai hampir 33 tahun lagi. Minyak merupakan sumber energi fosil yang potensinya paling kecil, yaitu masih dapat dimanfaatkan hanya sekitar 12 tahun lagi, bila tidak ditemukan cadangan baru.

Tabel 2. Potensi sumber daya energi fosil 2011-2012 (CDIEMR, 2012; 2013)

Jenis Energi / *Energy Type*	Tahun / *Year*	Cadangan potensial / *Potential Reserve*	Cadangan Terbukti / *Proven Reserve*	Total
Minyak Bumi (Miliar Barel) / *Oil (Billion Barrel)*	2011 2012	3.69 3.67	4.04 3.74	7.73 7.41
Gas Bumi (TSCF) / *Gas (TSCF)*	2011 2012	48.18 47.35	104.71 103.35	152.89 150.70
		Sumber Daya / *Resource*	Cadangan / *Reserve*	
Batubara (Miliar Ton) / *Coal (Billion Ton)*	2011 2012	120.33 119.42	28.01 28.97	

3. ENERGI TERBARUKAN UNTUK MENDUKUNG SUBTITUSI BBM

3.1 Langkah-Langkah Kebijakan

Kebijakan Energi Terbarukan dilaksanakan melalui :

3.1.1 Konservasi Energi

Mendorong pemanfaatan energisecara efisien dan rasional tanpamengurangi penggunan energi yang benarbenardiperlukan.

- Konservasi di sisi pembangkit, yangdidahului oleh audit energi
- Mengurangi pemakaian listrik yangbersifat konsumtif, keindahan,kenyamanan
- Mengganti peralatan yang tidak effisien
- Mengatur waktu pemakaian peralatanlistrik

3.1.2 Diversifikasi Energi

Upaya penganekaragaman penyediaandan pemanfaatan berbagai sumberenergi dalam rangka optimasi penyediaanenergi. Dalam rangka diversifikasi,penggunaan energi dari non-renewableenergy resources ke renewable energyresources, misalnya:

1. Menggagas upaya mengganti BBMdengan Bio-diesel (Bio-Solar) dan Bio-Etanol
2. Mendorong pembangunan PLT mikrohidro di pedesaan
3. Mengurangi peran pembangkit BBM danmenggantikannya dengan pembangkit non-BBM (campuran 10 persen biodiesel dan 90persen solar) menjadi Rp 2.400 per liter,suatu harga yang tidak terlalu tinggi untukbahan bakar yang lebih ramah lingkungan.Dengan kebutuhan solar Indonesiasekitar 23 juta ton per tahun (7,2 juta ton didiimpor), penggunaan B-10 akanantaranya memerlukan 2,3 juta ton biodiesel, atausetara dengan 2,415 juta ton CPO yangdapat dihasilkan dari

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sekitar 700.000 hakebun kelapa sawit, dan dapat menghidupisekitar 350.000 keluarga petani kelapasawit, dengan asumsi kepemilikan lahanseluas 2 ha per keluarga. Banyakkeuntungan dari pemakaian biodiesel.Jenis bahan bakar ini tidakmengandung sulfur dan senyawa benzeneyang karsinogenik, sehingga biodieselmerupakan bahan bakar yang lebih bersihdan lebih mudah ditangani dibandingkandengan solar. Perbedaan antara biodieseldan solar terutama pada komposisinya.Biodiesel terdiri dari metil ester asam lemaknabati, sedangkan solar adalah hidrokarbon.Pada dasarnya tidak perlu adamodifikasi mesin diesel apabila bahanbakarnya menggunakan biodiesel. Biodieselbahkan mempunyai efek pembersihanterhadap tangki bahan bakar, injektor danslang. Biodiesel tidak menambah efekrumah kaca seperti halnya solar, karenakarbon yang dihasilkan masih dalam sikluskarbon.Energi yang dihasilkan olehbiodiesel serupa dengan solar, sehinggaengine torque dan tenaga kuda yangdihasilkan juga serupa. Selain itu biodieselmenghasilkan tingkat pelumasan mesinyang lebih tinggi dibandingkan dengan solar.Sumber : Suara Pembaruan (20/6/05)

3.1.3 Intensifikasi Energi

Upaya pencarian sumber energibaru agar dapat meningkatkan cadanganenergi guna dimanfaatkan menghasilkantenaga listrik Pembangunan PLT Angindengan lokasi tersebar (2 unit diharapkanselesai 2006, dan 10 unit selesai setelah2006) Pembangunan PLT Hybrid di daerahterpencil.

3.1.4 Prospek Biodiesel dan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Pengganti Solar dan Bensin (BBM)

Pemerintah mempercepat pemanfaatan biodiesel denganmeningkatkan target mandatori pemanfaatan biodieseldi seluruh sektor (transportasi PSO dan non PSO, industri,komersial, dan pembangkit listrik) melalui perubahanterhadap Peraturan Menteri ESDM 32/2008. DenganPeraturan Menteri ESDM 25/2013 dengan target mandatoriyang lebih tinggi. Pada tahun 2015 target biosolar padatransportasi PSO dari 5% menjadi 10%, Industri dari 10%menjadi 20% dan listrik dari 15% menjadi 30%. Pada tahun2014 ditargetkan subtitusi mencapai 4 juta kl, sehinggadalam satu tahun ke depan diharapkan terjadi penurunanimpor BBM jenis solar dengan penghematan devisa sebesar3.1 juta dolarPemerintah mempercepat pemanfaatan biodiesel dengan meningkatkan target mandatori pemanfaatan biodieseldi seluruh sektor (transportasi PSO dan non PSO, industri,komersial, dan pembangkit listrik) melalui perubahanterhadap Peraturan Menteri ESDM 32/2008. DenganPeraturan Menteri ESDM 25/2013 dengan target mandatoriyang lebih tinggi. Pada tahun 2015 target biosolar padatransportasi PSO dari 5% menjadi 10%, Industri dari 10%menjadi 20% dan listrik dari 15% menjadi 30%. Pada tahun2014 ditargetkan subtitusi mencapai 4 juta kl, sehinggadalam satu tahun ke depan diharapkan terjadi penurunanimpor BBM jenis solar dengan penghematan devisa sebesar3.1 juta dolar.

3.2 Potensi Sumber EnergiTerbarukan di Indonesia

3.2.1 Energi Panas Bumi

Sebagai daerah vulkanik, wilayahIndonesia sebagian besar kaya akan sumberenergi panas bumi. Jalur gunung berapimembentang di Indonesia dari ujung PulauSumatera sepanjang Pulau Jawa, Bali, NTT,NTB menuju Kepulauan Banda, Halmahera,dan Pulau Sulawesi. Panjang jalur itu lebihdari 7.500 km dengan lebar berkisar 50-200 km dengan jumlah gunung api baik yangaktif maupun yang sudah tidak aktifberjumlah 150 buah. Berdasarkan penelitianyang telah dilakukan di sepanjang jalur itu,terdapat 217 daerah prospek panas bumi.Potensi energi panas bumi totaladalah 19.658 MW dengan rincian di PulauJawa 8.100 MW, Pulau Sumatera 4.885MW, dan sisanya tersebar di PulauSulawesi dan kepulauan lainnya. Sumberpanas bumi yang sudah dimanfaatkan saatini adalah 803 MW. Biasanya data energipanas bumi dapat dikelompokkan ke dalamdata energi cadangan dan energi sumber.Biaya investasi ada dua macam. Pertamabiaya eksplorasi dan pengembangansebesar 500-1.000 dollar AS/kW:1. Kedua, biaya pembangkit sebesar 1.500dollar/kW (kapasitas 15 MW), 1.200dollar/kW (kapasitas 30 MW), dan 910dollar/kW (kapasitas 55 MW).2. Untuk biaya energi dari panas bumiadalah 3-5 sen/kWh.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

3.2.2 Energi Air

Indonesia memiliki potensi besaruntuk pengembangan pembangkit listriktenaga air. Itu disebabkan kondisi topografiIndonesia bergunung dan berbukit sertadialiri oleh banyak sungai dan daerahdaerah tertentu mempunyai danau/wadukyang cukup potensial sebagai sumber energiair.Pembangkit listrik tenaga air (PLTA)adalah salah satu teknologi yang sudahterbukti (proven), tidak merusak lingkungan,menunjang diversifikasi energi denganmemanfaatkan energi terbarukan,menunjang program penguranganpemanfaatan BBM, dan sebagian besarmemakai kandungan lokal.Besar potensi energi air di Indonesiaadalah 74.976 MW, sebanyak 70.776 MWada di luar Jawa, yang sudah termanfaatkanadalah sebesar 3.105,76 MW sebagianbesar berada di Pulau Jawa.Pembangunan setiap jenispembangkit listrik didasarkan padakelayakan teknis dan ekonomis dari pusatlistrik serta hasil studi analisis mengenaidampak lingkungan.Sebagai pertimbangan adalahtersedianya sumber energi tertentu, adanyakebutuhan (permintaan) energi listrik, biayapembangkitan rendah, serta karakteristikspesifik dari setiap jenis pembangkit untukpendukung beban dasar (base load) ataubeban puncak (peak load)Selain PLTA, energi mikrohidro(PLTMH) yang mempunyai kapasitas 200-5.000 kW potensinya adalah 458,75 MW,sangat layak dikembangkan untukmemenuhi kebutuhan tenaga listrik di daerahpedesaan di pedalaman yang terpencilataupun pedesaan di pulau-pulau kecildengan daerah aliran sungai yang sempit.Biaya investasi untuk pengembanganpembangkit listrik mikrohidro relatif lebihmurah dibandingkan dengan biaya investasiPLTA. Hal ini disebabkan adanyapenyederhanaan standar konstruksi yangdisesuaikan dengan kondisi pedesaan.Biaya investasi PLTMH adalah lebih kurang2.000 dollar/kW, sedangkan biaya energidengan kapasitas pembangkit 20 kW (ratarata yang dipakai di desa) adalah Rp 194/kWh.

3.2.3 Energi Tumbuhan (Bio Energi)

3.2.3.1 Energi Tumbuhan

Tahun 2025 menargetkanpenggunaan bahar bakar alternatif biofuelsebesar dua puluh lima persen. Target limapersen dicapai tahun 2010, meningkatmenjadi 20 persen pada tahun 2020, dan25 persen pada tahun 2025

a. Alkohol.

Pada tahun 1995 DepartemenPertambangan dan Energi melaporkandalam Rencana Umum PengembanganEnergi Baru dan Terbarukan bahwa produksi etanol sebagai bahan baku tetes mencapai35-42 juta liter per tahun.Jumlah itu akan mencapai 81 juta liter per tahun bila seluruh produksi tetesdigunakan untuk membuat etanol. Saat inisebagian dari produksi tetes tebu Indonesiadiekspor ke luar negeri dan sebagian lagidimanfaatkan untuk keperluan industri selainetanol.

b. Biodiesel

Akhir tahun 2004 luas totalperkebunan kelapa sawit di Indonesia telahmencapai 5,3 juta hektare (ha) denganproduksi minyak kelapa sawit (crude palmoil/CPO) sebesar 11 juta ton. Perkembanganperkebunan sawit ini masih terus berlanjutdan diperkirakan dalam lima tahunmendatang Indonesia akan menjadiprodusen CPO terbesar di dunia dengantotal produksi sebesar 15 juta ton per tahun.Salah satu produk hilir dari minyaksawit yang dapat dikembangkan diIndonesia adalah biodiesel yang dapatdigunakan sebagai bahan bakar alternatif,terutama untuk mesin diesel.Dengan semakin tingginya hargaminyak bumi akhir-akhir ini, sudah saatnyaapabila Indonesia mulai mengembangkanbiodiesel, baik untuk konsumsi dalam negerimaupun untuk ekspor. Harga biodieselmurni sangat bergantung pada harga CPOyang selalu berfluktuasi. Untuk skala besar,pada harga CPO US$ 400 per ton, hargabiodiesel diperkirakan mencapai sekitarUS$ 560 per ton, sehingga harga B-10(campuran 10 persen biodiesel dan 90persen solar) menjadi Rp 2.400 per liter,suatu harga yang tidak terlalu tinggi untukbahan bakar yang lebih ramah lingkungan.Dengan kebutuhan solar Indonesiasekitar 23 juta ton per tahun (7,2 juta ton diantaranya diimpor), penggunaan B-10 akanmemerlukan 2,3 juta ton biodiesel, atausetara dengan 2,415 juta ton CPO yangdapat dihasilkan dari sekitar 700.000 hakebun kelapa sawit, dan dapat menghidupisekitar 350.000 keluarga petani kelapasawit, dengan asumsi kepemilikan lahanseluas 2 ha per keluarga. Banyakkeuntungan dari pemakaian biodiesel.Jenis bahan bakar ini

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

tidakmengandung sulfur dan senyawa benzeneyang karsinogenik, sehingga biodieselmerupakan bahan bakar yang lebih bersihdan lebih mudah ditangani dibandingkandengan solar. Perbedaan antara biodiesel dan sola terutama pada komposisinya.Biodiesel terdiri dari metil ester asam lemaknabati, sedangkan solar adalah hidrokarbon.Pada dasarnya tidak perlu adamodifikasi mesin diesel apabila bahanbakarnya menggunakan biodiesel. Biodieselbahkan mempunyai efek pembersihanterhadap tangki bahan bakar, injektor danslang. Biodiesel tidak menambah efekrumah kaca seperti halnya solar, karenakarbon yang dihasilkan masih dalam sikluskarbon.Energi yang dihasilkan olehbiodiesel serupa dengan solar, sehinggaengine torque dan tenaga kuda yangdihasilkan juga serupa. Selain itu biodieselmenghasilkan tingkat pelumasan mesinyang lebih tinggi dibandingkan dengan solarSumber : Suara Pembaruan (20/6/05)

c. Biomassa/Biogas

Biomassa merupakan sumberenergi primer yang sangat potensial diIndonesia, yang dihasilkan dari kekayaanalamnya berupa vegetasi hutan tropika.Biomassa bisa diubah menjadi listrik ataupanas dengan proses teknologi yang sudahmapan. Selain biomassa seperti kayu, darikegiatan industri pengolahan hutan,pertanian dan perkebunan, limbah biomassa(Tabel 2) yang sangat besar jumlahnyapada saat ini juga belum dimanfaatkandengan baik.Munisipal solid waste (MSW) di kota-kotabesar merupakan limbah kota yangutamanya adalah berupa biomassa, menjadimasalah yang serius karena mengganggulingkungan adalah potensi energi yang bisadimanfaatkan dengan baik.Limbah biomassa padat dari sektorkehutanan, pertanian, dan perkebunanadalah limbah pertama yang palingberpotensi dibandingkan misalnya limbahlimbah padi, jagung, ubi kayu, kelapa,kelapa sawit dan tebu. Besarnya potensilimbah biomassa padat di seluruh Indonesiaadalah 49.807,43 MW.Dengan pemutakhiran teknologibudidaya tanaman, dimungkinkanpengembangan hutan energi untukpengadaan biomasa sesuai dengankebutuhan dalam jumlah yang banyak danberkelanjutan.Selain limbah biomassa padat, energibiogas bisa dihasilkan dari limbah kotoranhewan, misalnya kotoran sapi, kerbau,kuda, dan babi juga dijumpai di seluruhprovinsi Indonesia dengan kuantitas yangberbeda-beda.Pemanfaatan energi biomassa danbiogas di seluruh Indonesia sekitar 167,7MW yang berasal dari limbah tebu danbiogas sebesar 9,26 MW yang dihasilkandari proses gasifikasi. Biaya investasibiomassa adalah berkisar 900 dollar/kWsampai 1.400 dollar/kW dan biayaenerginya adalah Rp 75/kW-Rp 250/kW.

3.2.4 Energi Samudra/Laut

Di Indonesia, potensi energi samudra/laut sangat besar karena Indonesia adalahnegara kepulauan yang terdiri dari 17.000pulau dan garis pantai sepanjang 81.000km, terdiri dari laut dalam , laut dangkal.dan sekitar 9.000 pulau-pulau kecil yangtidak terjangkau arus listrik Nasional, danpenduduknya hidup dari hasil laut.Dengan perkiraan potensi semacamitu, seluruh pantai di Indonesia dapatmenghasilkan lebih dari 2 ~ 3 Terra WattEkwivalensi listrik, diasumsikan 1% daripanjang pantai Indonesia (~ 800 km) dapatmemasok minimal ~16 GWatt atau samadengan pasokan seluruh listrik di Indonesiatahun 2005.Energi samudra ada empat macam,yaitu energi panas laut, energi pasang surut,energi gelombang, energi arus laut. Prinsipkerja masing-masing :

.

3.2.5 Sel Bahan Bakar ("*Fuel Cell*")

Bahan baku utama sebagai sumber energi sel bahan bakar adalah gas hidrogen.Gas hidrogen dapat langsung digunakan dalam pembangkit energi listrik dan mempunyai kerapatan energi yang tinggi.Beberapa alternatif bahan baku seperti methane, air laut, air tawar, dan unsur-unsur yang mengandung hidrogen dapat pula digunakan namun diperlukan sistem pemurnian sehingga menambah jumlah *system cost* pembangkitnya. Biayainvestasi belum bisa diketahui karena masihbanyak penelitian yang

1. Energi panas laut yaitu dengan menggunakan beda temperatur antara temperatur di permukaa laut dan temperatur di dasar laut.
2. Energi pasang surut dengan menggunakan beda ketinggian antara laut pasang terbesar dan laut surut terkecil.
3. Energi gelombang adalah dengan menggunakan besar ketinggian gelombang dan panjang gelombang.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4. Energi arus laut prinsip kerjanya persis sama dengan turbin angin.

Dengan menggunakan turbin akan dihasilkan energi listrik.Potensi energi panas laut di Indonesia bisa menghasilkan daya sekitar 240.000 MW, tetapi secara teknologi, pembangkit listrik tenaga laut belum dikembangkan dandikuasai sedangkan untuk energi pasang surut dan energi gelombang masih sulit diprediksi karena masih banyak ragam penelitian yang belum bisa didata secara rinci.Keempat energi samudra di atas di Indonesia masih belum terimplementasikan karena masih banyak faktor sehingga sampai saat ini masih taraf wacana dan penelitian penelitian. Biaya investasi belum bisa diketahui di Indonesia tetapiberdasarkan uji coba di beberapa negara industri maju adalah berkisar 9 sen/kWh hingga 1sen/kWh sangat bervariasi yang belum bisa dipakai sebagai patokan.

3.2.6 Angin

Secara umum Indonesia masuk kategori negara tanpa angin, mengingatbahwa kecepatan angin minimum rata-rata yang secara ekonomis dapat dikembangkan sebagai penyedia jasa energi adalah 4m/dt. Kendatipun demikian ada beberapa wilayah dimana sumber energi angin kemungkinan besar layak dikembangkan.Wilayah tersebut antara lain Nusa Tenggara Timur (NTT), Nusa Tenggara Barat (NTB),Sulawesi Selatan dan Tenggara, Pantai Utara dan Selatan Jawa dan Karimun Jawa. Skala pemanfaatan Tenaga anginpada umumnya dikelompokkan dalam skalakecil, menengah dan besar.

3.2.7 Surya

Berdasarkan data penyinaranmatahari yang dihimpun dari 18 lokasi diIndonesia menunjukan bahwa radiasi suryadi Indonesia dapat diklasifikasikan berturutturutuntuk kawasan barat dan timurIndonesia dengan distribusi penyinaran :

- Kawasan barat Indonesia (KBI) = 4.5kWh/m2.hari, variasi bulanan sekitar 10%
- Kawasan timur Indonesia (KTI) = 5.1kWh/m2.hari, variasi bulanan sekitar 9%
- Rata-rata Indonesia = 4.8 kWh/m2.hari,variasi bulanan sekitar 9%.Hal ini mengisyaratkan bahwa:
- radiasi surya tersedia hampir meratasepanjang tahun,
- kawasan timur Indonesia memilikipenyinaran yang lebih baik.Energi surya dapat dimanfaatkanmelalui dua macam teknologi yaitu energisurya termal dan surya fotovoltaik.

a. Surya Fotovoltaik

Energi surya atau lebih dikenalsebagai solar cell atau *photovoltaic cell*,merupakan sebuah divais semikonduktoryang memiliki permukaan yang luas danterdiri dari rangkaian dioda tipe p dan n,yang mampu merubah langsung energisurya menjadi energi listrik.

b. Surya Termal

Sebagian besar dan secara komersial,pemanfaatan energi surya termal banyakdigunakan untuk penyediaan air panasrumah tangga, khususnya rumahtanggaperkotaan. Jumlah pemanas air tenagasurya (PATS) diperkirakan berjumlah150.000 unit dengan total luasan kolektorsebesar 400,000 m2.Secara non-komersial dan tradisional,energi surya termal banyak digunakan untukkeperluan pengeringan berbagai komoditaspertanian, perikanan, perkebunan, industrikecil, dan keperluan rumah tangga. Secarakomersial, energi surya mempunyai potensiekonomi untuk penyediaan panas prosessuhu rendah (s/d 90^0 C) menggunakansistem energi surya termik (SEST) bagikeperluan pengolahan pasca panenkomoditas tersebut dengan lebih efektif danefisien. Pengalaman menunjukkan bahwapenerapan SEST untuk pengeringan dapatmemberikan berbagai nilai tambah yangtinggi berupa: peningkatan dan jaminankualitas produk, mengurangi rugi-rugi(*losses*) material selama produksi (a.l. rusakdan hilang), dan waktu pengolahan yanglebih singkat.Meskipun belum banyak dikembangkan,pemanfaatan energi surya termaluntuk proses disalinasi pada daerah ataupemukiman dekat pantai kemungkinan besar akan berkembanmengingat mulaimunculnya banyak kesulitan air dikawasan-kawasantersebut.

3.2.8 Panas Bumi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Berdasarkan survei menunjukkanbahwa terdapat 70 lokasi panas bumibertemperatur tinggi dengan kapasitas totalmencapai 19.658 MW. Sebagian besar darilokasi tersebut belum dilakukan eksploitasisecara intensif.

3.2.9 Energi Nuklir

Kebutuhan energi nasional dari tahunke tahun semakin meningkat, terutamakebutuhan energi listrik. Peningkatantersebut sejalan dengan laju pertumbuhanekonomi, laju pertumbuhan penduduk, danpesatnya perkembangan sektor industri.Untuk memenuhi kebutuhan energi nasionaltidak cukup hanya mengandalkan sumberenergi yang ada, karena sumber energi kitasudah banyak terkuras selama beberapatahun terakhir.Untuk itu, perlu mencari sumbersumber energi alternatif yang lain yangcukup potensial untuk menggantikannya,misalnya energi baru dan terbarukan. Energinuklir adalah energi baru yang perludipertimbangkan karena energi ini bisamenghasilkan energi yang dalam order yangbesar sampai ribuan megawatt, tetapi harusmemperhatikan beberapa aspek. Aspek ituantara lain aspek keselamatan, sosial,ekonomi, teknis, sumber daya manusia, danteknologi.

a. Manfaat PLTN

- Penggunaan untuk Pembangkitan Listrik
- Diversifikasi : pasokan energi dalambentuk listrik
- Konservasi: penghematan penggunaansumber daya energi nasional
- Pelestarian Lingkungan : Mengurangiemisi gas rumah kaca (*GHC*) secarasignifikan
- Penggunaan untuk Non Listrik

Pengembangan konsep reaktor *cogeneration*untuk produksi air bersih/desalinasi, penggunaan panas proses(untuk industri, pencairan-gasifikasibatubara, produksi hidrogen, *Enhance OilRecovery*, dll).

b. Manfaat Lain Iptek Nuklir dalamSektor Energi

Teknologi Nuklir di Indonesia:berperan dalam energi Hidro pengelolaan air dan sumbernya mikrohidro (contoh di Bribin,pengeloaan air tanah dalam), *Geothermal(Sibayak, Kamojang, Lahendong)*, *Biofuel/*biodiesel (sorgum, jarak pagar), danmembersihkan gas SOx dan NOx dari PLTUfosil dengan EBM.Program energi nuklir biasanya harusmelalui beberapa tahapan yang terencanadan dilaksanakan secaraberkesinambungan. Di samping kegiatanutama diperlukan juga kegiatan pendukungyang lain, misalnya, kegiatan penelitian/studi pengembangan teknologi nuklir,kegiatan/studi daur ulang bahan bakarnuklir, pengaturan/perizinan dalam bidangnuklir serta pendidikan dan pelatihan. Halini juga harus melibatkan beberapa institusipemerintah, universitas, organisasi sosial,LSM, dan lain-lain.Sebetulnya sejak tahun 1972 proyekstudi energi nuklir sudah dipikirkan olehbadan pemerintah yang berkompeten dibidang ini, yaitu Batan. Hanya saja masihbanyak kendalanya untukdiimplementasikan.Berdasarkan informasi pemasokPLTN besarnya biaya modal/investasi padatahun 1992 untuk PLTN konvensionalberbagai jeÿÿÿÿdan ÿÿurÿÿÿÿ60ÿÿ1.ÿÿÿÿ)berkisar 1.530-2.200 dollar/kW. Adapunbiaya pembangkit tergantung kapasitasnya,yaitu kapasitas 600 MW biayanya berkisar55,2-61,2 mills/kWh, kapasitas 900 MWbiayanya berkisar 47,4-56,4 mills/kWh.Dari beberapa studi, harga bahanbakar hasilnya bervariasi, NEWJEC 1992sebesar 5,9-6,6 mills/kWh, Batan 1992sebesar 15 mills/kWh, dan Krebs et. Al/Siemens 1993 sebesar 11,2 mills/kWh,sedangkan biaya operasi dan pemeliharaansebesar 77 dollar/kW.

Tabel 3. Sumber energi baru dan terbarukan di Indonesia*(Directorate General of NRE&EC, 2013*

No	Sumber energi *Energy resources*	Potensi *Potential*	Kapasitas terpasang *Installed capacity*
1	Panas bumi *Geothermal*	16.502 MW (Cadangan / *Reserve*)	1.341 MW (Sampai Mei 2013 /*Until May 2013*)
2	Hidro *Hydro*	75.000 MW (Sumberdaya / *Resource*)	7.059 MW

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

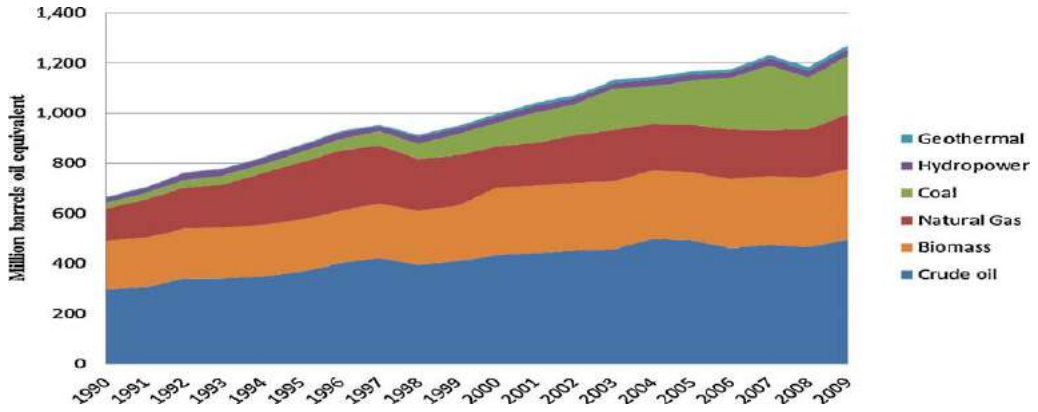
3	Mini-mikrohidro *Mini- micro hydro*	769,7 MW (Sumberdaya / *Resource*)	512 MW
4	Biomasa *Biomass*	13.662 Mwe (Cadangan / *Reserve*)	1.364 Mwe 75,5 Mwe (*On Grid*)
5	Energi surya *Solar energy*	4,80 kWh/m2/day	42,78 MW
6	Energi angin *Wind energy*	3-6 m/s	1,33 MW
7	Uranium	3000 MW	30 MW
8	Gas metana batubara *Coal bed methane*	453 TSCF (Sumberdaya / *Resource*)	
9	*Shale gas*	574 TSCF (Sumberdaya / *Resource*)	

Tabel 4. Road map pengembangan energi kelautan di Indonesia(Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia (METI)

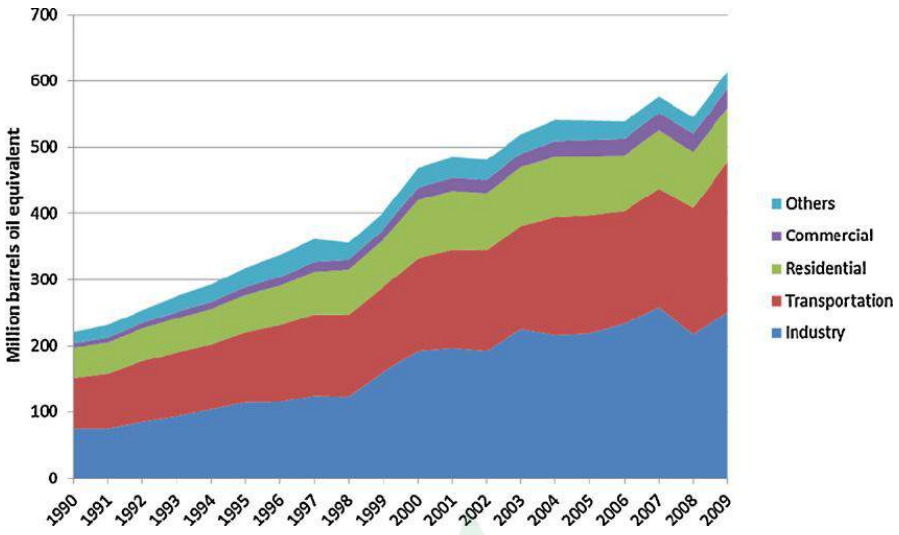
Energi Samudra / *OceanEnergy*		**2010 - 2015**	**2010 – 2020**	**2010 - 2025**
Energi Gelombang / *Wave Energy*				**50 MW**
a.	Teknologi / *Technology*	Uji Coba / *Trial*	Pengganti pembangkit listrik diesel pada daerah terpencil dan pulau-pulau kecil / *Substitute for diesel power plants in remote areas and small islands*	Pembangkit listrik utama bersaing dengan pembangkit listrik lainnya / *Compete with other power plants*
b.	Output per unit	< 100 kW	100 kW – 1 MW	0,5 – 2 MW
c.	Biaya pembangkitan / *Generating cost*		Rp./kWh 1.500 – 2.000	Rp./kWh 1.000 – 1.500
Energi Pasang Surut / *Tidal Power*				**1.000 MW**
a.	Teknologi / *Technology*	*Pilot Project*	Pembangkit utama untuk wilayah timur Indonesia / *Main power plant for eastern region of Indonesia*	Pembangkit utama untuk wilayah timur Indonesia / *Main power plant for eastern region of Indonesia*
b.	Output per unit	1 MW	10 – 50 MW	50 – 200 MW
c.	Biaya pembangkitan / *Generating cost*		Rp./kWh 1.000 – 1.500	Rp./kWh 600 – 1.000
Energi Arus Laut / *Ocean Current Energy*				**500 MW**
a.	Teknologi / *Technology*	Uji Coba / *Trial*	Pengganti pembangkit listrik diesel pada NTB dan NTT / *Substitute for diesel power plant in NTB and NTT*	
b.	Output per unit	< 100 kW	100 kW – 1 MW	10 – 100 MW
c.	Biaya pembangkitan / *Generating cost*		Rp./kWh 1,500 – 2.000	Rp./kWh 1.000 – 1.500
OTEC (*Ocean Thermal Energy Conversion*)				**100 MW**

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Energi Samudra / *OceanEnergy*		**2010 - 2015**	**2010 – 2020**	**2010 - 2025**
a.	Teknologi / *Technology*	*FS & Pilot Project*	Pengganti pembangkit listrik diesel pada pulau-pulau kecil / *Substitute for diesel power plants in remote areas and small islands* Pembangkit pada daerah wisata dan industri produk sampingan / *Power plant in the tourist areas and byproducts industry*	Pembangkit listrik utama bersaing dengan pembangkit listrik lainnya / *Compete with other power plants*
b.	Output per unit	1 – 5 MW	1 – 5 MW	50 – 100 MW
c.	Biaya pembangkitan / *Generating cost*		Rp./kWh 1500 – 2.500	Rp./kWh 1.000 – 1.500
Total 1.650 MW				



Gambar 4. Primary energy supply by fuel type in Indonesia.



Gambar 5. Final energy consumption by sector in Indonesia.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4. BERBAGAI KEBIJAKAN DI BIDANGENERGI RESPON TERHADAP SITUASINASIONAL DAN INTERNASIONAL

Untuk mendukung upaya dan program pengebangan EBT, pemerintah sudah menerbitkanserangkaian kebijakan dan regulasi yang mencakup Peraturan Presiden No. 5/2006 tentangKebijakan Energi Nasional, Undang-Undang No. 30/2007 tentang Energi, Undang-undang No.15/1985 tentang Ketenagalistrikan, PP No. 10/1989 sebagaimana yang telah diubah dengan PPNo. 03/2005 Tentang Perubahan Peraturan Pemerintah No. 10 Tahun 1989 tentangPenyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik dan PP No. 26/2006 tentang Penyediaan &Pemanfaatan Tenaga Listrik, Permen ESDM No. 002/2006 tentang Pengusahaan PembangkitListrik Tenaga Energi Terbarukan Skala Menengah, dan Kepmen ESDMNo.1122K/30/MEM/2002 tentang Pembangkit Skala Kecil tersebar. Saat ini sedang disusunRPP Energi Baru Terbarukan yang berisi pengaturan kewajiban penyediaan dan pemanfaatanenergi baru dan energi terbarukan dan pemberian kemudahan serta insentif.

- KEN 2004 – 2020, Februari 2004
- Perpres No. 7/2005, RPJM 2005 – 2009
- RUKN 2005 – 2025, April 2005
- Blueprint PEN 2005 – 2025, Mei 2005
- Kebijakan Penghematan Energi, Agustus
- Kenaikan tarif BBM, Februari danOktober 2005
- Konsep Prerpres tentang PenggunaanEnergi Alternatif di Indonesia s/d 2025

5. KESIMPULAN

1) Kondisi atau keadaan energi saat inisekali lagi mengajarkan kepada kitabahwa usaha serius dan sistematis untukmengembangkan dan menerapkansumber energi terbarukan gunamengurangi ketergantungan terhadapbahan bakar fosil perlu segera dilakukan.
2) Penggunaan sumber energi terbarukanyang ramah lingkungan juga berartimenyelamatkan lingkungan hidup dariberbagai dampak buruk yang ditimbulkanakibat penggunaan BBM.
3) Terdapat beberapa sumber energiterbarukan dan ramah lingkungan yangbisa diterapkan segera di tanah air, sepertibioethanol, biodiesel, tenaga panas bumi,tenaga surya, mikrohidro, tenaga angin,dan sampah/limbah.
4) Kerjasama, koordinasi antar DepartemenTeknis serta dukungan dari industri danmasyarakat sangat penting untukmewujudkan implementasi sumber energiterbarukan tersebut.
5) Didukung ketersediaan sumberbahan baku biodiesel di Indonesia yang cukup beragam,maka target pemanfaatan biodiesel sebagai campurandalam biosolar pada Peraturan Menteri Nomor 25Tahun 2013 masih dapat dinaikkan untuk mengurangiketergantungan akan bahan bakar minyak serta untukmeningkatkan ketahanan energi nasional.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Yuli Setyo Indartono, *Krisis Energi diIndonesia: Mengapa dan HarusBagaimana*. http://io.ppi-jepang.org/#bawah.
[2] Service, RF., *Is it time to shoot for the Sun?*,Science Vol 309, July 22, 2005, 548-551.
[3] Sunggu Anwar Aritonang, Direktur Niagadan Pelayanan Pelanggan PT PLN(Persero)
[4] Dr A Harsono Soepardjo MEng *Ketua PusatStudi Kelautan FMIPA-UI dan PenelitiPusat Studi Energi UI " Energi Baru danTerbarukan"* Kompas 24 Oktober 2005.
[5] Ika Heriansyah,"*Potensi PengembanganEnergi dari Biomassa Hutan di Indonesia*",ISSN : 0917-8376 Edisi Vol.5/XVII/November 2005 – INOVASI.
[6] Chayun Bodiono, *Tantangan dan PeluangUsaha Pengembangan Sistem Energiterbarukan di Indonesia*.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

nature
National Academic Journal of Architecture

Volume 8, Nomor 1, 2021, hlm 1-15
p-ISSN: 2302 – 6073, e-ISSN: 2579 - 4809
Journal Home Page: http://journal.uin-alauddin.ac.id
DOI: https://doi.org/10.24252/nature.v8i1a1

ANALISIS PERFORMA MODEL *ECO-COOLER* SEBAGAI ALTERNATIVE BUKAAN ALAMI

Niniek Pratiwi[1*], Sri Sutarni Arifin[2]
Teknik Arisitektur, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia[1,2]
***e-mail:*[*1]niniek@ung.ac.id, [2]srisutarni@ung.ac.id**

Abstrak_ Konsumsi nergi listrik nasional terus mengalami peningkatan. Pada 2015 konsumsi listrik sebesar 910 kilowat jam (kWh) per kapita, kemudian meningkat menjadi 1.084 kWh/kapita pada 2019. Di Indonesia, Hermanto,dkk (2005) menyebut sekitar 60% konsumsi listrik hotel di Jakarta digunakan untuk memasok energi mesin AC. Oleh karena itu, usaha penghematan energi yang berkaitan dengan pendinginan ruangan akan berdampak signifikan terhadap usaha penghematan energi di dunia. Salah satu contohnya yakni penggunaan Eco-Cooler.Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa performa dari model Eco-Coolersebagai alternative bukaan alami. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode eksperimen dengan tahapan pengukuran kemudian disimulasikan dengan menggunakan aplikasi Ansysdan dianalisis secara analisis statistik deskriptif. Hasilpengukuran menujukkan bahwa semakin besar perbandingan inletterhadapoutlet maka distribusi kecepatan aliran angin lebih baik. Sementara untuk simulasi bisa ditarik kesimpulan bahwa model C, merupakan model yang lebih baik dibanding model A dan B. Model C mampu membuat jangkauan angin terpanjang yaitu sekitar 2,77 meter dan memiliki kecepatan angin minimum paling besar berkisar 0,499 m/s dan posisi Eco-Cooler denganketinggian 100 cm memilikijangkauanangin yang lebih baik daripada yang lainnya.Berdasarkan hasil tersebut dapat dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membandingkan antara model tersebut dengan jendela yang dipakai pada umumnya. Kedepannya, *Eco-Cooler* diharapkan mampu menjadi alternative bukaan alami.

Kata kunci: Eco-Cooler; *Ansys*; Angin, Energi Terbarukan.

Abstract_ National electricity consumption continues to increase. In 2015, electricity consumption was 910-kilowatt hours (kWh) per capita, then has risen to 1,084 kWh / capita in 2019. In Indonesia, Hermanto et al. (2005) stated that around 60% of hotel electricity consumption in Jakarta had been used to supply AC engine energy. Therefore, energy-saving efforts related to room cooling will significantly impact energy-saving measures in the world. One example is the use of the Eco-Cooler. This research aims to analyze the performance of the Eco-Cooler model as an alternative to natural openings. This research is a quantitative research using experimental methods with measurement stages then simulated using the Ansys application and analyzed by descriptive statistical analysis. The measurement results show that the greater the inlet to outlet ratio, the better the wind speed distribution. As for the simulation, it can be concluded that model C is a better model than models A and B. Model C can make the most extended wind range, which is about 2.77 meters and has the greatest minimum wind speed of 0.499 m / s, and the Eco- position. Coolers with a height of 100 cm have better wind coverage than others. Based on these results, further research can be conducted to compare the model with the windows used in general. In the future, the Eco-Cooler is expected to be an alternative to natural openings.

Keywords: Eco-Cooler; Ansys; Wind; Renewable Energy.

[1]Teknik Arisitektur, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia
[2]Teknik Arisitektur, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara beriklim tropis lembab dengan temperatur udara pada umumnya antara 24 – 32°C dengan kelembaban 60 – 95% (P. Satwiko, 2009). Hal ini mengakibatkan banyak daerah di Indonesia harus menggunakan sistem ventilasi buatan untuk mendapatkan kondisi udara yang nyaman di dalam ruangan yaitu dengan memasang mesin penyejuk udara atau yang lebih dikenal dengan Air Conditioner (AC). Namun penggunaan AC sebagai penyejuk udara dalam ruangan memerlukan energi yang cukup besar. Menurut Hermanto, dkk (2005) menyebutkan sekitar 60% konsumsi listrik hotel di Jakarta digunakan untuk memasok energi mesin AC. Oleh karena itu, usaha penghematan energi yang dilakukan terhadap penggunaan peralatan AC akan berdampak signifikan terhadap usaha penghematan energi nasional.

Menurut Olgay (1963) dalam (Rilatupa, 2008), tingkat produktivitas dan kesehatan manusia sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim setempat. Apabila kondisi iklim (berkaitan dengan suhu udara, kelembaban, radiasi matahari, angin, hujan, dsbnya) sesuai denan kebutuhan fisik manusia, maka tingkat produktivitas dapat mencapai titik maksimum. Menurut Szokolay (2008) dalam (I Gusti Ngurah Wiras Hardy, 2020), kenyamanan termal pada ruangan salah satunya dapat dicapai dengan adanya pergerakan udara sehingga dapat menurunkan panas di dalam ruangan.

Menurut Lee dan Chang (Lee, 2000), pada umumnya orang menghabiskan waktunya (lebih dari 90%) di dalam ruangan, sehingga mereka membutuhkan udara yang nyaman dalam ruang tempat mereka beraktivitas, oleh karenanya kecepatan udara yang baik dalam ruangan sangat bermanfaat bagi mereka. Di daerah beriklim tropis lembab, terdapat kecenderungan peningkatan kenyamanan termis melalui suatu hembusan angin yang langsung menyentuh kulit tubuh manusia. Melalui hembusan angin tersebut, terjadilah suatu proses evaporasi keringat yang selanjutnya berdampak meningkatkan rasa nyaman termis (Sangkertadi, 2006). Kecepatan dan arah aliran udara berpengaruh pada kondisi udara yang dinyatakan dengan adanya perubahan jumlah udara yang disirkulasikan, kemampuan penyerapan kalor oleh udara dan koefisien ventilasi (Dewi, 2012)

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menangkap angin yakni dengan menggunakan w*ind catcher*. *Wind catcher* adalah menara penangkap angin yang digunakan sebagai sistem ventilasi di daerah kering (gurun), untuk membantu pergantian udara dalam ruang, sehingga diperoleh kenyamanan thermal. Sistem ini berasal dari Persia lalu berkembang di Timur Tengah seperti di Pakistan, Afganistan dan Iran. Manfaat kenyamanan dari w*ind catcher* dihasilkan dari tiga proses: a) pendinginan konvektif langsung pada permukaan tubuh penghuni, b) pendinginan dari penguapan keringat pada kulit penghuni, dan c) pendinginan dari material bangunan yang digunakan (Roaf et al., 2010 dan Sadeghi et al., 2020).

Contoh aplikasi lain yang dapat digunakan untuk menangkap angin yakni *Eco-Cooler*. *Eco-Cooler* adalah perangkat yang terdiri dari botol bekas yang dipotong menjadi dua bagian dan mulutnya dimasukkan ke dalam selembar karton. *Eco-Cooler* kemudian dipasang di jendela yang ada di arah aliran udara maksimum sehingga ujung botol yang lebih lebar menghadap ke luar.Udara lewat melalui botol dan dikompresi saat melewati leher botol. Udara terkompresi sementara meninggalkan mulut botol akan mengembang dengan cepat dan memberikan udara dingin. Pada prinsipnya, *Eco-Cooler* bekerja berdasarkan rumus hukum termodinamika I.

Sebelumnya sudah ada beberapa penelitian terkait *Eco-Cooler*. Hasil penelitian Naveenkumar menujukkan bahwa *Eco-Cooler* mampu menurunkan temperatur sampai 5°C (Naveenkumar et al., 2018). Dari simulasi secara numerik didapatkan hasil, temperatur berkisar 0,34°C yang dapat dirasakan oleh kulit manusia dengan outlet kecepatan aliran udara sekitar 13 m/s (Khan et al., 2019). Perbandingan inlet yang lebih besar terhadap outlet mempunyai kemampuan lebih baik (Gao et al., 2018).Dari semua penelitian tersebut belum ada penelitian mengenai analisis performa model-model *Eco-Cooler* dan semuanya dilakukan di luar negeri.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa model *Eco-Cooler* untuk mendapatkan model terbaik yang efektif digunakan sebagai alternative bukaan alami. Penelitian ini juga diharapkan menjadi salah satu rujukan untuk melakukan penelitian *Eco Cooler* di Indonesia sebagai salah satu upaya penghematan energi listrik.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode eksperimen dengan tahapan pengukuran yang merupakan langkah awal untuk menentukan bentuk-bentuk yang akan disimulasikan kemudian disimulasikan dan dianalisis secara analisis statistik deskriptif dengan menggunakan aplikasi *Ansys*. Analisis statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi (Muhson, 2006). Sehingga hasil dari pengukuran dan simulasi dibuatkan dalam bentuk tabel dan grafik yang kemudian dideskripsikan.

A. Pengukuran

Penelitian ini awalnya dilakukan dengan metode pengukuran yakni dengan menggunakan botol air mineral bekas dengan 3 jenis ukuran, yakni ukuran kecil (ukuran 330 ml), sedang (ukuran 600 ml) dan besar (ukuran 1500 ml). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat anemometer yang diletakkan di depan dan di belakang spesimen. Kipas diletakkan di depan spesimen atau inlet seperti terlihat pada gambar 1. Setelah pengukuran tersebut kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan aplikasi CFD, *Ansys*.



Gambar 1. Proses Pengukuran Model Eco-Cooler Dari Botol Air Mineral Bekas
Sumber: Penulis, 2020

B. Simulasi

Simulasi merupakan lanjutan dari pengukuran yang telah dilakukan.Simulasi ini menggunakan aplikasi CFD, *Ansys*. Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah suatu metode analisis sistem yang meliputi aliran fluida, pindah panas, dan massa, serta fenomena lain

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

(seperti reaksi kimia, aliran rokok, aliran partikel dsb) dengan menggunakan simulasi berbasis komputer (Suhendra, 2009).

Dengan metode CFD ini dapat menganalisis dan memprediksi simulasi distribusi pola aliran udara dan temperatur di dalam maupun di luar pada suatu bangunan agar menghasilkan aliran udara dan suhu yang baik atau dapat diterima dalam merancang suatu bangunan sesuai standar dan diinginkan (efektif) di dalam maupun di luar bangunan dengan biaya murah dan waktu yang relative singkat dibandingkan dengan metode eksperimen. Metode CFD menggunakan analisis numerik yaitu kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan yang terdiri atas persamaan keseimbangan massa, momentum, dan energi sehingga peneyelesaian persamaan untuk benda dua atau tiga dimensi lebih cepat dan dapat dilakukan secara simultan/bersamaan.

Beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan simulasi *Ansys* yakni penelitian yang berjudul *Design And Analyses Of Eco-Cooler* dengan membuat eksperimen terkait *Eco-Cooler* dan menganalisisnya dengan menggunakan simulasi *Ansys* (Naveenkumar et al., 2018). Penelitian lainnya yakni dengan judul Analisis Desain Ventilasi Alami dengan Metode *Computational Fluid Dynamic Software Ansys Workbench* pada Gedung Olahrga menggunakan metode simulasi pergerakan dan kecepatan angin di dalam bangunan dengan menggunakan program *Computational Fluid Dynamic software Ansys Workbench* (Rakhmawati dkk, 2016).

Pada penelitian ini, simulasi model dibuat dengan 3 sampel, dengan diameter inlet (D1) yang sama yakni 20 cm. Ukuran ini diambil dari rata-rata ukuran lubang dinding yang sering dipergunakan di bangunan. Sementara itu outletnya (D2) menggunakan beragam ukuran mulai dari ½ dari D1 untuk sampel 1, 1/3 dari D1 untuk sampel 2, dan ¼ dari D1 untuk sampel 3, untuk melihat perbedaan yang dihasilkan.

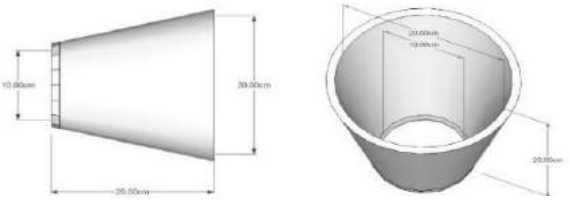
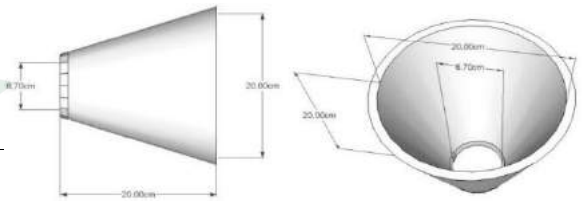
Tabel 1. Ukuran sampel model yang disimulasikan

Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
D1 = 20 cm	D1 = 20 cm	D1 = 20 cm
D2 = 10 cm	D2 = 6,7 cm	D2 = 5 cm

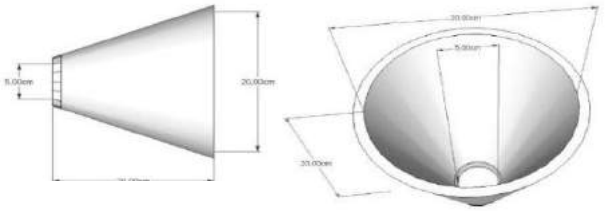
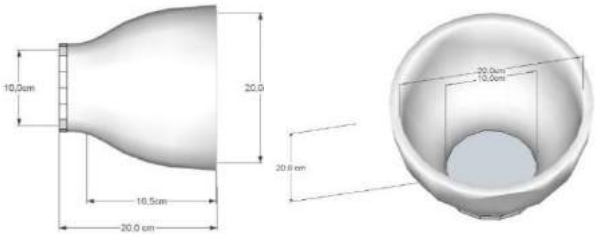
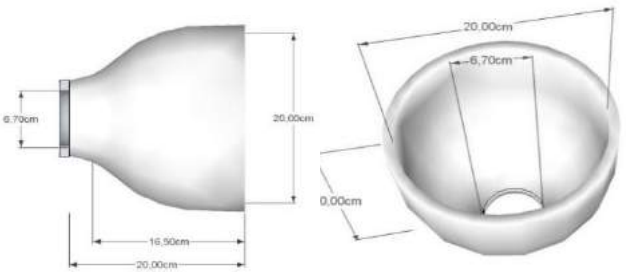
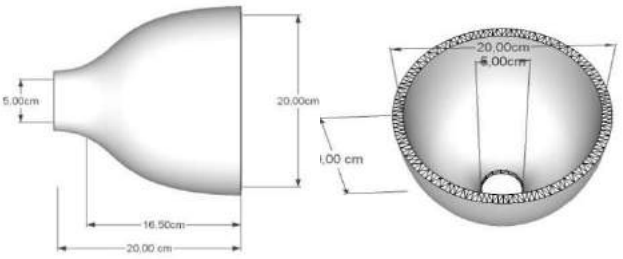
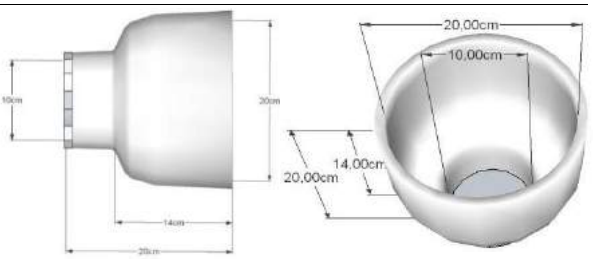
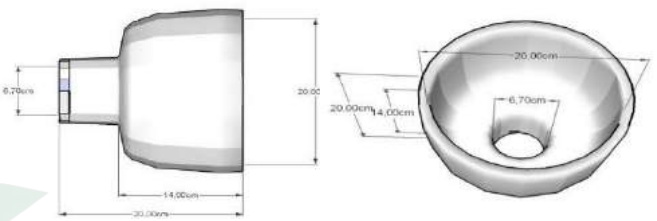
Sumber: Penulis, 2020

Simulasi dilakukan dengan 3 model yakni model A, B dan C. Masing-masing model memiliki perbedaan bentuk kelengkungan. Mulai dari model A yang berbentuk corong sampai model C yang hampir menyerupai gelas. Simulasi juga dilakukan dengan 3 ketinggian yang berbeda, yakni setara orang duduk yakni 0,5 m , ketinggian dada 1 m, dan kepala orang berdiri 1,5 m. Dan input kecepatan angin yang disimulasikan yakni 1 m/s. Perbedaan ketinggian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan aliran angin pada setiap ketinggian tersebut dan mengetahui posisi yang paling baik dalam menangkap angin.

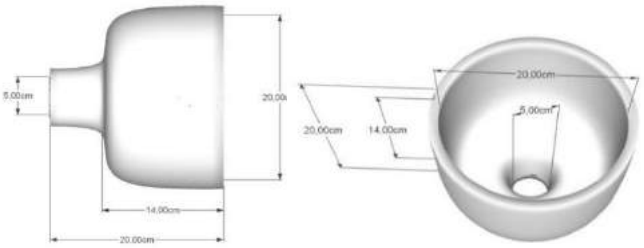
Table 2. Sampel model yang disimulasikan

No	Model Sampel	Ukuran	Gambar
1.	Model A sampel 1	D1 = 20cm, D2 = 10cm	
2.	Model A sampel 2	D1 = 20cm, D2 = 6,7cm	

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

No	Model Sampel	Ukuran	Gambar
3.	Model A sampel 3	D1 = 20cm, D2 = 5cm	
4.	Model B sampel 1	D1 = 20cm, D2 = 10cm	
5.	Model B sampel 2	D1 = 20cm, D2 = 6,7cm	
6.	Model B sampel 3	D1 = 20cm, D2 = 5cm	
7.	Model C sampel 1	D1 = 20cm, D2 = 10cm	
8.	Model C sampel 2	D1 = 20cm, D2 = 6,7cm	

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

No	Model Sampel	Ukuran	Gambar
9.	Model C sampel 3	D1 = 20cm, D2 = 5cm	

Sumber: Penulis, 2020

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada sampel botol air minum dengan 3 jenis ukuran, yakni ukuran kecil (ukuran 330 ml), sedang (ukuran 600 ml) dan besar (ukuran 1500 ml) didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil pengukuran sampel

Sampel	Jam	Sebelum		Sesudah		Perbedaan	
		V1	T1	V2	T2	V1-V2	T1-T2
A1	11:00	2.2	31	1.1	31.1	1.1	-0.1
	11:01	2.2	31	1.1	31.1	1.1	-0.1
	11:02	2.3	31	1.1	31.1	1.2	-0.1
	11:03	2.5	31	1	31.1	1.5	-0.1
	11:04	2.2	31	1.2	31.1	1.0	-0.1
A2	11:05	1.8	31	1.2	30.9	0.6	0.1
	11:06	1.2	31	1.2	30.9	0.0	0.1
	11:07	1.2	31	0.9	31	0.3	0
	11:08	2	31	1.1	31	0.9	0
	11:09	2	31	1.2	31	0.8	0
A3	11:11	1.5	31	1.4	31	0.1	0
	11:12	2	31	1.4	31	0.6	0
	11:13	2	31	1.5	31	0.5	0
	11:14	1.9	31	1.4	31	0.5	0
	11:15	2	31	1.6	31	0.4	0

Sumber: Penulis, 2020

Keterangan:
A1: Sampel botol air mineral kecil ukuran 330 ml
A2: Sampel botol air mineral sedangl ukuran 600 ml
A3: Sampel botol air mineral besar ukuran 1500 ml
V1: Kecepatan Aliran Udara Inlet/ sebelum *Eco-Cooler*
T1: Temperatur Inlet/ sebelum *Eco-Cooler*
V2: Kecepatan Aliran Udara Outlet/ sesudah *Eco-Cooler*
T2: Temperatur Outlet/ sesudah *Eco-Cooler*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dari hasil pengukuran didapatkan sampel A1, yakni sampel botol air mineral kecil ukuran 330 ml memiliki tingkat distribusi kecepatan aliran angin lebih rendah dibanding sampel A2 dan A3 dengan rata-rata perbedaan Inlet – Outlet (V1-V2) sebesar 1,2m/s. Sementara itu untuk sampel A2, yakni sampel botol air mineral sedang ukuran 600 ml memiliki tingkat distribusi kecepatan aliran angin sebesar 0,5 m/s. Dan sampel A3, yakni sampel botol air mineral besar ukuran 1500 ml memiliki tingkat distribusi kecepatan aliran angin sebesar 0,4 m/s. Dari ketiga hasil sampel tersebut dapat dilihat bahwa sampel A3 lebih baik dalam mendistribusikan kecepatan aliran angin dibanding sampel lainnya. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian (Gao et al., 2018) dimana dari ketiga spesimen, penggunaan botol diameter inlet 4 inci dan outlet 1 inci lebih baik dibandingkan dengan 2 botol lainnya. Atau dengan kata lain, inlet yang lebih besar dibanding outlet mempunyai kemampuan lebih baik.

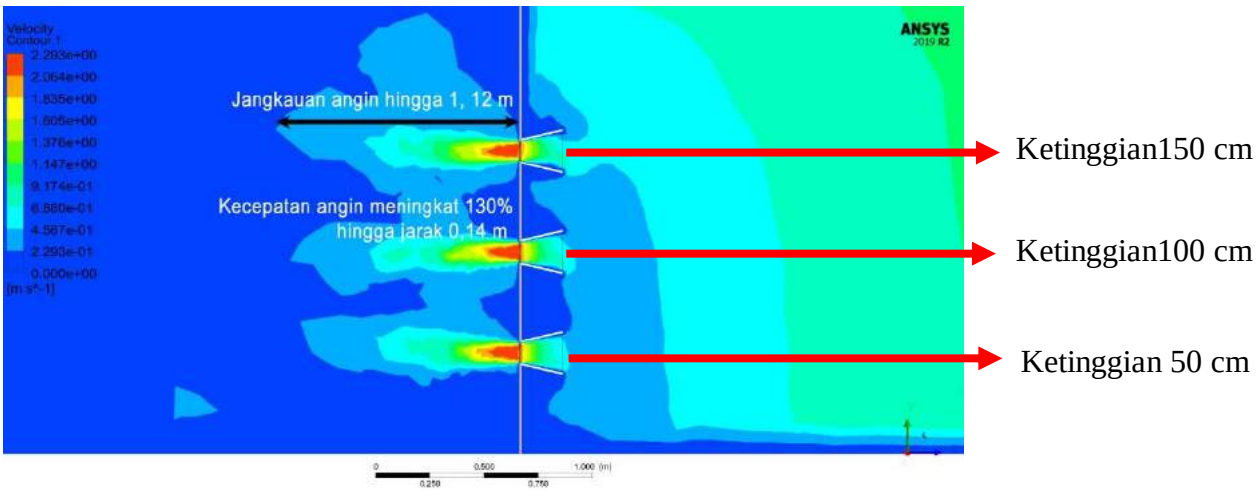
Sementara itu, untuk temperatur udara kurang memiliki hasil yang signifikan. Hal ini bisa dipengaruhi oleh temperatur ruangan tempat melakukan proses pengukuran. Oleh karena itu, pada proses penelitian ini hanya mampu memperlihatkan distribusi kecepatan aliran angin. Dari pengukuran tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin besar inlet dibanding outlet maka distribusi kecepatan aliran angin lebih baik.Hal ini bisa terjadi karena adanya tekanan yang besar.

B. Simulasi

A. Simulasi Model A

Sampel 1

Simulasi model A sampel 1 ini berbentuk corong dengan inlet (D1) 20 cm, dan outlet (D2) 10 cm dengan 3 ketinggian yang berbeda yakni 50 cm, 100 cm dan 150 cm. Kecepatan angin yang dimasukkan yakni 1 m/s.



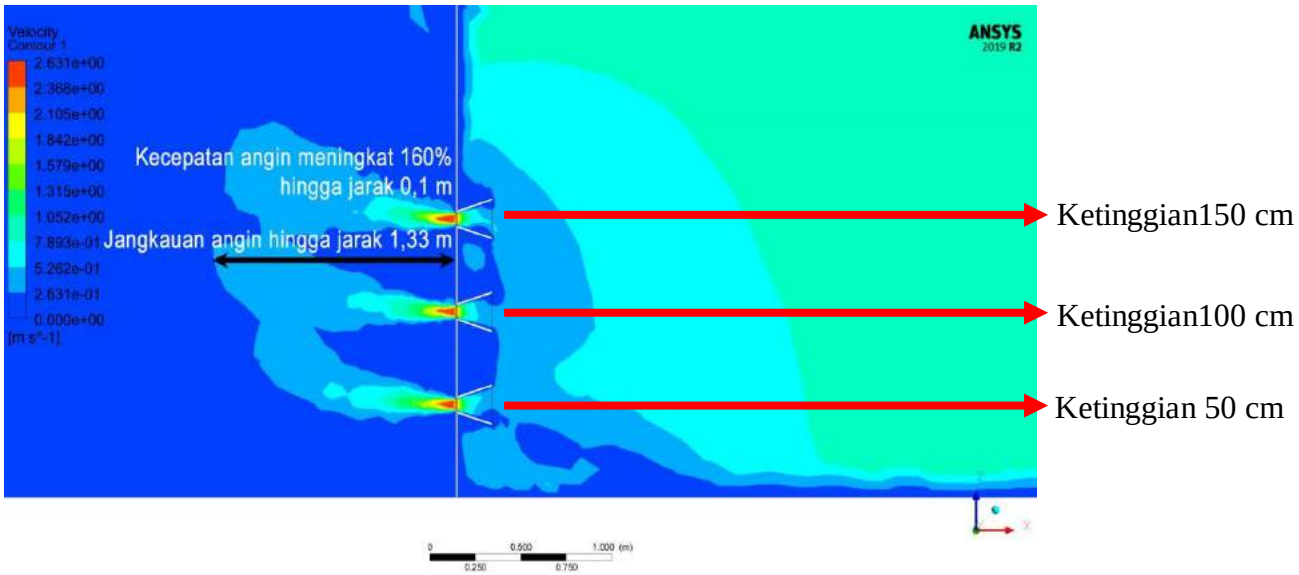
Gambar 2. Hasil simulasi model A sampel 1
Sumber: Penulis, 2020

Dari hasil simulasi menggunakan CFD *Ansys*, pada simulasi model A sampel 1, ketinggian 150 cm lebih baik daripada ketinggian 50 cm maupun 100 cm. Jarak jangkauan angin 150 cm lebih jauh dibanding ketinggian lainnya yakni 1,12 meter sementara ketinggian 50 cm maupun 100 cm hanya berkisar 1 meter. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 150 cm berkisar 0,458 – 2,293 m/s. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 50 cm dan 100 cm hampir sama yakni berkisar 0,458-2,064 m/s. Dari ketiga ketinggian tersebut, ketinggian 150 cm memiliki jangkaun angin lebih baik dibanding yang lainnya, kecepatan angin yang masuk pun lebih baik.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Sampel 2

Simulasi model A sampel 2 ini berbentuk corong dengan inlet (D1) 20 cm, dan outlet (D2) 6,7 cm dengan 3 ketinggian yang berbeda yakni 50 cm, 100 cm dan 150 cm.



Gambar 3. Hasil Simulasi Model A Sampel 2
Sumber: Penulis, 2020

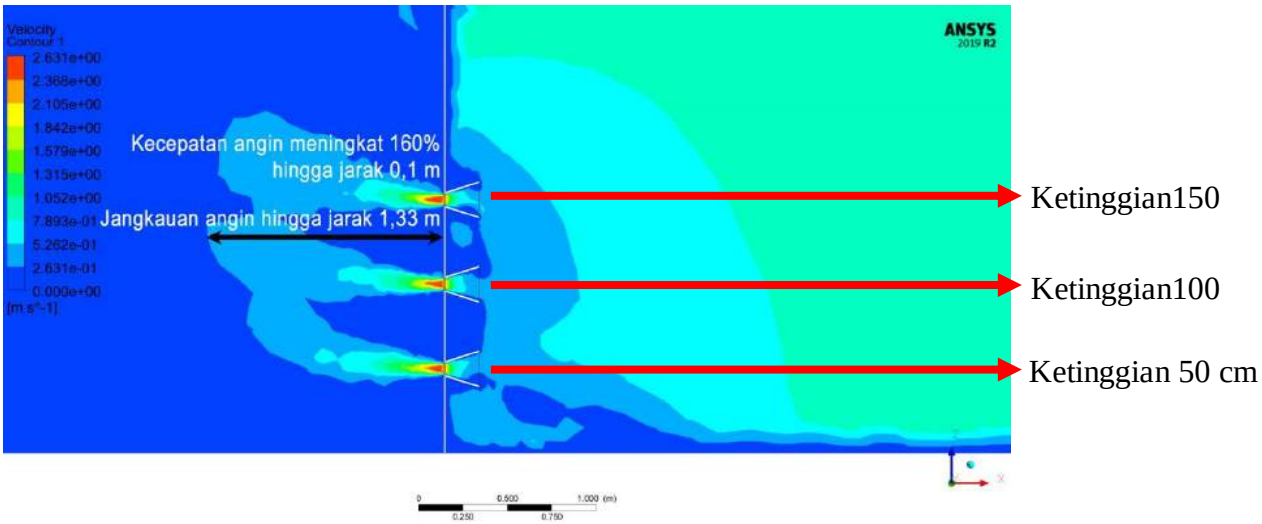
Dari hasil simulasi menggunakan CFD *Ansys*, pada simulasi model A sampel 2, ketinggian 100 cm dan 150 cm jangkauan anginnya lebih baik daripada ketinggian 50 cm yakni sekitar 1,33 meter. Sementara jarak jangkauan angin ketinggian 50 cm hanya 1,11 meter. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 150 cm berkisar 0,263– 2,631 m/s. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 50 cm dan 100 cm hampir sama yakni berkisar 0,263-2,368 m/s. Dari ketiga ketinggian tersebut, ketinggian 150 cm memiliki jangkauan angin yang sama dengan ketinggian 100 cm namun kecepatan angin yang masuk lebih baik daripada yang lain.

Sampel 3

Simulasi model A sampel 2 ini berbentuk corong dengan inlet (D1) 20 cm, dan outlet (D2) 5 cm dengan 3 ketinggian yang berbeda yakni 50 cm, 100 cm dan 150 cm.

Dari hasil simulasi menggunakan CFD *Ansys*, pada simulasi model A sampel 3, ketinggian 100 cm dan 150 cm jangkauan anginnya lebih baik daripada ketinggian 50 cm yakni sekitar 0,93 meter. Sementara jarak jangkauan angin ketinggian 50 cm hanya 0,59 meter. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 150 cm berkisar 0,265 – 2,653 m/s. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 50 cm dan 100 cm hampir sama yakni berkisar 0,265-2,388 m/s. Dari ketiga ketinggian tersebut, ketinggian 150 cm memiliki jangkauan angin yang sama dengan ketinggian 100 cm namun kecepatan angin yang masuk lebih baik daripada yang lain.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



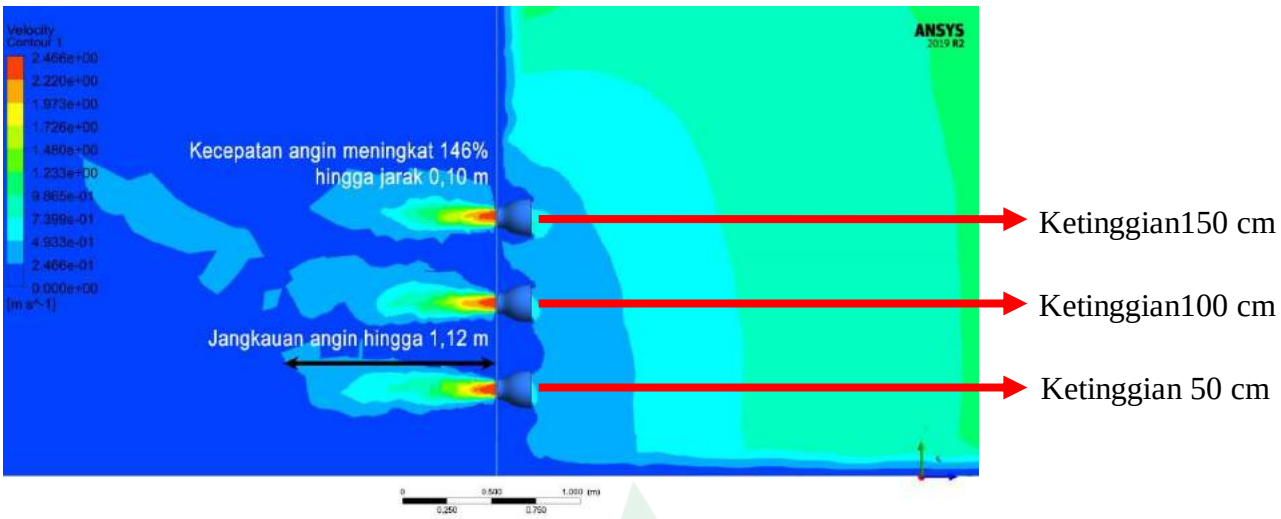
Gambar 4. Hasil Simulasi Model A Sampel 2
Sumber: Penulis, 2020

B. Simulasi Model B

Sampel 1

Simulasi model B sampel 1 ini lebih memiliki lekukan dibanding model A dengan inlet (D1) 20 cm, dan outlet (D2) 10 cm dengan 3 ketinggian yang berbeda yakni 50 cm, 100 cm dan 150 cm.

Dari hasil simulasi menggunakan CFD *Ansys*, pada simulasi model B sampel 1, ketinggian 50 cm dan 100 cm jangkauan anginnya lebih baik daripada ketinggian 150 cm yakni 1,12 meter. Sementara jarak jangkauan angin ketinggian 150 cm sekitar 1,05 meter. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 150 cm berkisar 0,246 – 2,466 m/s. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 50 cm dan 100 cm hampir sama yakni berkisar 0,246 - 2,22 m/s. Dari ketiga ketinggian tersebut, ketinggian 50 cm dan 100 cm memiliki jangkaun angin lebih baik dibanding 150 cm walaupun hanya memiliki selisih 0,07 meter, namun kecepatan angin yang masuk pada ketinggian 150 cm lebih baik dibanding yang lain.



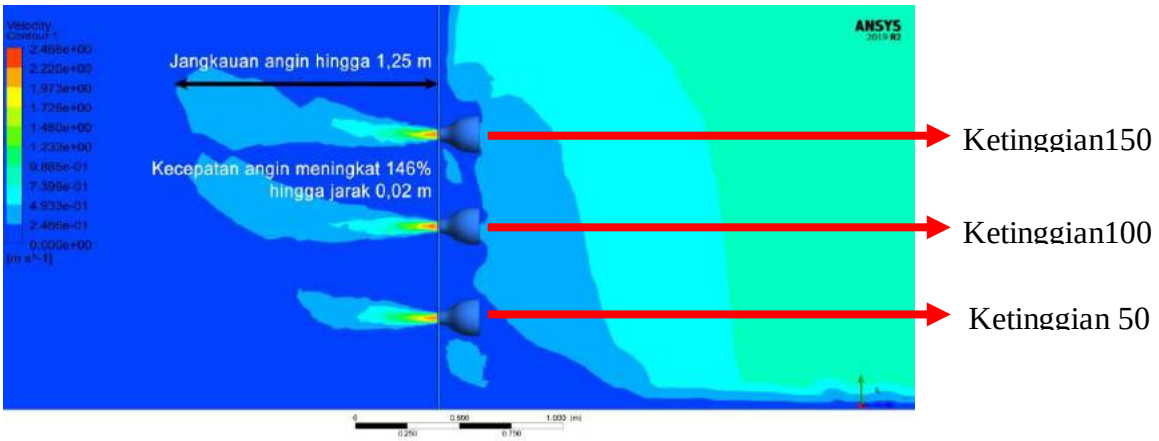
Gambar 2. Hasil Simulasi Model B Sampel 1
Sumber: Penulis, 2020

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Sampel 2

Simulasi model B sampel 2 ini lebih memiliki lekukan dibanding model A dengan inlet (D1) 20 cm, dan outlet (D2) 6,7 cm dengan 3 ketinggian yang berbeda yakni 50 cm, 100 cm dan 150 cm.

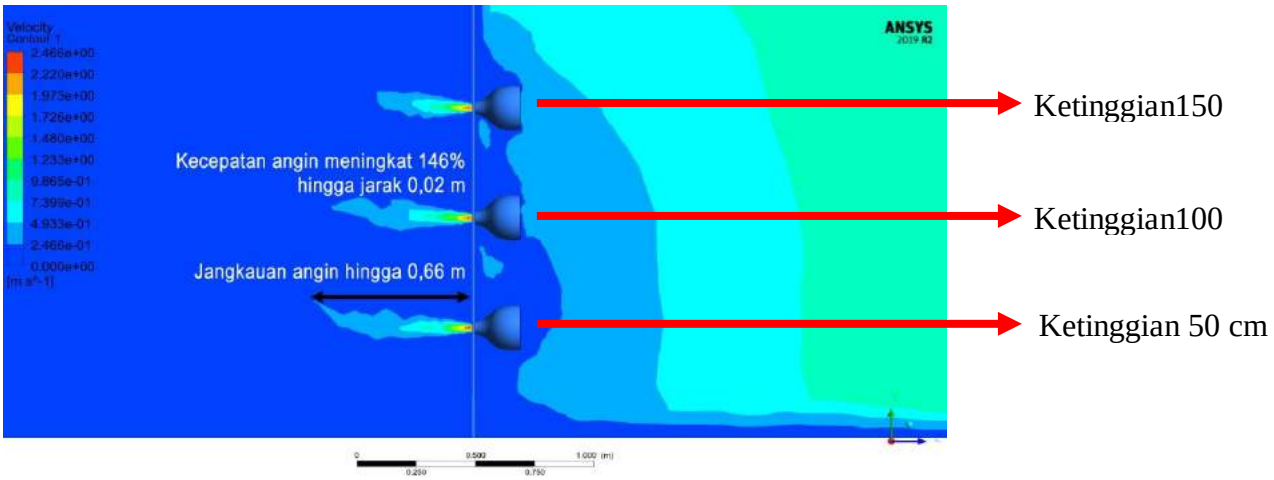
Dari hasil simulasi menggunakan CFD *Ansys*, pada simulasi model B sampel 2, ketinggian 150 cm jangkauan anginnya lebih baik daripada ketinggian 50 cm dan 100 cm yakni 1,25 meter. Sementara jarak jangkauan angin ketinggian 50 cm sekitar 0,67 meter dan ketinggian 100 sekitar 1,20 meter. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 150 cm berkisar 0,246 – 2,220 m/s. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 50 cm dan 100 cm hampir sama yakni berkisar 0,246 – 2,1 m/s. Dari ketiga ketinggian tersebut, ketinggian 150 cm memiliki jangkaun angin lebih baik dibanding yang lainnya, kecepatan angin yang masuk pun lebih baik.



Gambar 6. Hasil Simulasi Model B Sampel 2
Sumber: Penulis, 2020

Sampel 3

Simulasi model B sampel 3 ini lebih memiliki lekukan dibanding model A dengan inlet (D1) 20 cm, dan outlet (D2) 5 cm dengan 3 ketinggian yang berbeda yakni 50 cm, 100 cm dan 150 cm.



Gambar 7. Hasil Simulasi Model B Sampel 3
Sumber: Penulis, 2020

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

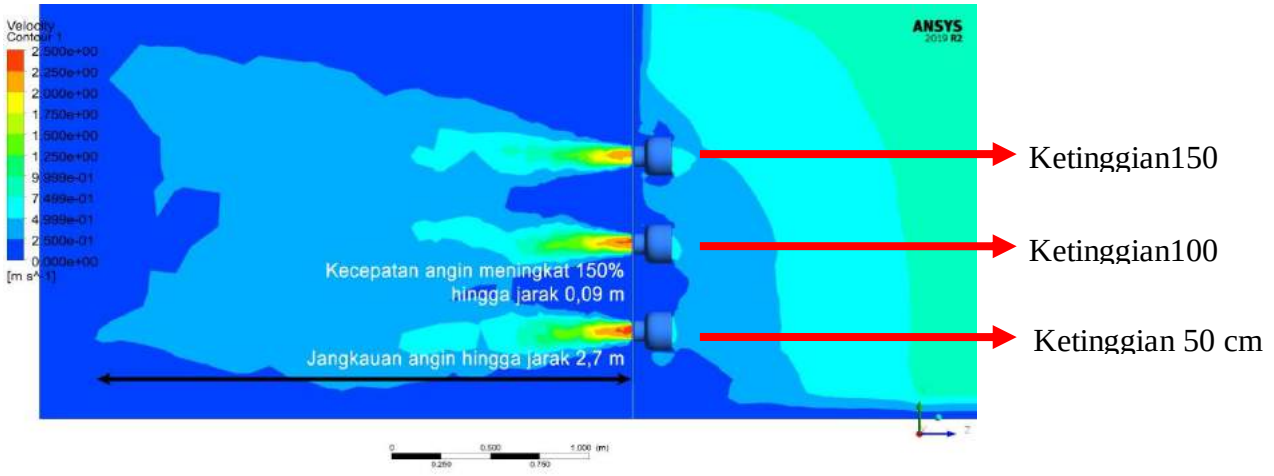
Dari hasil simulasi menggunakan CFD *Ansys*, pada simulasi model B sampel 3, ketinggian 50 cm jangkauan anginnya lebih baik daripada ketinggian 100 cm dan 150 cm yakni 0,66 meter. Sementara jarak jangkauan angin ketinggian 100 cm sekitar 0,6 meter dan ketinggian 150 sekitar 0,39 meter. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 50 cm,100 cm dan 150 cm hampir sama yakni berkisar 0,246 – 2,220 m/s. Dari ketiga ketinggian tersebut, ketinggian 50 cm memiliki jangkaun angin lebih baik. Untuk kecepatan angin yang masuk pada ketiga ketinggian tersebut hampir sama.

C. Simulasi Model C

Sampel 1

Simulasi model C sampel 1 ini menyerupai gelas dengan inlet (D1) 20 cm, dan outlet (D2) 10 cm dengan 3 ketinggian yang berbeda yakni 50 cm, 100 cm dan 150 cm.

Dari hasil simulasi menggunakan CFD *Ansys*, pada simulasi model C sampel 1, jangkauan angin ketinggian ketiganya hampir sama yakni sekitar 2,77 meter. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 150 cm berkisar 0,499 – 2,250 m/s. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 50 cm dan 100 cm hampir sama yakni berkisar 0,499 – 2,3 m/s. Dari ketiga ketinggian tersebut sama-sama memiliki jangkauan angin 2,77 meter. Untuk kecepatan angin yang masuk pada ketinggian 50 cm dan 100 lebih baik dibanding ketinggian 150 cm.



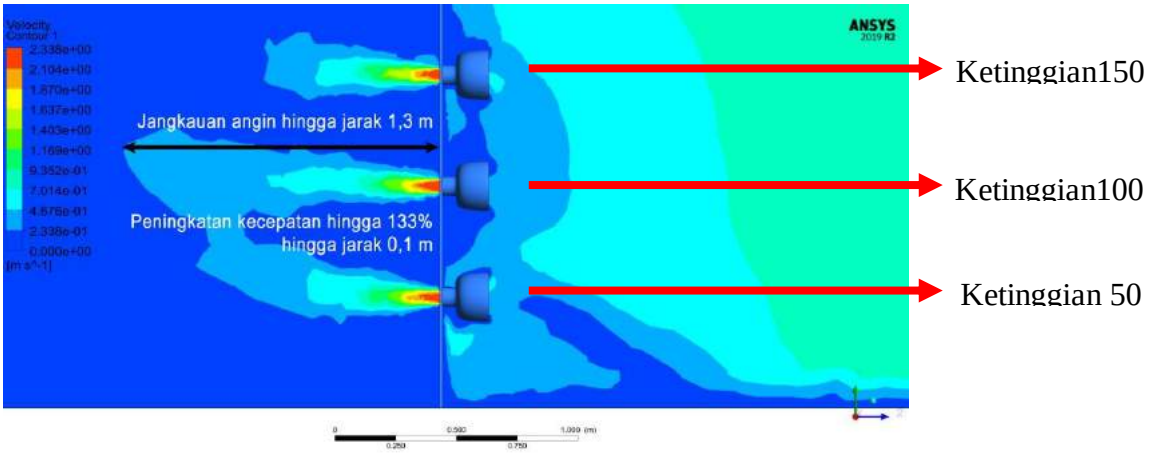
Gambar 8. Hasil Simulasi Model C Sampel 1
Sumber: Penulis, 2020

Sampel 2

Simulasi model C sampel 2 ini menyerupai gelas dengan inlet (D1) 20 cm, dan *outlet* (D2) 6,7 cm dengan 3 ketinggian yang berbeda yakni 50 cm, 100 cm dan 150 cm.

Dari hasil simulasi menggunakan CFD *Ansys*, pada simulasi model C sampel 2, jangkauan angin ketinggian 100 cm lebih baik daripada ketinggian lainnya yakni sekitar 1,33 meter. Sementara untuk ketinggian 50 cm sekitar 1 meter dan ketinggian 150 cm sekitar 0,75 meter. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 150 cm berkisar 0,467 – 2,338 m/s. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 50 cm dan 100 cm hampir sama yakni berkisar 0,467 – 2,2 m/s. Dari ketiga ketinggian tersebut jangkauan angin 100 cm yang paling baik dibanding yang lainnya. Untuk kecepatan angin yang masuk pada ketinggian 150 cm lebih baik dibanding ketinggian lainnya.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

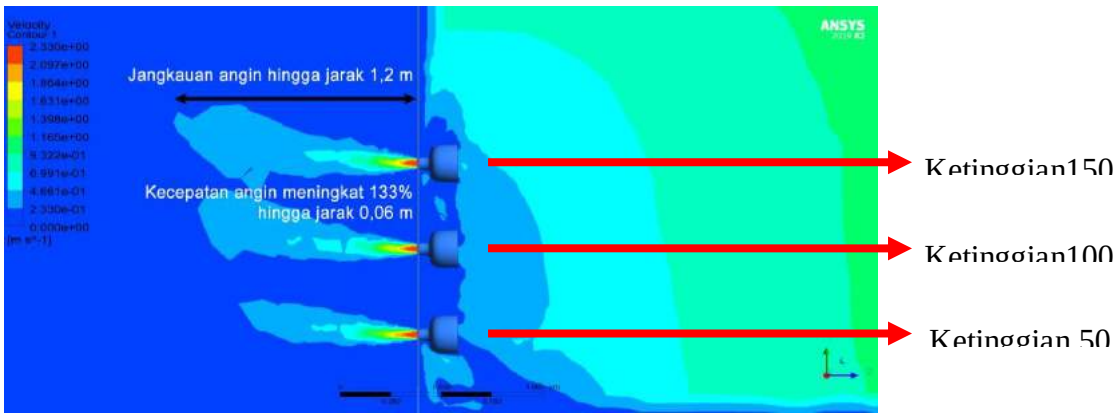


Gambar 9. Hasil Simulasi Model C Sampel 2
Sumber: Penulis, 2020

Sampel 3

Simulasi model B sampel 1 ini menyerupai gelas dengan inlet (D1) 20 cm, dan outlet (D2) 5 cm dengan 3 ketinggian yang berbeda yakni 50 cm, 100 cm dan 150 cm.

Dari hasil simulasi menggunakan CFD *Ansys*, pada simulasi model C sampel 3, jangkauan angin ketinggian 150 cm lebih baik daripada ketinggian lainnya yakni sekitar 1,2 meter. Sementara untuk ketinggian 50 cm sekitar 0,8 meter dan ketinggian 100 cm sekitar 1,1 meter. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 150 cm berkisar 0,466 – 2,33 m/s. Untuk kecepatan angin pada ketinggian 50 dan 100 cm berkisar 0,466 – 2,2 m/s. Dari ketiga ketinggian tersebut jangkauan angin 150 cm yang paling baik dibanding yang lainnya. Untuk kecepatan angin yang masuk pada ketinggian 150 cm juga lebih baik dibanding ketinggian lainnya.



Gambar 10. Hasil simulasi model C sampel 3
Sumber: Penulis, 2020

C. Perbandingan Model A, B dan C

Berdasarkan hasil dari semua simulasi tersebut, didapatkan hasil perbandingan sebagai berikut sesuai tabel 3.

Tabel 4. Perbandingan Model A, B dan C Berdasarkan Hasil Simulasi

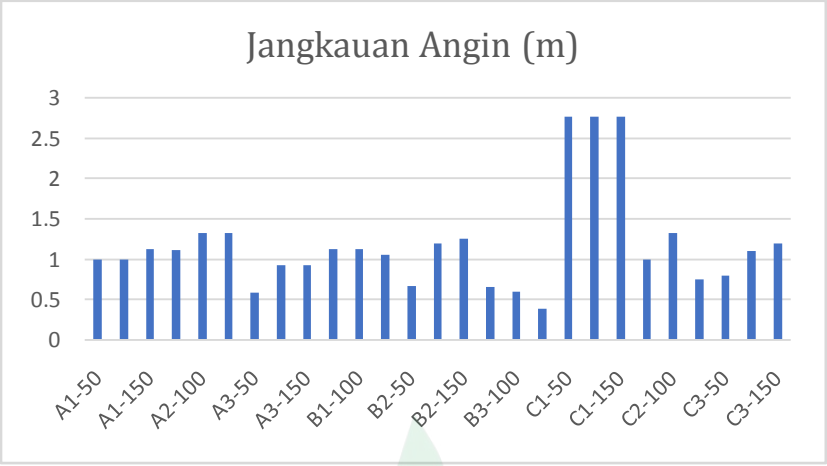
Model	Sampel	Ketinggian (cm)	Jangkauan Angin (m)	Kecepatan angin (m/s)
A	A1-50	50	1	0.458-2.064
	A1-100	100	1	0.458-2.064

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Model	Sampel	Ketinggian (cm)	Jangkauan Angin (m)	Kecepatan angin (m/s)
	A1-150	150	1.12	0.458-2.293
	A2-50	50	1.11	0.263-2.368
	A2-100	100	1.33	0.263-2.368
	A2-150	150	1.33	0.263-2.631
	A3-50	50	0.59	0.265-2.388
	A3-100	100	0.93	0.265-2.388
	A3-150	150	0.93	0.265-2.653
B	B1-50	50	1.12	0.246-2.22
	B1-100	100	1.12	0.246-2.22
	B1-150	150	1.05	0.246-2.466
	B2-50	50	0.67	0.246-2.1
	B2-100	100	1.2	0.246-2.1
	B2-150	150	1.25	0.246-2.22
	B3-50	50	0.66	0.246-2.22
	B3-100	100	0.6	0.246-2.22
	B3-150	150	0.39	0.246-2.22
C	C1-50	50	2.77	0.499-2.3
	C1-100	100	2.77	0.499-2.3
	C1-150	150	2.77	0.499-2.25
	C2-50	50	1	0.467-2.2
	C2-100	100	1.33	0.467-2.2
	C2-150	150	0.75	0.467-2.338
	C3-50	50	0.8	0.466-2.2
	C3-100	100	1.1	0.466-2.2
	C3-150	150	1.2	0.466-2.33

Sumber: Penulis, 2020

Dari tabel tersebut, hasilnya dapat dilihat perbandingannya pada grafik berikut.



Grafik 1. Perbandingan Jangkauan Angin Model A,B,dan C (m)
Sumber: Penulis, 2020

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 5. Perbandingan Jangkauan Angin Model A, B dan C Berdasarkan Hasil Simulasi

Model	Sampel	Ketinggian (cm)	Jangkauan Angin (m)	Rata2 Jangkauan Angin (m)
A	50	50	2.7	0.9
	100	100	3.26	1.1
	150	150	3.38	1.1
B	50	50	2.45	0.8
	100	100	2.92	1.0
	150	150	2.69	0.9
C	50	50	4.57	1.5
	100	100	5.2	1.7
	150	150	4.72	1.6
Rata-rata		50	3.2	1.1
		100	3.8	1.3
		150	3.6	1.2

Dari grafik 1 dan table 5, bisa dilihat bahwa dari semua model dan ketinggian, model C1 atau model C sampel 1 memiliki jangkauan angin yang lebih baik daripada semua model dengan jangkauan angin sekitar 2,77 meter dan memiliki kecepatan angin minimum paling besar berkisar 0,499 m/s dan posisi *Eco-Cooler* dengan ketinggian 100 cm memiliki jangkauan angin yang lebih baik daripada yang lainnya.

KESIMPULAN

Hasil dari pengukuran menujukkan bahwa semakin besar perbandingan inlet terhadap outlet maka distribusi kecepatan aliran angin lebih baik, sesuai dengan penelitian dari Gao (2018). Hal ini disebabkan karena adanya tekanan yang besar yang melalui corong *Eco-Cooler*.

Sementara hasil simulasi menujukkan, model C memiliki performa yang lebih baik dibanding model A dan B. Model ini mampu membuat jangkauan angin terpanjang dengan panjang sekitar 2,77 meter dan memiliki kecepatan angin minimum paling besar berkisar 0,499 m/s dan posisi *Eco-Cooler* dengan ketinggian 100 cm memiliki jangkauan angin yang lebih baik daripada yang lainnya.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membandingkan antara model tersebut dengan jendela yang dipakai pada umumnya.Kedepannya, *Eco-Cooler* diharapkan mampu menjadi alternative bukaan alami.

DAFTAR REFERENSI

Dewi, F. G. U. (2012). Pengaruh Kecepatan Dan Arah Aliran Udara Terhadap Kondisi Udara Dalam Ruangan Pada Sistem Ventilasi Alamiah. *Rekayasa Mesin*, *3*(2), 299–304.

Gao, R., Jiang, A., Modelling, S., Majumdar, S., & Tripathy, S. (2018). *Performance Evaluation of an Eco-Cooler analysed by varying the Physical and flow Parameters Performance Evaluation of an Eco-Cooler analysed by varying the Physical and flow Parameters*. https://doi.org/10.1088/1757-899X/377/1/012024

Hermanto, A., Suwono, A., Abdurrachim, & Pasek, dan A. D. (2005). Pengembangan Metode Simulasi Sistem Pengkondisian Udara Energi Surya. *Jurnal Teknik Mesin Volume 20*, *Vol.20*, 58–67.

I Gusti Ngurah Wiras Hardy.(2020). Konsep-Konsep Lokal Yang Melatarbelakangi Sistem Penghawaan Dan Pencahayaan Rumah Tradisional Di Dusun Pucung, Jawa Tengah. *Langkau Betang*, *7*.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Khan, A. H., Ahmed, Z., Islam, S., & Ghosh, A. K. (2019). ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect Evaluation of cooling capability of an eco-cooler : experimental and of cooling capability of an experimental and numerical analysis numerical analyses Assessing the feasibility of using the heat demand-outdoor te. *Energy Procedia*, *160*(2018), 100–107. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.124

Lee, S. C. dan M. C. (2000).Indoor and Outdoor Air Quality Investigation at Schools in Hong Kong.*PERGAMON Journal*.

Muhson, A. (2006). Teknik Analisis Kuantitatif. *Makalah Teknik Analisis II*, 1–7. http://staffnew.uny.ac.id/upload/132232818/pendidikan/Analisis+Kuantitatif.pdf

Naveenkumar, P., Raguraman, K., S, R. K., & Krishnaraj, M. (2018).*Design and Analysis of Eco Cooler*.*4*(2), 384–390.

P. Satwiko. (2009). *Fisika Bangunan.pdf*.

Rakhmawati, F. T., & ... (2016).Analisis Desain Ventilasi Alami dengan Metode Computational Fluid Dynamic Software *Ansys* Workbench pada Gedung Olahrga.*Jurnal ….*

Rilatupa, J. (2008). Aspek Kenyamanan Termal Pada Pengkondisian Ruang Dalam.*Juenal Sains Dan Teknologi EMAS*, *18*(3), 191–198.

Sadeghi, M., Wood, G., Samali, B., & de Dear, R. (2020).Effects of urban context on the indoor thermal comfort performance of windcatchers in a residential setting.*Energy and Buildings*, *219*, 110010. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110010

Sangkertadi.(2006). Peran Kecepatan Angin Terhadap Peningkatan Kenyamanan Termis Manusia di Lingkungan Beriklim Tropis Lembab.*Manusia Dan Lingkungan*, *13*(2), 71–89.

Suhendra.(2009). *Simulasi dan Modeling Aliran Udara Menggunakan CFD Pada Lantai Dua Masjid At-Tauhid ARH UI Salemba*. 140.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Reaktor, Vol. 15 No. 1, April 2014, Hal. 59-63

BIOBRIKET ENCENG GONDOK (*EICHHORNIA CRASSIPES*) SEBAGAI BAHAN BAKAR ENERGI TERBARUKAN

Muhammad Arief Karim, Eko Ariyanto[*)], dan Agung Firmansyah

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Palembang
Jln. A. Yani 13 Ulu Palembang, 30263, Indonesia, Telp. (0711)510820
[*)]Penulis Korespondensi: ekochemump2002@yahoo.com

Abstract

WATER HYACINTH (*EICHHORNIA CRASSIPES*) BIOBRIQUETES AS RENEWABLE ENERGY SOURCE. *Depletion of fossil energy reserves as a result of increased population growth and industrial sectors. Biomass can be considered as the best option for alternative renewable energy. The objective of this study was to investigate the possibility of water hyacinth (Eichhornia crassipes) to produce bio-briquette. The briquetting experiment was conducted with different both of tapioca strach and wood glue adhesive. The presentage of adhesive was 4%, 6%, 8%, 10%, and 12%. The briquettes were tested to evalueted water content, ash content and calorific value. The results showed that the value of water content and ash content increased by increasing presentage adhesive on bio-briquete. However, the calorific value reached the maximum point of 10 % and 8 % for addition tapioca strach and wood glue adhesive, respectively.*

Keywords: *biobriquetes; renewable energy; water hyacinth*

Abstrak

Menipisnya cadangan energi fosil sebagai akibat dari meningkatnya pertumbuhan penduduk dan sektor industri. Biomassa dapat dianggap sebagai pilihan terbaik untuk energy alternatif terbarukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengamati kemungkinan eceng gondok (Eichhornia crassipes) untuk diolah menjadi bio-briket. Penelitian briket dilakukan dengan menggunakan tepung tapioka dan lem kayu sebagai perekat. Dengan persentase perekat adalah 4%, 6%, 8%, 10%, dan 12%. Bio-briket yang dihasilkan diamati kadar air evalueted, kadar abu dan nilai kalor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kadar air dan kadar abu meningkat dengan meningkatnya presentasi perekat pada bio-briket. Namun, nilai kalor mencapai titik maksimum 10% dan 8% untuk masing-masing penambahan tapioka strach dan lem kayu perekat.

Kata kunci: *biobriket; energi terbarukan; eceng gondok*

How to Cite This Article: Karim, M.A., Ariyanto, E., dan Firmansyah, A., (2014), Biobriket Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan, Reaktor, 15(1), 59-63, http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.15.1.59-63

PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber energi fosil yang berlebihan dapat mengakibatkan semakin menipisnya ketersediaan sumber energi tersebut. Ketergantungan Indonesia pada energi fosil membuat produksi minyak bumi menurun drastis. Keadaan ini didorong oleh peningkatan dan pertumbuhan sektor industri dan penduduk. Menipisnya cadangan energi fosil harus segera diimbangi dengan penyediaan energi alternatif yang dapat diperbaharui, melimpah jumlahnya, dan murah harganya sehingga terjangkau oleh masyarakat luas (Elfiano dkk., 2014).

Berbagai solusi telah dilakukan oleh para ilmuan untuk mengatasi ketergantungan terhadap sumber energi tak terbarukan. Diantara berbagai solusi tersebut adalah dengan memanfaatkan energi terbarukan seperti biomassa. Energi biomassa dengan metode pembriketan adalah mengkonversi bahan baku padat menjadi suatu bentuk hasil kompaksi yang lebih mudah untuk digunakan (Husada, 2008). Penggunaan biobriket sebagai bahan bakar merupakan salah satu solusi alternatif untuk menghemat pemakaian bahan bakar fosil dan dalam penggunaan secara berkelanjutan dapat mengurangi dampak emisi karbon (Saputata dkk., 2013).

Sumber bahan baku biobriket dari bahan hayati adalah kulit kopi (Suarez dan Luengo 2003), ampas tebu dan kayu (Elfiano dkk., 2014), dan tongkol

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

jagung (Sinurat, 2011). Butiran halus bioarang dari hasil karbonisasi bahan hayati membutuhkan perekat sehingga biobriket tidak mudah hancur. Jenis perekat berpengaruh terhadap kadar air, kadar abu dan nilai kalor. Kadar air semakin rendah jika jumlah bioarang semakin banyak (Ndraha, 2009).

Terdapat dua golongan perekat dalam pembuatan biobriket, yaitu perekat yang berasap (tar, *pitch*, *clay*, dan molases) dan perekat yang kurang berasap (pati, dekstrin, dan tepung beras) (Saleh, 2013). Pemakaian tar, *pitch*, *clay*, dan molases sebagai bahan perekat menghasilkan biobriket yang berkekuatan tinggi tetapi mengeluarkan banyak asap jika dibakar yang disebabkan adanya komponen yang mudah menguap. Bahan perekat pati, dekstrin, dan tepung beras akan menghasilkan biobriket yang tidak berasap dan tahan lama tetapi nilai kalornya tidak tinggi. Bahan perekat dari tumbuh-tumbuhan seperti pati (tapioka) memiliki keuntungan dimana jumlah perekat yang dibutuhkan untuk jenis ini jauh lebih sedikit dibandingkan dengan bahan perekat hidrokarbon (Saleh, 2013). Bahan perekat tapioka memiliki kelemahan yaitu sifatnya dapat menyerap air dari udara sehingga tidak baik apabila berada dalam kelembaban udara yang tinggi. Karakteristik bahan baku perekat untuk pembuatan biobriket adalah memiliki gaya *kohesi* yang baik bila dicampurkan dengan bioarang, mudah terbakar, tidak berasap, mudah didapat dalam jumlah banyak dan murah harganya dan tidak mengeluarkan bau, tidak beracun dan tidak berbahaya (Fachry dkk., 2010).

Jenis perekat yang digunakan adalah salah satu faktor penting yang harus dipertimbangkan saat pembriketan dengan tujuan agar biobriket akan melepaskan panas maksimum. Dan tujuan pembuatan biobriket adalah untuk menghasilkan sumber bahan bakar yang baik dan efisien energi yang tinggi maka penggunaan persentase bahan perekat adalah salah satu campuran yang harus dipertimbangkan.

Beberapa hasil penelitian nilai kalor biobriket dari berbagai media antara lain eceng gondok (2785 kal/g) (Supatata dkk., 2013) dan serbuk kayu (4820 kal/g) (Akowuah dkk., 2012).

Pada penelitian ini, eceng gondok dipilih sebagai bahan biomassa yang kemudian dibuat menjadi biobriket bioarang. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) adalah salah satu jenis tumbuhan air mengapung. Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang merusak lingkungan perairan. Eceng gondok dengan mudah menyebar melalui saluran air ke badan air lainnya. Pertumbuhan eceng gondok yang cepat terutama disebabkan oleh air yang mengandung nutrien yang tinggi, terutama yang kaya akan nitrogen, fosfat dan potassium. Analisa nilai kalor, kandungan air dan sulfur dilakukan pada biobriket eceng gondok ini untuk mengetahui karakteristik pembakaran sehingga biobriket ini berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan penelitian ini berupa eceng yang didapatkan di Sungai Musi Palembang, Ssumatera Selatan. Bahan perekat terdiri dari tepung tapioka dan lem kayu. Tepung tapioka diperoleh dari pasaran dengan spesifikasi *moisture* (max. 14,3), protein (11,0-12,5%), abu (max. 0,64%) dan Gluten Wet (min 26,5%). Jenis lem kayu yang digunakan adalah jenis lem Epoxy.

Proses Pengolahan Bahan Menjadi Arang

Enceng gondok dibersihkan dari kotoran yang terbawa dengan dicuci menggunakan air bersih. Eceng gondok yang telah dipotong kecil-kecil (± 3 cm) dikeringkan di bawah sinar matahari selama 2 hari untuk mengurangi kadar air. Proses pengarangan enceng gondok menggunakan furnace dengan suhu 400^0C selama 1 jam. Setelah dikeluarkan dari dalam furnace, lalu arang bioarang enceng gondok dihaluskan lalu dan diayak ukuran 35 mesh.

Proses Pencampuran Arang dengan Perekat

Bioarang dari proses karbonasi digiling atau dihaluskan dan diayak kemudian ditambahkan perekat yang telah disiapkan dengan perbandingan 4, 6, 8, 10, dan 12% bagian perekat dari berat arang dan diaduk hingga semuanya tercampur secara merata. Beri label pada tiap campuran sesuai perlakuan.

Proses Pencetakan Biobriket

Dimasukkan bahan biobriket yang sudah dicampur ke dalam alat pencetak biobriket. Biobriket dikeringkan dengan oven pada suhu 80°C selama ± 10 jam. Biobiobriket dikeluarkan dari dalam oven dan dibiarkan sampai dingin. Dan biobiobriket yang dihasilkan kemudian diuji kualitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

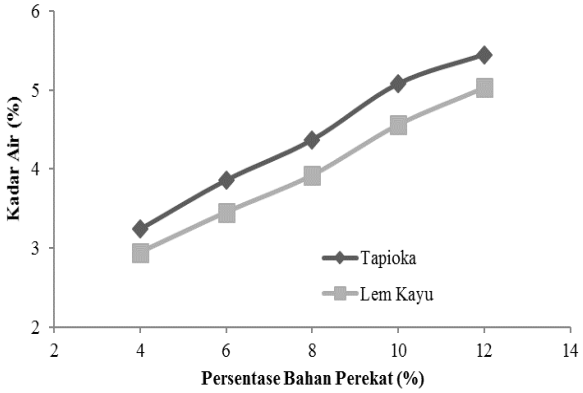
Analisa Kadar Air

Kadar air menentukan kualitas biobriket dan karakteristik pembakaran. Semakin tinggi kadar air, maka semakin sulit biobriket tersebut terbakar. Tingkat kadar air membantu dalam proses penyimpanan dimana untuk mencegah terjadinya proses kelembaban. Menurut Misha dan Grover (1996) presentase kadar air yang sesuai dengan standard adalah 10-15%. Dalam kisaran tersebut biobriket lebih stabil dan tahan lama.

Dari hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 1 kadar air yang terdapat pada biobriket enceng gondok berbanding lurus dengan penambahan perekat yang dilakukan, dimana semakin banyak perekat yang dicampurkan pada biobriket maka semakin tinggi kadar air yang dimiliki oleh biobriket tersebut. Dari data hasil pada Gambar 1 menunjukkan bahwa kandungan air dari biobriket dengan campuran perekat tapioka adalah antara 3,24-5,45% dan lem kayu antara 2,94-5,03%. Biobriket dengan persentase perekat terendah yaitu 4% memiliki kadar air paling

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sedikit yaitu 2,9% untuk perekat lem kayu dan 3,24% untuk perekat tapioka. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perekat memberi pengaruh yang berarti terhadap kadar air yang terkandung dalam biobriket.



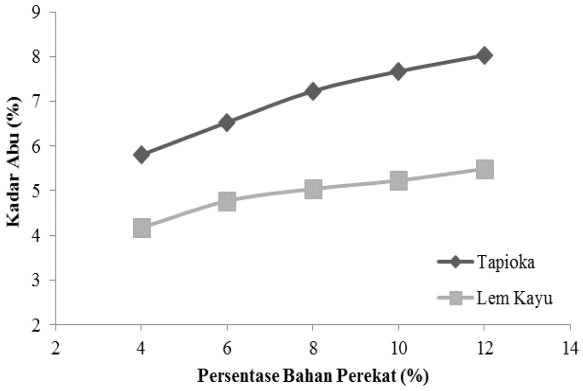
Gambar 1. Pengaruh jumlah perekat terhadap % kadar air

Pengaruh jenis perekat terhadap kadar air dapat dilihat pada Gambar 1. Dari Gambar 1 terlihat kadar air tertinggi terdapat pada perekat dari tapioka. Kadar air yang besar ini disebabkan karena adanya ikatan kimia air di dalam tapioka. Kadar air tertinggi pada 5,45% pada jenis perekat tepung tapioka dengan jumlah perekat 12% sedangkan kadar air terendah sebesar 2,94% terdapat pada jenis perekat dari lem kayu dengan jumlah perekat 4%. Faktor lain adalah pada pencampuran dengan menggunakan lem kayu menghasilkan biobriket yang kurang berpori sehingga tidak mudah air dilepaskan pada waktu pengeringan. Dengan kadar air yang tinggi dalam biobriket, memerlukan panas yang tinggi untuk menguapkan air dan kadang-kadang briket terbelah menjadi potongan-potongan kecil pada tingkat pembakaran rendah dan sehingga lebih sedikit panas yang dihasilkan oleh pembakaran biobriket dansebagai akibatnya asap yang dihasilkan akan banyak (Akowuah dkk., 2012).

Analisa Kadar Abu

Kadar abu adalah persentase dari zat-zat yang tersisa dari proses pembakaran dan sudah tidak memiliki unsur karbon. Semakin tinggi kadar abu dalam suatu biobriket maka kualitas biobriket akan semakin rendah, karena kandungan abu yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor dari biobriket. Dari Gambar 2 dapat dilihat pengaruh jumlah perekat terhadap nilai kadar abu dari biobriket hasil penelitian.

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan tapioka sebagai perekat menghasilkan kadar abu yang tinggi dibandingkan menggunakan perekat lem kayu. Kadar abu biobriket arang enceng gondok tertinggi adalah 8,03% pada jenis perekat 12% tapioka dan kadar abu terendah 4,17% pada jenis perekat 4% lem kayu. Tingginya kadar abu pada perekat tapioka disebabkan karena tapioka memiliki molekul karbohidrat, amilosa, dan amilopektin, yang terdiri dari unsur karbon, hidrogen, dan oksigen, sehingga strukturnya mudah berubah menjadi abu setelah proses pembakaran. Kadar abu adalah komponen biomassa yang tidak mudah terbakar dan mempengaruhi proses transfer panas ke permukaan biobriket dan juga difusi oksigen ke permukaan biobriket selama proses pembakaran (Katimbo dkk., 2014). Kadar abu yang tinggi menghasil emisi debu yang dapat menyebabkan polusi udara dan mempengaruhi volume pembakaran dan efisiensi. Semakin tinggi kadar abu biobriket, semakin rendah nilai kalori dan mempengaruhi laju pembakaran karena rendahnya transfer panas ke bagian dalam biobriket dan difusi oksigen ke permukaan briket arang selama pembakaran.



Gambar 2. Pengaruh jumlah perekat terhadap % kadar abu.

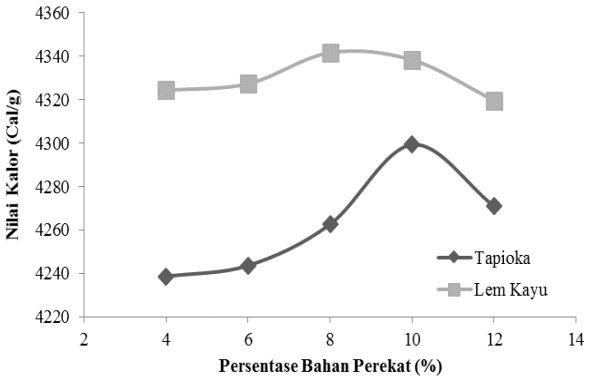
Menurut Standar Nasional Indonesia mensyaratkan kadar abu maksimal tidak melebihi 5,51% tetapi pada biobriket enceng gondok yang memenuhi hanya campuran perekat lem kayu 4% dengan nilai 4,17%, 6% dengan nilai 4,77% dan 8% dengan nilai 5,04%. Sedangkan campuran perekat tepung tapioka melebihi kadar maksimal abu yang ditetakan.

Analisa Nilai Kalor

Dari Gambar 3 didapat nilai kalor biobriket arang enceng gondok yang tertinggi dengan jenis perekat lem kayu dengan jumlah perekat 8% yaitu sebesar 4341,67cal/g. Nilai kalor terendah pada jenis perekat tapioka dengan jumlah perekat 4% yaitu 4238,67 cal/g.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa jenis perekat dan jumlah perekat sangat mempengaruhi nilai kalor biobriket. Penambahan perekat lem kayu 8% mencapai titik maksimum nilai kalor biobriket yang mencapai 4341,67 cal/g dan 10% menggunakan perekat tapioka yang mencapai titik maksimum nilai kalor 4299,33 cal/g. Pencapaian titik maksimum nilai kalor dikarenakan kepadatan biobriket mencapai titik maksimum sehingga menghasilkan penurunan density biobriket dan menurunkan nilai kalor (Islam dkk., 2014).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

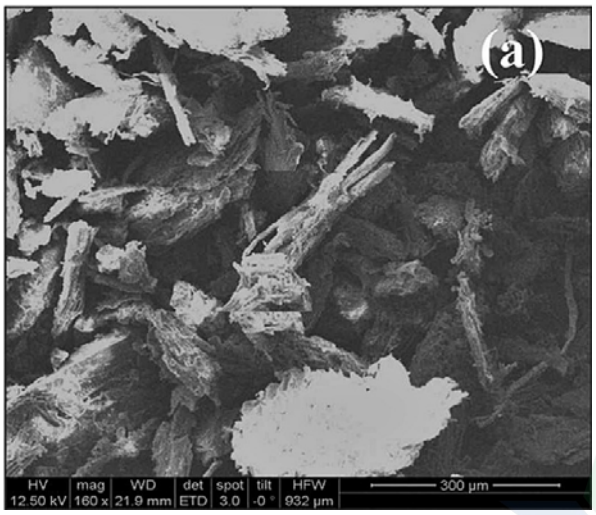


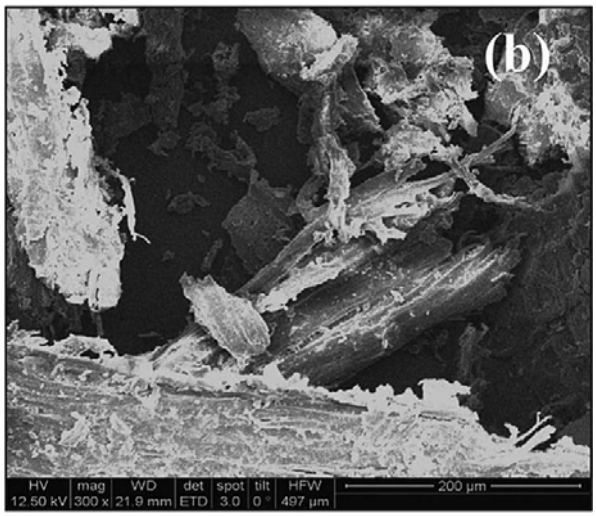
Gambar 3. Pengaruh jumlah perekat (%) terhadap nilai kalor (cal/gr) dalam berbagai jenis perekat

Jenis perekat lem kayu tidak terlalu banyak mengandung air sehingga nilai karbon dari biobriket tersebut besar. Nilai karbon yang besar menyebabkan besarnya nilai kalor dari suatu biobriket. Sedangkan pembuatan biobriket yang menggunakan jenis perekat dari tapioka mengandung banyak air sehingga kandungan air ini mempengaruhi kecilnya nilai kalor yang dihasilkan. Dengan rendahnya kadar air, maka kalor yang ditentukan untuk menguapkan air juga sedikit, sehingga energi kalor yang tersisa pada biobriket akan semakin besar.

Analisa Karakteristik

Karakteristik biobriket eceng gondok dapat dilihat pada Gambar 4. Struktur morfologi biobriket dari berbagai perekat yang digunakan yang dianalisa menggunakan Scanning Elektron Microscope pada 25 kv. Struktur morfologi biobriket dengan menggunakan perekat lem kayu pada 8% (Gambar 4a) menunjukkan struktur berserat dan kasar yang beragam, sedangkan biobriket menggunakan perekat tapioka (Gambar 4b) menunjukkan massa struktur serat yang longgar.





Gambar 4. Analisa Biobriket dengan SEM. (a) Perekat Lem Kayu; (b) Perekat Tapioka

KESIMPULAN

Hasil penelitian dan pengujian biobriket eceng gondok terhadap jenis perekat yang digunakan dapat disimpulkan bahwa pengaruh bahan perekat dan komposisinya memberi pengaruh yang sangat siginifikan terhadap kadar air, kadar abu dan nilai kalor yang dihasilkan.

Kadar air tertinggi pada jenis perekat tepung tapioka dengan jumlah perekat 12% sedangkan kadar air terendah terdapat pada jenis perekat dari lem kayu dengan jumlah perekat 4%. Tingginya kadar air pada perekat tapioka disebabkan adanya ikatan kimia air di dalam tapioka.

Kadar abu biobriket arang enceng gondok tertinggi adalah pada jenis perekat tepung tapioca. Tingginya kadar abu pada perekat tapioka disebabkan adanya molekul kimia yang dapat berubah menjadi abu pada saat pembakaran seperti molekul karbohidrat, amilosa, dan amilopektin, yang terdiri dari unsur karbon, hidrogen, dan oksigen, sehingga strukturnya mudah berubah menjadi abu setelah proses pembakaran.

Penambahan perekat lem kayu 8% mencapai nilai maksimum kalor biobriket yang dihasilkan dan 10% menggunakan perekat tapioka. Pencapaian titik maksimum nilai kalor dikarenakan kepadatan biobriket mencapai titik maksimum sehingga menghasilkan penurunan density biobriket dan menurunkan nilai kalor.

Pembuatan biobriket arang enceng gondok mampu meningkatkan nilai kalor arang enceng gondok yang hanya 3300 cal/gr menjadi 4341cal/gr, namun belum mampu mencapai nilai kalor seperti biobriket batubara dengan nilai kalor mencapai 6000 cal/gr.

DAFTAR PUSTAKA

Akowuah, J.O., Kemausuor, F., and Mitchual, S.J., (2012), Physico-Chemical Characteristics and Market

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Potential of Sawdust Charcoal Briquette, *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 3(20), pp. 1-6.

Elfiano, E., Natsir, M., and Indra, D., (2014), Analisa Proksimat Briket Bioarang Campuran Limbah Ampas Tebu Dan Arang Kayu, *Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Trisakti, 1-6, Vol.KE14, ISBN:978-602-70012-0-6*

Fachry, A.R., Sari, T.I., Dipura, A.Y., and Najamudin, J., (2010), Teknik Pembuatan Briket Campuran Eceng Gondok dan Batubara sebagai Bahan Bakar Alternatif bagi Masyarakat Pedesaan, *Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi ke 16*, Jakarta. 52-58, Vol.16, ISBN:978-979-95620-6-7

Husada, T.I. (2008), Arang Briket Tongkol Jagung Sebagai Energi Alternatif, *Laporan Hasil Penelitian Program Inovasi Mahasiswa Provinsi Jawa Tengah*, Universitas Negeri Surakarta, Semarang.

Islam, M.H., Hossain, M.M., and Momin, M.A., (2014), Development of Briquette from Coir Dust and Rice Husk Blend: An Alternative Energy Source, *International Journal of Renewable Energy Development*, 3(2), pp. 119-123.

Katimbo, A., Kiggundu, N., Kizito, S., Kivumbi, H.B., and Tumutegyereize, P., (2014), Potential of Densification of Mango Waste and Effect of Binders on Produced Briquettes, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(4), pp.146-155.

Mishra, S.K. and Grover, P.D., (1996), *Biomass Briquetting: Technology and Practices*, Bangkok, Food And Agriculture Organization Of The United Nations.

Ndraha, N., (2009), *Uji Komposisi Bahan Pembuat Briket Bioarang Tempurung Kelapa dan Serbuk Kayu Terhadap Mutu yang Dihasilkan*, Universitas Sumatera Utara.

Saleh, A., (2013), Efisiensi Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka Terhadap Nilai Kalor Pembakaran Pada Biobriket Batang Jagung (*Zea Mays L.*), *Jurnal Teknosains*, 7(1), pp. 78-89.

Sinurat, E., (2011), *Studi Pemanfaatan Briket Kulit Jambu Mete Dan Tongkol Jagung Sebagai Bahan Bakar Alternatif*, Universitas Hasanuddin.

Suarez, J.A. and Luengo, C.A., (2003), Coffee Husk Briquettes: A New Renewable Energy Source, *Energy Sources*, 25(10), pp. 961-967.

Supatata, N., Buates, J., and Hariyanont, P., (2013), Characterization of Fuel Briquettes Made from Sewage Sludge Mixed with Water Hyacinth and Sewage Sludge Mixed with Sedge, *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(2), pp. 179-181.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DISTILAT
Jurnal Teknologi Separasi

Distilat. 2020, 6 (2), 445-450
p-ISSN : 1978-8789, e-ISSN : 2714-7649
http://distilat.polinema.ac.id

BIODIESEL SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN: PROSES DAN TEKNOLOGI TERKINI

Muhammad Jazuli, Agung Ari Wibowo,
Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia
mjazuli996@gmail.com, [agung.ari@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Kebutuhan akan bahan bakar fosil sedang melonjak naik akibat permintaan pasar dunia yang terlalu banyak. Oleh karena itu solusinya dengan mencari sumber energi alternatif baru pengganti bahan bakar fosil tersebut, salah satunya pengolahan biodiesel. Biodiesel dapat diproduksi dengan kelapa sawit, jarak pagar, kelapa, dan lain-lain. Bahan-bahan tersebut dapat diproses dan diolah sedemikian rupa hingga menghasilkan biodiesel. Disamping itu, banyak sekali macam-macam teknologi proses dan pengolahan yang diterapkan pada biodiesel ini, diantaranya proses esterifikasi-transesterifikasi, teknologi pengunaan membran, teknologi superkritis dan sebagainya. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji pentingnya terobosan energi terbarukan khususnya biodiesel di dalam aspek kehidupan.

***Kata kunci**: bahan bakar fosil, biodiesel, teknologi*

ABSTRACT

The need for fossil fuels is soaring due to excessive world market demand. Therefore, we must find new alternative energy sources to replace fossil fuels, one of which is biodiesel processing. Biodiesel can be produced with oil palm, jatropha, coconut, and others. These materials can be processed and processed in such a way as to produce biodiesel. Besides that, there are many kinds of processing and processing technologies applied to this biodiesel, including esterification-transesterification process, membrane usage technology, supercritical technology and so on. This article aims to examine the importance of renewable energy breakthroughs, especially biodiesel in aspects of life..

***Keywords**: fosil fuel, biodiesel, technology*

1. PENDAHULUAN

Bahan Baku Nabati (BBN) adalah sebuah program pemerintah dimana tugasnya memfokuskan BBN sebagai pengganti sumber energi bahan bakar fosil. Melihat kondisi tersebut pemerintah telah memberikan perhatian serius untuk pengembangan bahan bakar nabati (disebut sebagai biofuel, yang terdiri dari biodiesel, bioetanol dan pure plant oil) dengan menerbitkan Instruksi Presiden nomor 1 tahun 2006 tanggal 26 Januari 2016 tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati sebagai bahan bakar alternatif [1]. Pemerintah berhasil menjalankan mandatori B-20 dimana pemakaian bahan bakar yang terdiri dari campuran 20% biodiesel dan 80% minyak solar. Disamping itu pemerintah juga memberikan solusi untuk mengurangi tekanan impor bahan bakar dan mengatasi ancaman keamanan energi [2]. Pengembangan bioenergi juga menjadi terobosan baru untuk

Corresponding author: Jurusan Teknik Kimia
Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno-Hatta No.9, Malang, Indonesia
E-mail: agung.ari@polinema.ac.id

Diterima: 14 Agustus 2020
Disetujui: 25 Agustus 2020
© 2020 Politeknik Negeri Malang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

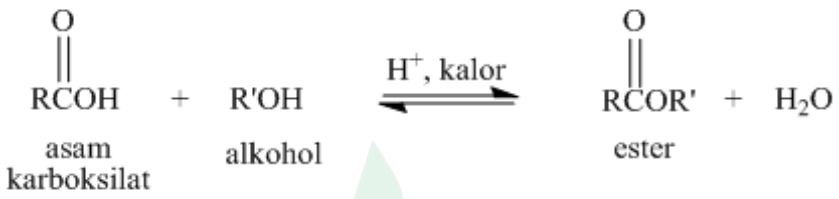
mempertahankan kelestarian lingkungan dibandingkan energi fosil yang digunakan saat ini [2]. Secara langsung maupun tidak langsung pengembangan biodiesel adalah suatu cara untuk menurunkan harga komoditas pertanian masyarakat dan daerah [3]. Selain itu peningkatan produksi biofuel juga dipengaruhi oleh perspektif negara berkembang yang melihat biofuel sebagai peluang ke pasar internasional [4].

2. KONDISI SEKTOR BIODIESEL

Terbatasnya sumber daya dan cadangan minyak yang dimiliki saat ini diprediksi bahwa Indonesia masih akan tergantung dengan penyediaan minyak di dunia. Terlepas dari itu, sampai saat ini Indonesia juga masih memproduksi biodiesel yang memfokuskan bahan baku utama berupa kelapa sawit, alasan mengapa dipilihnya kelapa sawit sebagai bahan baku utama adalah ketersediaannya yang mencapai presentase 90%, selain itu kelapa sawit juga mampu berkompetitif dengan bahan-bahan lainnya, entah itu dari segi komersial, segi pengolahan, dan lain-lain [5,6]. Di tahun 2016 CPO yang berjumlah 3,4 juta ton digunakan untuk biodiesel [7], karena banyaknya perkebunan sawit yang sangat melimpah di negara, dapat menghasilkan CPO setengah dari produksi global [8]. Beberapa negara seperti Amerika memproduksi biodiesel mencapai 10,67 juta ton pada tahun 2006, dan negara Brazil sebagai produksi terbesar ke 2 di dunia memproduksi 9,59 juta ton. Disamping itu sejak tahun 2006 penggunaan biofuel di dunia meningkat empat kali lipat dari biasanya, perdagangan biofuel pun semakin meningkat di pasar internasional dan ini sangat menguntungkan. Bukan hal yang tidak mungkin mengingat Indonesia pernah menjadi pengekspor minyak bumi terbesar dan menjadi anggota (OPEC) memiliki puluhan hektar perkebunan kelapa sawit yang banyak sekali manfaatnya sebagai bahan makanan dan bahan baku utama pembuatan biodiesel [9 – 13].

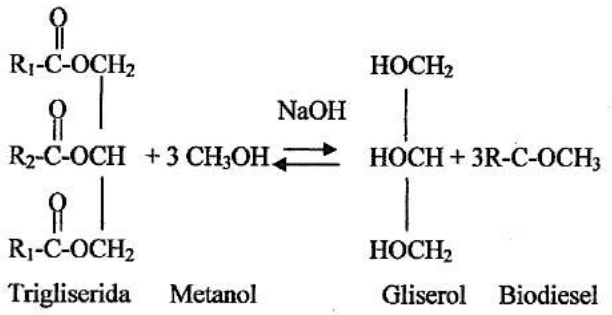
3. REAKSI ESTERIFIKASI-TRANSESTERIFIKASI PADA BIODIESEL

Dalam pemanfaatan biodiesel tentunya tidak luput juga dari istilah reaksi esterifikasi dan transesterifikasi. Dimana reaksi esterifikasi adalah reaksi antara asam karbosilat dan alkohol [14]. Esterifikasi dilakukan dengan menggunakan katalis enzim (lipase) dan asam anorganik (asam sulfat atau asam klorida), dengan banyak variasi macam-macam alkohol seperti etanol, metanol dan lain-lain [15]. Disamping itu, banyak sekali faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi esterifikasi pada biodiesel diantaranya pengaruh katalis, perbandingan mol metanol dan asam lemak bebas, suhu, waktu, konversi, dan kandungan air yang terdapat pada minyak [16] . Dalam proses esterifikasi dan transesterifikasi biodiesel, minyak yang dihasilkan harus dalam keadaan bersih dan dipastikan tidak ada kandungan air di dalamnya. Jika terdapat semacam zat pengotor dan ada sedikit kandungan air yang terkandung maka proses esterifikasi dan transesterifikasi akan menghasilkan sabun yang mempersulit pengendapan dan pemisahan gliserol [17].



Gambar 1. Reaksi esterifikasi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 2. Reaksi transesterifikasi

4. JENIS-JENIS KATALIS DALAM PROSES BIODIESEL

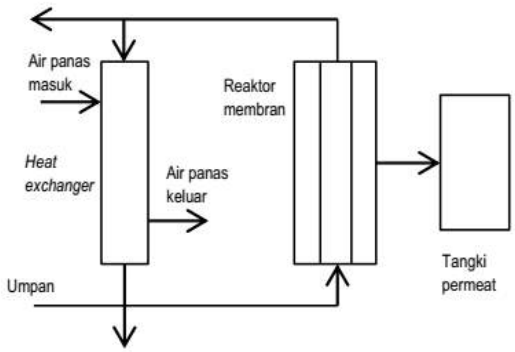
Setelah membahas tentang reaksi esterifikasi dan transesterifikasi, dapat diketahui bahwa proses tersebut sangatlah penting dalam pembuatan biodiesel. Suatu proses dapat dipercepat dengan sebuah bantuan katalis. Katalis sendiri merupakan suatu zat yang dapat mempercepat reaksi/laju reaksinya, katalis sendiri dibedakan menjadi 2 jenis yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen biasanya bereaksi dengan satu atau lebih pereaksi dan membentuk perantara kimia lalu membentuk suatu produk akhir [18]. Contoh dari katalis homogen adalah H_2SO_4 dan NaOH, suatu penelitian melakukan proses transesterifikasi dari minyak kemiri dengan bantuan katalis H_2SO_4 dan perbandingan mol 1:1 hingga 1:3, dilakukan pada suhu 65°C dan kurun waktu selama 2 jam dihasilkan 2 lapisan, terdapat lapisan atas berupa metil ester dan lapisan bawahnya gliserol [19].

Sedangkan katalis heterogen merupakan katalis yang fasanya tidak sama dengan reaktan dan produk. Katalis heterogen biasanya memiliki bentuk padat dan digunakan pada reaktan yang berwujud cair atau gas. Contoh katalis heterogen adalah K_3PO_4, suatu penelitian dilakukan dengan konsentrasi berat katalis K_3PO_4 masing-masing 5,10,15% dan dikeringkan lalu dikalsinasi pada suhu 550°C menghasilkan NaZSM-5 didapatkan hasil hubungan presentase kristalinitas dengan presentase K3PO4 pada sintesis NaZSM-5. Dengan meningkatnya jumlah K3PO4 pada sintesis NaZSM-5 maka presentase kristalinitas menurun [20].

5. TEKNOLOGI MEMBRAN PADA BIODIESEL

Cukup banyak sekali penerapan teknologi yang dilakukan pada biodiesel guna mendapatkan kemurnian yang sangat tinggi, salah satunya dengan membran. Teknologi ini sangat banyak diminati oleh peneliti karena menghasilkan dan mampu menyaring biodiesel dengan kemurnian tinggi, di samping itu membran juga memiliki keunggulan yaitu selektivitas yang tinggi, tahan terhadap thermal stress, luas permukaan yang tinggi per unit volum, dan lain-lain. Mikrofiltrasi, nanofiltrasi, reverse osmosis adalah macam proses yang ada di membran [21]. Aplikasi membran reaktor digunakan pada produksi biodiesel sebagai bahan bakar renewable dan terbarukan dioperasikan secara *cross-flow*. Biaya modal tinggi diperlukan dalam pola aliran ini, di samping itu biaya pengoperasian tidak terlalu tinggi karena jika membran dibersihkan secara berkala maka akan memiliki umur panjang (awet) [22].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 3. Skematik diagram biodiesel dengan reaktor membran [23]

Di dalam membran reaktor terjadi proses pencampuran reaksi kimia dan senyawa. Temperatur berperan penting dalam reaksi ini, karena temperature dapat merubah pencampuran reaksi kimia itu sendiri. Kemurnian produk biodiesel pun akan tercapai jika diterapkan sistem membran 2 fasa [24].

Reaktor membran berguna saat biodiesel dari minyak lemak tanaman yang tidak bereaksi. Dimana pemisahan minyak lemak tanaman ini tidak dapat dilakukan di reaktor yang bersifat konvensional [25]. Pemisahan dengan membran tergantung pada material yang digunakan dan tekanan pada pemisahan. Proses membran yang biasa digunakan untuk pemisahan biodiesel adalah ultraviltrasi, mikrofiltrasi dan pervaporasi. Dalam proses ini juga menghilangkan produk-produk samping pada proses biodiesel seperti kandungan air, dan sisa-sisa sabun [26].

6. TEKNOLOGI SUPERKRITIS

Selain teknologi membran yang dapat digunakan untuk pembuatan biodiesel, ada teknologi lain yang tidak kalah menarik. Teknologi tersebut adalah teknologi superkritis atau yang biasa dikenal dengan nama *metode metanol superkritis*, dimana metode ini menggunakan biodiesel sebagai bahan utama, biodiesel ini diproses pada suhu dan tekanan operasi yang tinggi dan tanpa bantuan katalis dan menghasilkan kualitas produksi yang sangat baik, suhu yang digunakan biasanya mencapai 350°C, untuk tekanan sekitar 20-50 MPa [25]. Kelebihan dalam penggunaan teknologi ini adalah konversi minyak yang dihasilkan sangat tinggi karena metil ester sangat mudah terproses, sehingga konversi minyak menjadi lebih bagus [26]. Umumnya proses metanol superkritis adalah menghitung suatu kondisi metanol saat suhu dan tekanan berada di atas titik didih dan dibawah titik kritis, sehingga kondisi pada saat itu berada pada fasa cair.

7. KELEBIHAN DAN KEKURANGAN BIODIESEL

Biodiesel yang ada di Indonesia sangatlah bermanfaat. Biodiesel memiliki beberapa keunggulan sebagai bahan bakar alternatif. Pemanfaatannya dapat digunakan di negara sendiri maupun luar negeri, di samping itu produksi biodiesel sangat mengangkat pertumbuhan ekonomi di Indonesia dalam hal ekspor-impor. Terlepas dari itu semua, adapun kelebihan dan kekurangan penggunaan biodiesel diantaranya tidak beracun dan bisa diurai oleh lingkungan sehingga menjadi salah satu alternatif bahan bakar diesel ramah lingkungan [27], tidak mengandung bahan kimia beracun seperti sulfur yang dapat mencemari lingkungan, biodiesel biasanya juga dapat digunakan sebagai pengganti minyak/pelumas pada mesin/motor. Biodiesel sangat ramah

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

lingkungan karena dapat mengurangi emisi gas buang berbahaya yang dapat merusak atmosfer [28], untuk kekurangannya oksidasi yang tidak terlalu baik membuat biodiesel memiliki masalah terkait dengan penyimpanan, jika dibiarkan dalam waktu yang sangat lama akan berubah menjadi gel menyebabkan mesin mobil tersumbat, jika dibandingkan dengan solar masih sangat rendah terkait proses pembakaran yang kurang sempurna [29], nilai kalori yang lebih rendah sehingga daya efektif mesin juga lebih rendah [30].

8. KESIMPULAN DAN SARAN

Dapat disimpulkan bahwa pengolahan biodiesel dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam teknologi. Dengan banyaknya pengolahan teknologi biodiesel ini diharapkan bisa menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi dan mengganti sumber energi yang sewaktu-waktu akan habis di masa mendatang. Saran penulis, untuk mendapatkan biodiesel berkualitas tinggi gunakan teknologi-teknologi seperti yang telah dijelaskan pada artikel ini.

REFERENSI

[1] Wangi, A.P., 2013, *Pemanfaatan Limbah Sludge CPO menjadi Biodiesel sebagai Alternatif Energi Terbarukan (EBT)*, Seminar Nasional Sains & Teknologi, Lembaga Penelitian Universitas Lampung, Lampung.

[2] Dharmawan A.H., Nuva, N., Sudaryanti, D.A., Prameswari, A.A., Amalia, R., Dermawan, A., 2018, *Pengembangan Bioenergi di Indonesia: Peluang dan Tantangan Kebijakan Industri Biodiesel*, Working Paper 242, CIFOR, Indonesia.

[3] Thondhlana, G., 2014, *The Local Livelihood Implications of Biofuel Development and Land Acquisitions in Zimbabwe*, Biofuel, Vol.11, 45-50.

[4] Boons, F., Angelica, M., 2010, *Constructing Sustainable Palm Oil: How Actors Define Sustainability*, Journal of Cleaner Production, Vol.18, 1686–95.

[5] Badan Pengkajian dan Pengembangan Kebijakan Perdagangan, 2013, *Analisis Peningkatan Penggunaan Biodiesel sebagai Upaya Mengatasi Defisit Neraca Perdagangan Migas, Edisi Satu*, Kementerian Perdagangan RI, Indonesia.

[6] Fernz, B., 2012, *Indonesia Biofuels Scoping Exercise, Second Edition*, The Overseas Development Institute, Inggris.

[7] United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Services, 2017, *Indonesia Biofuels Annual Report*, First Edition, Indonesia Biofuels, Indonesia.

[8] Food and Agriculture Organization of the United State-Statistic., 2016, Statistics, Fourth Edition, Food and Agriculture Organization, United States.

[9] Purwanto, B. A., Erliza, H., Yandra.A., 2015, *Formulating a Long Term Strategy for Sustainable Palm Oil Biodiesel Development in Indonesia*, Edisi:Learning from the Stakeholder Perspective, International Conference on Adaptive and Intelligent Agroindustry, Department of Agroindustrial Technology, Bogor.

[10] Sembiring, M.T., Sukardi, S., Suryani, A., Romli, M., 2015, *Biodiesel Production Cost Assessment from Different Palm Oil Raw Material as Feedstock*, Industrial Engineering Letters, Vol.5, No.2, 13–19.

[11] Dharmawan, A. H., 2018, *Pengembangan bioenergi di Indonesia, Edisi:Peluang dan tantangan kebijakan industri biodiesel*, CIFOR, Indonesia.

[12] Badan Pengkajian dan Pengembangan Kebijakan Perdagangan., 2013, *Analisis Kebijakan Bea Keluar (BK) CPO dan Produk Turunannya,* Edisi:Jakarta, Kementerian Perdagangan RI, Indonesia.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

[13] Douglas, S., 2009, *The Impacts And Opportunities of Oil Palm in Southeast Asia, Edisi:What Do We Know And What Do We Need To Know*, Center for International Forestry Research, Bogor.
[14] Gandhi, N.N., 1997, *Application of Lipase*, J.Am. Oil Chem, soc., Vol.74, No.6, 621-634.
[15] Ozgulsun, A., Karaosmanoglu, F., Tuter, M., 2000, *Esterfication Reaction of Oleic Acid With a Fusel Oil Fraction for Production of Lubricating Alkyl-1,3-Dioxane-5-yl Sulfates*, J. Am. Oil Chem, Soc., Vol.74, No.1, 33-37.
[16] Ozgul Y.S., Turkay, S., 2002, *Variables Affecting The Yields of Methyl Esters Derived from in Situ Esterification of Rice Bran Oil*, JAOCS, Vol.79, No.6, 611-614.
[17] Sinha, S., Agarwal A.K., Garg, S., 2008, *Biodiesel Development from Rice Bran Oil, Transesterification Process Optimization and Fuel Characterization*, Energy Conversion and management, Vol.49, 1248-1257.
[18] Purnami, P., Wardana, I.N.G., Veronika, K., 2015, *Pengaruh Pengunaan Katalis Terhadap Laju Dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen*, Rekayasa Mesin, Vol.6, No.1, 51-59.
[19] Prasetyoko, D., Holilah, H., Oetami, T.P., Santosa, E.B., Zein, Y.M., Bahruji, H., Fansuri, H., Ediati, R., Juwari, J., 2015, *The Potential of Reutealis Trisperma Seed as a New Non-Edible Source for Biodiesel*, Biomass Conver, Biorefinery, Vol.5, No.4, 347-353.
[20] Prasetyoko, D., Samik, S., Ediati, R., 2014, *Characterization K3PO4/NaZSM-5 Using XRD and FTIR as A Catalyst to Produce Biodiesel*, Proceeding of International Conference on Research, Implementation and Education of Mathematics and Sciences, Vol. ISBN, 978 – 979- 99314 – 8 – 1.
[21] Wenten, I.G., 2014, *Intensifikasi Proses Berbasis Membran*, Edisi Satu, Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
[22] Wenten, I.G., Khoiruddin, K., Hakim, A.N., Aryanti, P.T.P., 2012, *Teori Perpindahan Dalam Membran*, Edisi:Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
[23] Dube, M.A., Tremblay, A.Y., Liu, J., 2007, *Biodiesel Production Using a Membrane Reactor*, Journal Bioresources Technology, Vol.98, 639–647.
[24] Cao, P., Dube, M.A., Tremblay, A.Y., 2008, *High-Purity Fatty Acid Methyl Ester Production from Canola, Soybean, Palm, And Yellow Grease Lipids by Means of A Membrane Reactor*, Journal Biomass and Bioenergy, Vol.32, 1028–1036.
[25] Saka, S., Kusdiana D., 2004, *Effect of Water on Biodiesel Fuel Production by Supercritical Methanol Treatment*, Bioresource Technology, Vol.91, 289 – 295.
[26] Hambali., 2007, *Teknologi Bioenergi*, Edisi:Teknologi, PT Agromeda Pustaka, Bogor.
[27] Joshi, R.M., Pegg, M.J., 2007, *Flow Properties of Biodiesel Fuel Blends at Low Temperatures*, Fuel, Vol. 86, No.1-2, 143-151.
[28] Nasution, M.A., 2007, *Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Biodiesel Sawit terhadap Konsumsi dan Emisi Mobil Diesel Tipe Common Rail*, Jurnal Penelitian Kelapa Sawit, Vol.15, No 2, 91 102.
[29] Bustaman, S., 2009, *Strategi Pengembangan Industri Biodiesel Berbasis Kelapa di Maluku*, Jurnal Litbang Pertanian, Vol.28, No.2, 46-53.
[30] Breda, K., 2008, *Effects of Biodiesel on Emissions of A Bus Diesel Engine*, Bioresource Technology, Vol.99, No.4, 863-873.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume VII, No.4, Oktober 2022 Hal 4036 - 4050
p-ISSN : 2528-356
e-ISSN : 2541-1934

Dampak Ekspansi Biomassa sebagai Energi Terbarukan: Kasus Energi Terbarukan Indonesia

Syaifuddin Yana[1]*, Nelly[2], Radhiana[3], Nasir Ibrahim[4], Awal Afrizal Zubir[5], T.M. Zulfikar[6], Ardhana Yulisma[7]

[1]Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Serambi Mekkah Banda Aceh Indonesia
[1,2,3,4]Program Studi Manajemen Universitas Serambi Mekkah Banda Aceh Indonesia
[5]Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala Indonesia
[6]Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Serambi Mekkah Banda Aceh Indonesia
[7]Program Studi Ilmu Gizi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Ubudiyah Indonesia
Banda Aceh Indonesia
***Koresponden email**: syaifuddin.yana@serambimekkah.ac.id

Diterima: 25 September 2022 Disetujui : 6 Oktober 2022

Abstract
Energy is vital to Indonesia's economy, acting as a source of consumption and production across many industries. Sustainable development approaches should be employed to maximise energy use for the common good. A literature study on biomass as renewable energy (RE) in ASEAN and Indonesia. ASEAN countries want to reach 23% renewable energy by 2025, according to the meeting's outcome. The ASEAN Government slashed fuel subsidies and fossil fuels and increased regional market integration and project execution speed to attain the 23% renewable energy objective by 2025. Indonesia's renewable energy sources are many. Indonesia's renewable energy development is not as advanced as other countries'. In 2017, the country added 9 GW of renewable energy capacity. Indonesia produce 146.7 million tonnes of biomass in 2019, or 470 GJ/year. Indonesia has a lot of biomass energy potential, so it should keep producing/using renewable energy as much as feasible for society, and its management should follow sustainable development principles.
Keywords: *economic sector, renewable energy, biomass, potential energy from biomass, sustainable development concepts*

Abstrak
Energi sangat diperlukan untuk menjalankan kegiatan perekonomian di dalam negeri, termasuk di Indonesia, baik untuk kebutuhan konsumsi maupun untuk kegiatan produktif di berbagai sektor ekonomi. Sebagai sumber daya alam, energi harus digunakan sebanyak mungkin untuk kesejahteraan masyarakat dan pengelolaannya harus mengacu pada prinsip pembangunan berkelanjutan. Studi literatur yang menganalisis berbagai sumber yang terkait dengan masalah ekonomi dalam produksi biomassa sebagai energi terbarukan di kawasan ASEAN, khususnya Indonesia. Hasil diskusi menunjukkan bahwa negara-negara di ASEAN sepakat untuk memenuhi target energi terbarukan sebesar 23% pada Tahun 2025. Untuk mencapai target 23% energi terbarukan dalam bauran energi primer pada Tahun 2025, maka Pemerintah ASEAN mengambil langkah-langkah proaktif seperti penghapusan subsidi bahan bakar fosil, integrasi pasar regional, dan implementasi cepat dari proyek yang ada. Indonesia memiliki sumber daya energi terbarukan yang berlimpah. Meskipun memiliki potensi besar, Indonesia masih tertinggal dari negara lain dalam pengembangan energi terbarukan. Pada 2017, total kapasitas terpasang energi terbarukan di negara ini hanya mencapai sekitar 9 GW. Namun pada Tahun 2019, diperkirakan Indonesia memproduksi 146.7 juta ton biomassa per tahun atau setara dengan sekitar 470 GJ / tahun. Potensi energi biomassa yang begitu tinggi di negeri ini, seyogyanya membuat Indonesia terus bergerak untuk memproduksi/memanfaatkan energi terbarukan sebanyak mungkin untuk kesejahteraan masyarakat dan pengelolaannya harus mengacu pada prinsip pembangunan yang berkelanjutan.
Kata kunci: *sektor ekonomi, energi terbarukan, biomassa, potential energy from biomass, konsep pembangunan berkelanjutan*

1. Pendahuluan

Energi telah menjadi pusat pengembangan ekonomi dan industrialisasi sejak dahulu kala [1]. Dimana terdapat hubungan linier dan positif antara pertumbuhan ekonomi nasional dan konsumsi energi [2]. Energi memiliki peran penting dan tempat yang strategis dalam bidang sosial, ekonomi, budaya dan politik, memutar roda penggerak peradaban yang menopang segala kebutuhan masyarakat. Energi dapat digunakan untuk kegiatan yang berhubungan dengan pembangkitan listrik, pendinginan dan pemanasan [3] [4]. Energi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

juga digunakan untuk berbagai kebutuhan dalam negeri, industri penunjang dan perdagangan. Peran energi dalam pemenuhan kebutuhan rumah tangga, bisnis dan industri, serta barang-barang yang diperdagangkan, mendorong penggunaan energi secara besar-besaran. Oleh karena itu, meningkatnya permintaan dari masyarakat energi membutuhkan pasokan energi yang melimpah dan tidak terbatas. Namun, peningkatan kebutuhan manusia tersebut tidak diimbangi dengan ketersediaan energi yang terbatas, karena telah dimanfaatkan secara masif untuk memenuhi kebutuhan manusia.

Dalam konteks campuran energi nasional, sumber-sumber energi berasal dari sumber-sumber primer, yaitu energi konvensional dan energi terbarukan. Seperti energi konvensional, minyak dan gas sangat terbatas dan tidak dapat diregenerasi. Sumber-sumber energi tersebut cepat atau lambat akan terus berkurang dan berbahaya bagi lingkungan, sementara energi berkelanjutan adalah energi yang dihasilkan dari sumber-sumber alami (matahari, biomassa, angin, dan air) yang tersedia dan tidak merusak lingkungan [5]. Salah satu masalah utama yang dihadapi dalam memenuhi kebutuhan energi nasional adalah ketergantungan yang berlebihan pada sumber energi fosil karena beberapa peneliti sebelumnya telah menunjukkan bahwa pasokan energi primer sebagian besar berasal dari energi fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batubara. Jika diringkas porsi total sumber energi mencapai hingga 90% [6]. Hal tersebut menjadi tantangan umum dan ancaman untuk memenuhi kebutuhan energi nasional. Kapasitas produksi sumber energi tidak sebanding dengan tingkat konsumsi energi nasional yang semakin meningkat [7][4][8].

Dalam beberapa tahun terakhir, ada dorongan yang tumbuh pada produksi energi terbarukan di sektor energi global yang terus dicanangkan sebagai bahan bakar masa depan. Namun, sejauh ini keterkaitan antara sektor energi terbarukan dan pertumbuhan ekonomi belum dipahami secara jelas dalam literatur.
Juga, dampak diferensial dari produksi energi terbarukan di Indonesia sebagai negara berkembang dan negara maju lainnya belum dianalisis secara sistematis. Sebagian besar studi berfokus pada negara maju atau negara berkembang secara terpisah, sambil menganalisis keterkaitan antara pertumbuhan ekonomi dan penyebaran energi terbarukan. Selain itu, literatur-literatur terkait hanya berfokus pada PDB (Produk Domestik Bruto) per kapita sebagai indikator pertumbuhan ekonomi. Indikator lain seperti tingkat partisipasi angkatan kerja dan pembentukan modal bruto sebagian besar telah diturunkan ke latar belakang [9] [3].

Energi sangat diperlukan untuk menjalankan kegiatan perekonomian di dalam negeri, termasuk di Indonesia, baik untuk kebutuhan konsumsi maupun untuk kegiatan produktif di berbagai sektor ekonomi. Sebagai sumber daya alam, energi harus dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk kepentingan masyarakat dan pengelolaannya harus mengikuti prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan. Dari sisi penawaran, Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya energi, baik sumber daya yang tidak terbarukan maupun yang terbarukan. Namun, eksplorasi sumber energi lebih fokus pada energi fosil yang merupakan sumber daya yang tidak terbarukan sedangkan energi terbarukan belum banyak digunakan. Kondisi ini membuat ketersediaan energi fosil terutama minyak mentah semakin langka sehingga Indonesia menjadi negara pengimpor minyak mentah dan turunannya [11].

Menurut kementerian energi dan sumber daya mineral Tahun 2017, cadangan energi mentah Indonesia hanya dapat diproduksi atau akan habis dalam 22,99 tahun, gas selama 58,95 tahun, dan batu bara selama 82,01 tahun. Perhitungan ini menggunakan asumsi bahwa tidak ada bidang baru yang ditemukan sebagai sumber energi fosil. Cadangan energi dapat meningkat jika ladang baru ditemukan. Dari aspek konsumsi menunjukkan bahwa konsumsi energi Indonesia telah meningkat dari tahun ke tahun. Pada periode Tahun 2007 sampai 2017, konsumsi energi final mengalami peningkatan tahunan dengan kisaran rata-rata 2,73% dari 953.334.957 BOE (*Barrel of Oil Equivalent*/ Setara Barel Minyak) menjadi 1.058.262.186 BOE. Menurut jenis sektor, konsumsi energi di sektor industri merupakan konsumsi energi tertinggi, diikuti oleh rumah tangga, transportasi, pemanfaatan non energi, komersial, dan lainnya [12].

Dengan menipisnya cadangan energi fosil di satu sisi, sementara di sisi lain konsumsi energi yang terus meningkat menjadi ancaman bagi perkembangan ekonomi Indonesia. Oleh karena itu upaya harus dilakukan untuk mendorong pemanfaatan energi secara efisien bersama dengan pencarian sumber energi fosil baru secara intensif dan untuk mengembangkan energi alternatif yang merupakan sumber daya terbarukan.

2. Metode Kajian Literatur

Penelitian ini adalah studi literatur yang menganalisis berbagai sumber yang terkait dengan masalah ekonomi dalam produksi biomassa sebagai energi terbarukan di kawasan ASEAN, khususnya Indonesia. Studi literature review ini penting untuk dilakukan karena Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah disektor pertanian, kehutanan, dan sebagainya yang dapat menjadi aktor strategis di arena energi global. Hasil dan pembahasan membahas tentang keanekaragaman hayati biomassa sebagai sumber energi

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

terbarukan, biomassa potensial Indonesia sebagai energi terbarukan, dan biomassa sebagai energi terbarukan, keberlanjutan jangka panjang di Indonesia. Adapun sumber data yang digunakan dalam studi ini disajikan pada **Tabel 1.**

Tabel 1. Sumber literatur

Data Base Penelitian	Tahun	Sumber
• *Indonesia Clean Energy Outlook Reviewing* 2018, Outlooking 2019	2019	IESR
• Intensitas Energi Primer	2014-2018	Badan Pusat Statistik (BPS) https://www.bps.go.id/indicator/7/1808/1/intensitas-energi-primer.html
• Bauran Energi Terbarukan	2016-2018	Badan Pusat Statistik (BPS)
• Pengunaan Energi		PT. PLN Persero
• *World Energy Outlook - World Energy Model*	2017	Badan Pusat Statistik (BPS) OECD/IEA
• Potensi dan Implementasi Pengembangan	2019	www.esdm.go.id

Sumber: Data penelitian (2021)

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Keanekaragaman Hayati Biomassa sebagai Sumber Energi Terbarukan

Energi terbarukan primer terdiri dari sumber energi alami primer yang konsumsinya tidak membatasi penggunaannya di masa depan. Karena energi terbarukan dapat pulih lebih cepat daripada yang digunakan. Energi primer yang terbarukan ada dalam bentuk aliran permanen yang dapat terputus-putus dalam periode waktu yang lebih singkat (contohnya: variabel sinar matahari selama sehari) tetapi penggunaannya di masa depan tidak dibatasi oleh konsumsinya. Berbeda halnya dengan sumber energi tidak terbarukan yang berasal dari stok simpanan yang terbatas pada skala waktu tertentu yang akan habis jika terus menerus dimanfaatkan manusia seperti bahan bakar fosil, yaitu minyak bumi, batubara, dan gas [13].

Dalam beberapa tahun terakhir, pemerintah ASEAN telah menciptakan banyak skema jangka pendek untuk mengembangkan energi terbarukan di dalam kawasan. ASEAN secara keseluruhan, serta masing-masing negara, menetapkan skema berdasarkan target pengembangan energi terbarukan. Setiap target ditetapkan sebagai bagian dari catu daya energi terbarukan (**Gambar 1**), energi primer dan konsumsi energi final [14].



Gambar 1. Target pengembangan energi terbarukan
Sumber: Rencana Aksi ASEAN untuk Kerjasama Energi (APAEC) 2016-2025 [15]

Semua negara di kawasan ASEAN sepakat untuk memenuhi target energi terbarukan 23 persen pada Tahun 2025. Pemerintah Laos mengumumkan targetnya sendiri pada Tahun 2015 untuk memenuhi 30 persen energi terbarukan pada Tahun 2025. Pada tahun yang sama, Indonesia mengharapkan untuk mencapai 25 persen. Sementara Vietnam mengharapkan 8 persen dari pasokan energi mereka menjadi energi terbarukan [16].

Sebagai pemimpin di kawasan ini dalam hal penyediaan energi terbarukan, Indonesia telah menyelesaikan pedoman untuk biomassa, biogas, dan tenaga air kecil. Disusul oleh Myanmar yang juga telah mengumumkan pedomannya. Malaysia menyelesaikan pedoman untuk tenaga air kecil serta implementasi surya. Sementara Filipina dan Vietnam menyelesaikan pedoman mereka untuk tenaga surya pada awal tahun 2017 [17].

Meskipun masing-masing negara telah berbeda satu sama lain dalam hal energi terbarukan, namun mereka masih saling berkolaborasi. Salah satu upaya bersama tersebut adalah target umum dan peta jalan

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

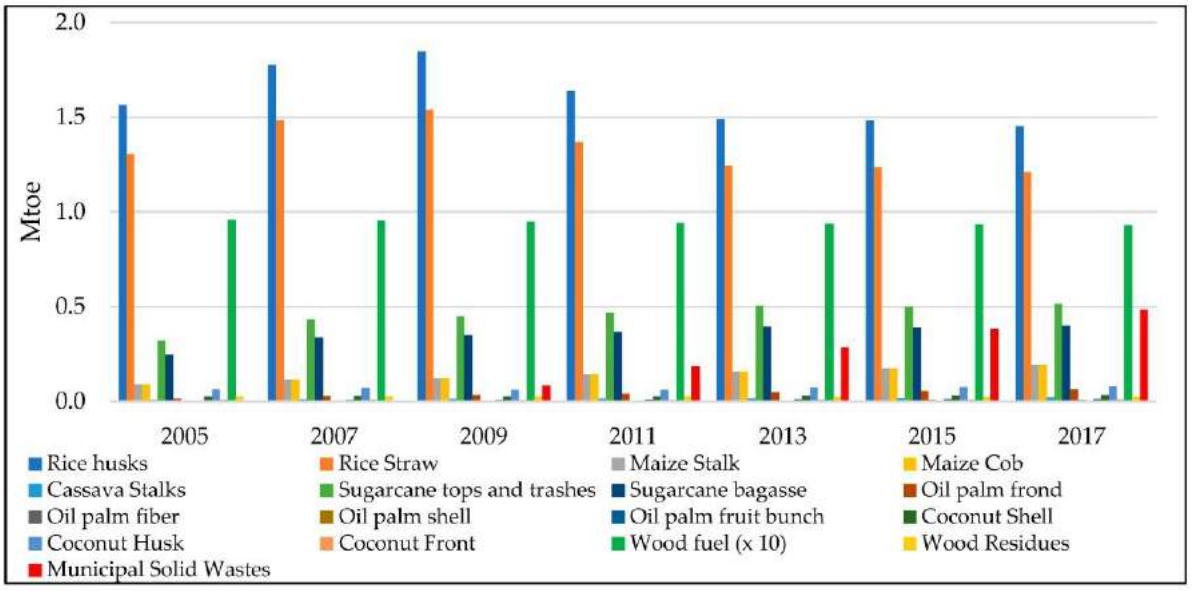
yang disebut Opsi Remap untuk masa depan yang bersih, berkelanjutan, dan sejahtera [18]. Peta jalan ini menyediakan perincian potensi energi terbarukan berdasarkan sektor dan sumber, dan menetapkan pedoman untuk mencapai semua target.

Asia Tenggara juga merupakan salah satu daerah yang paling rentan terhadap perubahan iklim. Bagaimanapun negara-negara berencana untuk menutupi kekurangan dalam permintaan energi dan pasokan terutama dengan batubara. Namun, bahan bakar fosil tidak diperlukan untuk memenuhi kekurangan energi. Energi terbarukan mulai dari matahari, biomassa, hingga angin memiliki potensi yang sangat besar di wilayah ini [19].

Kawasan ASEAN umumnya dikenal sebagai wilayah yang kaya akan energi alam di dunia, namun demikian ada beberapa negara di ASEAN yang berkinerja sangat buruk dalam hal sumber daya energi. Menurut Database Bank Dunia (2016), 4 dari 10 negara di ASEAN merupakan negara pengimpor energi termasuk Singapura (98 persen), Filipina (46 persen), Thailand (42 persen), dan Kamboja (33 persen). Singapura disebut sebagai salah satu dari delapan ekonomi tanpa sumber daya energi di dunia [20], dan sepenuhnya bergantung pada energi impor. Bahan bakar diesel impor Kamboja menyumbang 90 persen dari produksi listrik domestik [21].

Secara umum, negara-negara tersebut sangat bergantung pada bahan bakar impor, sehingga mereka cenderung merasakan dampak kenaikan harga bahan bakar dan lebih mudah mengalami kekurangan pasokan daripada yang lain. Sebagai contoh, Brunei memproduksi sekitar 127.000 barel minyak per hari dan 243.000 barel setara minyak dari gas alam per hari, [22] dimana 24,3 persen diekspor ke Singapura [23]. Namun, fakta yang mengejutkan adalah bahwa negara-negara pengekspor tidak dapat memenuhi kebutuhan mereka sendiri.

Negara-negara Asia Tenggara berdiri di persimpangan jalan mengenai masa depan energi bersama mereka dan sangat bergantung pada bahan bakar fosil untuk transportasi dan listrik. Negara-negara Asia Tenggara memiliki potensi besar untuk sumber energi berkelanjutan. Namun mereka belum melakukan secara global dalam penyebaran energi terbarukan karena berbagai tantangan. Untuk mencapai target 23% energi terbarukan dalam bauran energi primer pada Tahun 2025, maka Pemerintah ASEAN harus mengambil langkah-langkah proaktif seperti penghapusan subsidi bahan bakar fosil, integrasi pasar regional dan implementasi cepat dari proyek yang ada [24]. Tingginya keanekaragaman hayati dan berlimpahnya sumber daya alam, menjadikan kawasan ASAEN sebagai "lumbung" energi biomassa yang sangat potensial di dunia. Potensi energi biomassa di sektor pertanian, kehutanan dapat dilihat pada **Gambar 2.**



Gambar 2. Perkiraan potensi energi biomassa dari sektor pertanian, hutan, dan kota di ASEAN
Sumber: Tun and Juchelkova, 2019 [25]

Energi biomassa sejauh ini merupakan sumber energi terbarukan terbesar, mewakili 10.4% dari total pasokan energi primer dunia atau 77,4% dari pasokan energi terbarukan global [26]. Peluang dan investasi baru dalam biomassa muncul, khususnya di Asia Tenggara [27]. Asia Tenggara dengan sumber daya bioenergi yang melimpah, memegang posisi strategis dalam atlas biomassa global [28]. Asia Tenggara juga

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

merupakan produsen terbesar produk pertanian dan kayu, dan menurut perkiraan konservatif, jumlah residu biomassa yang dihasilkan dari gula, beras, dan pabrik kelapa sawit lebih dari 200-230 juta ton per tahun, yang sesuai dengan potensi kogenerasi 16-19 gigawatts (GW) [28]. Saat ini, Asia Tenggara dengan cepat menjadi pasar yang menarik untuk mengembangkan biomassa sebagai sumber energi [27] dan energi biomassa dapat menyediakan 26% dari total pasokan energi primer, setara dengan 87% dari pasokan energi terbarukan [26]. Banyak Negara-negara di Asia Tenggara adalah produsen utama komoditas pertanian seperti beras, gula, tebu, kelapa sawit, kelapa, dan karet, dan residu yang paling menjanjikan adalah sekam padi, tebu, tebu, residu kelapa sawit, dan residu kayu [26].

Berdasarkan FAO *Unified Bioenergy Terminology* Tahun 2004 [29], pandangan konseptual dari sistem bioenergi menggambarkan aliran produksi bioenergi dari biomassa sebagai sumber energi (**Gambar 3**).



Gambar 3. Aliran produksi dari biomassa untuk menghasilkan sumber energi
Sumber: FAO, 2004 [29]

Biomassa tradisional adalah sumber energi utama yang digunakan di negara-negara berkembang terutama untuk memasak dan memanaskan ruang di tingkat rumah tangga, sebagian besar menggunakan kompor tiga batu, atau di beberapa daerah kompor memasak ditingkatkan. Sumber energi ini adalah dalam bentuk bahan bakar kayu (termasuk kayu bakar dan arang), sisa tanaman, dan kotoran hewan. Di beberapa daerah, biomassa tradisional juga diperdagangkan di desa-desa maupun di daerah perkotaan. Karakteristik lain dari biomassa tradisional adalah menggunakan teknologi tradisional dengan efisiensi rendah karena desain yang buruk, pembakaran tidak terkontrol dan terbuka, yang memiliki implikasi kesehatan yang penting [30].

3.2 Potensi Biomassa Indonesia Sebagai Energi Terbarukan

Indonesia adalah negara yang terletak di garis khatulistiwa, di mana matahari bersinar sekitar 12 jam setiap hari, air hujan yang cukup turun sekitar 6 bulan setiap tahun, yang menyebabkan sebagian besar tanahnya sangat subur. Oleh karena itu, terdapat pasokan biomassa yang cukup melimpah baik di hutan, perkebunan, dan ladang pertanian. Selain untuk makanan, bahan, dan obat-obatan sejak berabad-abad, biomassa digunakan secara tradisional untuk energi sumber. Residu biomassa tidak boleh digunakan sebagai sumber energi jika masih bermanfaat sebagai pakan ternak atau bahan pengganti atau pupuk atau bahan kimia. Tampaknya energi harus menjadi prioritas terakhir. Teknologi sederhana untuk memanfaatkan biomassa sebagai sumber energi, terutama energi termal, telah dikembangkan dan diimplementasikan [31].

Konsumsi energi di Indonesia, seperti negara-negara lain di dunia, meningkat pesat seiring dengan pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan perkembangan teknologi. Oleh karena itu, pasokan energi cukup untuk menutupi kebutuhan energi yang terus meningkat. Kebutuhan energi yang terpenuhi selama ini masih dipenuhi oleh bahan bakar fosil, terutama minyak dan gas bumi[32]. Upaya untuk mengatasi krisis tersebut adalah dengan skenario mitigasi, dengan bauran pasokan energi 2030 sebesar 29,5% batubara, 31,4% gas alam, 24,6% minyak dan sisanya 14,5T, dengan jenis EBT yang paling menonjol adalah biofuel (5,8%), PLTA . (2,9%) panas bumi (3,5%) dan biomassa di luar anggaran (2,9%) [33].

Indonesia memiliki sumber daya energi yang besar dan merupakan aktor strategis di arena energi global. Lokasi Indonesia yang berada diatas beberapa lempeng tektonik telah memungkinkan negara untuk menjadi pengguna energi panas bumi terbaik di kawasan ini karena banyak sungai yang melintasi, yang memungkinkan bangsa ini untuk menghasilkan lebih banyak tenaga air daripada negara anggota Asean lainnya. Tetapi mengeksploitasi sumber daya spesifik untuk menghasilkan listrik pada akhirnya adalah pilihan politis [34]. Hingga saat ini, Indonesia adalah pengekspor batubara termal terbesar di dunia yaitu 75% dari produksinya yang mencapai sekitar 260 juta [34]. Permintaan domestik yang tinggi dan penurunan produksi minyak memaksa negara untuk mengarahkan kembali produksinya untuk memenuhi kebutuhannya. Indonesia juga merupakan pemegang gas alam yang signifikan yaitu memiliki cadangan terbesar ke-13 di dunia dan pengekspor gas alam cair terbesar ke-4 [35].

Di antara negara-negara Asia Tenggara, Indonesia memiliki stok yang tumbuh berlimpah di hutan karena wilayah hutannya yang paling luas, memiliki 94.432.000 hektar [36] [16]. Selain itu, dalam

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

perekonomian Indonesia, bahan bakar biomassa penting berasal dari residu pertanian dan digunakan dalam aplikasi tradisional dan modern [37] [21]. Sumber biomassa pertanian utama adalah residu kelapa sawit, residu tebu, sekam dan jerami padi, dan tongkol jagung. Diperkirakan bahwa Indonesia menghasilkan 146,7 juta ton biomassa per tahun, setara dengan sekitar 470 juta gigajoule (GJ) per tahun [38] [37]. Total estimasi potensi kapasitas dari biomassa mencapai sekitar 50.000 MW, dengan 312 MW kapasitas terpasang. Sumber biomassa utama di negara ini termasuk residu kayu, sekam padi dan batang padi, residu tebu, residu kelapa sawit dan sisa pertanian lainnya (**Gambar 4**). Sumber daya hutan dan pertanian untuk sumber biomassa di Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 1.**

Biomassa digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi seperti pembangkit listrik, energi domestik, bahan bakar kendaraan, dan peralatan industri. Produksi biomassa Indonesia sekitar 146,7 miliar ton per tahun [32]. Di masa depan, biomassa harus mendukung pengurangan gas rumah kaca. Biomassa yang dihasilkan sekarang sedang diubah menjadi energi modern seperti kokas, gasifikasi dan biofuel dengan perkembangan teknologi [39].

Peningkatan permintaan energi dan perlunya tindakan dari para pemangku kepentingan, Indonesia melibatkan kerangka kerja strategi untuk sumber energi terbarukan [40]. Pandangan lain adalah bahwa Indonesia sudah memiliki kebijakan dan pendekatan perubahan langkah terhadap energi biomassa, tetapi tidak terlalu efektif dan tidak memiliki badan khusus untuk menangani sektor energi biomassa [41].

Menurut Ref. [42], energi terbarukan sering disebut sebagai energi bersih karena berasal dari sumber alam atau proses yang terjadi secara terus menerus. Sinar matahari dan angin, misalnya, masih bersinar dan berhembus, tergantung pada ketersediaannya tergantung pada waktu dan cuaca. Energi terbarukan sering dilihat sebagai teknologi baru, tetapi memanfaatkan kekuatan alam telah lama digunakan untuk hal-hal seperti pemanas, transportasi, dan penerangan. Namun, selama sekitar 500 tahun terakhir, manusia semakin beralih ke bahan bakar fosil seperti batu bara dan gas. Gambar 5 menunjukkan pemetaan potensi energi terbarukan negara-negara anggota ASEAN berdasarkan sumbernya.



Gambar 4. Sumber daya biomassa di Indonesia [37]

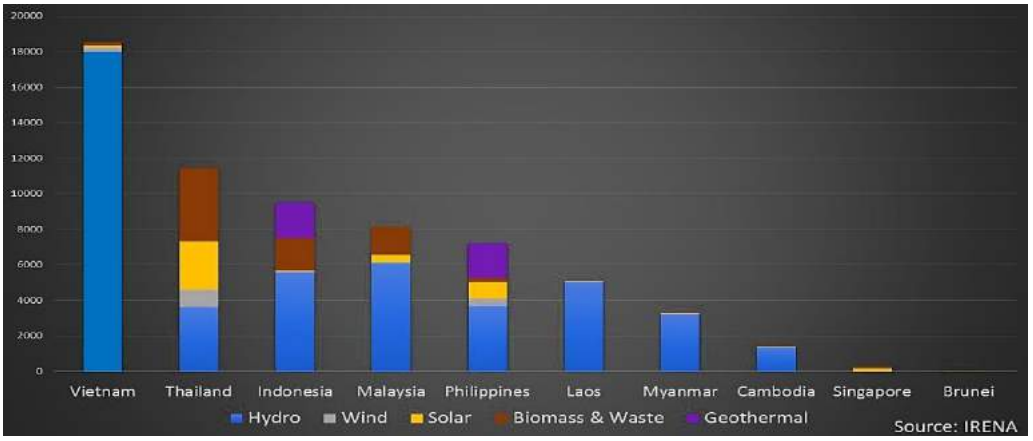
PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Tabel 2. Sumber daya hutan dan pertanian untuk sumber biomassa di Indonesia

Biomassa	Produksi tahunan (juta ton/tahun)	Konten energi (MJ/kg)	Potensi Energi (juta GJ/tahun)	Tahun
Hutan	94,432.000	52.000	-	2011
Minyak kelapa sawit	8430.026	-	19.760	2011
Kelapa	3808.263	-	3.267	2011
Gula	448.745	-	2.694	2011
Karet	3445.121	-	2.592	2011
Beras	12,147.637	-	66.412	2011
Jagung	4131.676	-	18.328	2011

Sumber: Ref. [37]

Untuk mencegah dampak terburuk dari perubahan iklim, maka dunia mengalihkan pembangkit listrik dari batubara ke energi terbarukan. Indonesia sebagai negara kepulauan merupakan konsumen energi terbesar di Asia Tenggara yang diperkirakan akan menjadi ekonomi terkuat keempat di dunia pada Tahun 2050. Meskipun berada di peringkat ketiga untuk total kapasitas energi terbarukan di kawasan ASEAN, namun Indonesia masih tetap menjadi pengguna batubara terbesar di Asean. Perusahaan listrik milik negara Perusahaan Listrik Negara (PLN) mungkin tidak sepenuhnya diberi insentif untuk berkomitmen pada energi terbarukan. Bagaimanapun, PLN memiliki sebagian besar pembangkit listrik tenaga batubara di Indonesia [44]. Sektor pembangkit listrik di Indonesia berdasarkan penggunaan bahan bakar fosil dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 5. Kapasitas energi terbarukan berdasarkan sumber di negara-negara anggota Asean tahun 2018 (MW)
Sumber: IRENA, 2018 [43]

Berdasarkan **Gambar 6** terlihat bahwa sektor pembangkit listrik di Indonesia paling banyak menggunakan bahan bakar yang berasal dari batu bara (140,2%), kemudian disusul oleh gas alam (64%), minyak dan diesel (20.8%), air (16.7%), panas bumi (11.8%), dan solar (0.2%). Sementara Indonesia telah meningkatkan produksi, maka terjadi pergeseran pada pasar batubara. Secara global, biaya energi terbarukan juga menurun dengan cepat. Banyak lembaga keuangan internasional memilih untuk berinvestasi di pabrik batu bara baru, dan beberapa telah mengumumkan niat untuk sepenuhnya melepaskan aset batubara dalam beberapa tahun [45]. Penurunan biaya *Liquefied Natural Gas* (LNG) dapat mempengaruhi bauran energi domestik Indonesia dan permintaan batubara domestik, karena dapat menggantikan pembangkit listrik berbahan bakar batubara. Selain itu, harga batubara internasional secara berkala mengalami penurunan yang signifikan selama lima tahun terakhir.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume VII, No.4, Oktober 2022 Hal 4036 - 4050
p-ISSN : 2528-356
e-ISSN : 2541-1934



Gambar 6. Pembangkit listrik di Indonesia menurut sektor (TWh), 2017
Sumber: Climatescope, BloombergNEF

Hal ini berdampak pada tingkat produksi domestik, seperti yang terlihat pada 2015 ketika banyak tambang di Indonesia berhenti beraktifitas [46]. Meskipun harga telah menunjukkan tanda-tanda pemulihan, beberapa pengamat mengharapkan penurunan harga batubara menjadi struktural, dan dengan demikian menunjukkan lintasan jangka panjang [47]. Sementara penggunaan biomassa di Indonesia masih cenderung rendah yaitu 11,1% (**Gambar 6**). Padahal Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi biomassa yang sangat tinggi.

Di antara biomassa, kayu merupakan biomassa yang telah dikenal dan digunakan oleh masyarakat sejak lama. Kayu sebagai biomassa adalah bahan bakar terbarukan. Karbon yang dihasilkan selama produksi dan penggunaan kayu hampir netral. Pembakaran kayu melepaskan CO2, tetapi pohon juga menyerap CO2 melalui fotosintesis. Indonesia diperkirakan menghasilkan 146,7 juta ton biomassa setiap tahunnya. Ini adalah 470 GJ/tahun. Sumber energi biomassa utama di Indonesia dihasilkan dari residu padi dengan potensi energi 150 GJ/tahun, kayu karet 120 GJ/tahun, residu gula 78 GJ/tahun, residu kelapa sawit 67 GJ/tahun dan sisanya kurang. Lebih dari 20 GJ per tahun dihasilkan dari sisa kayu lapis dan veneer, limbah kayu, sisa penggergajian, sisa kelapa dan limbah pertanian [48].

Tabel 3. Potensi residu biomassa utama sebagai sumber energi

Biomassa	Wilayah utama	Produksi [juta t/tahun]	Potensi energi teknis [juta GJ/tahun]	Catatan
Kayu karet	Sumatera, Kalimantan, Java	41 (penanaman kembali)	120	log kecil Ø Kayu bulat besar dan sedang digunakan sebagai kayu bakar pada industri batu bata dan genteng: harga Rp 20.000 – Rp 30.000/m³
Residu penebangan	Sumatera, Kalimantan	4.5	19	
Residu kayu gergajian	Sumatera, Kalimantan	1.3	13	Residu pabrik sering digunakan sebagai kayu bakar oleh masyarakat setempat, residu tersedia secara gratis
Residu produksi kayu lapis dan veneer	Kalimantan, Sumatera, Java, Papua, Maluku	1.5	16	Residu umumnya digunakan, namun
Residu gula	Java, Sumatera, South Kalimantan	Ampas tebu: 10 pucuk tebu: 4 daun tebu: 9,6	78	Ampas tebu umumnya digunakan di pabrik gula (90%) Penggunaan pucuk dan daun tebu perlu diteliti

Biomassa	Wilayah utama	Produksi [juta t/tahun]	Potensi energi teknis [juta GJ/tahun]	Catatan
Residu beras	Java, Sumatera, Sulawesi, Kalimantan, Bali/Nusa Tenggara	Sekam: 12 dedak 2,5 tangkai: 2 jerami: 49	150	Tangkai dan jerami dihasilkan di lapangan dan umumnya dibakar, di beberapa daerah digunakan untuk pakan atau bahan baku industri kertas Sekam sering dibakar tidak terkendali
Kelapa	Sumatera, Java, Sulawesi	Cangkang: 0,4 sekam: 0,7	7	Residu dihasilkan Terdesentralisasi dan biasanya dibiarkan di lahan perkebunan Banyak digunakan sebagai kayu bakar dan untuk produksi arang
Residu minyak sawit	Wilayah baru Sumatera: Kalimantan, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara, Papua	Tandan buah kosong: 3,4 Serat: 3,6 cangkang sawit: 1,2	67	Cangkang dan serat kelapa sawit adalah sumber bahan bakar umum, TKKS umumnya dibakar

Sumber: Ref. [48]

Pada tahun 2019, diperkirakan Indonesia akan memproduksi 146,7 juta ton biomassa per tahun atau sekitar 470 GJ/tahun. Sumber daya energi biomassa di Indonesia tersebar di seluruh tanah air, namun potensi energi biomassa terbesar dalam skala terpusat terdapat di pulau Kalimantan, Sumatera, Irian Jaya dan Sulawesi. Studi ini memperkirakan potensi pembangkit listrik sekitar 150 juta ton sisa biomassa yang dihasilkan setiap tahun sekitar 50 GW atau setara dengan sekitar 470 GJ/tahun. Studi-studi ini mengasumsikan bahwa sumber utama energi biomassa di Indonesia adalah residu beras dengan potensi energi teknis 150 GJ/tahun. Sumber biomassa potensial lainnya adalah residu kayu karet (120 GJ/tahun), residu pabrik gula (78 GJ/tahun), residu kelapa sawit (67 GJ/tahun) dan jumlah total kayu lapis dan chipboard di bawah 20 GJ/tahun, sisa penebangan, sisa kayu gergajian, sisa kelapa dan limbah pertanian lainnya [49].

Potensi energi biomassa yang ada di Indonesia yaitu diperkirakan sekitar 50GWe [50], sedangkan menurut Ref. [51] kapasitas terpasang (menggunakan energi biomassa) sekitar 1.600 MW. Secara teoritis, penggunaan biomassa secara total dan efisien hampir dapat menggandakan kapasitas saat ini. Menurut pengamatan *Carbon Trust* Tahun 2014 [52], Indonesia tidak hanya menghadapi tantangan energi tetapi juga tantangan nyata dalam hal pengelolaan limbah. Secara umum, sampah organik berpotensi cocok untuk bioenergi dan dapat dibedakan antara limbah kota dan limbah industri. Yang pertama mengacu pada limbah padat yang dihasilkan oleh kegiatan domestik sementara yang kedua meliputi limbah pertanian, residu kayu untuk kegiatan kehutanan dan bahkan keluaran yang dihasilkan oleh agroindustri seperti minyak kelapa sawit dan pabrik gula. Namun, penting untuk ditekankan bahwa potensi bioenergi yang disajikan sebelumnya sesuai dengan energi yang dibuat dengan limbah. Ref. [53], melaporkan bahwa beberapa komoditas menawarkan peluang untuk bioenergi dalam sektor kehutanan dan agroindustri seperti minyak kelapa sawit, padi, tebu, jagung, karet, singkong, dan lain-lain.

Indonesia memiliki sumber daya energi terbarukan yang melimpah, seperti panas bumi, air, matahari, dan angin, yang saat ini masih kurang dimanfaatkan. Potensi sumber energi terbarukan di Indonesia dan jumlah yang telah dimanfaatkan hingga saat ini dapat dilihat pada **Tabel 3.**

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume VII, No.4, Oktober 2022 Hal 4036 - 4050
p-ISSN : 2528-356
e-ISSN : 2541-1934

Tabel 3. Potensi energi terbarukan dan praktik saat ini di Indonesia

Potensi di Gigawatt		Penerapan energi terbarukan pada tahun 2015, total Indonesia		
Terbarukan	Total Indonesia	Kapasitas terpasang (Gigawatt)	Pemanfaatan terbarukan (%)	Sumber
Hidro	75	5.1	6.8%	[54] [55]
Penyimpanan yang dipompa hidro	4.3	0	0%	[56],[55]
Mini hidro	19.4	0.2	0.9%	[54],[55]
panas bumi	17.5	1.4	8%	[54],[55]
Biomassa	30	7.4	0.3%	[54],[55]
Tenaga surya	5374	2747	0.2%	[57],[55]
Angin	60.6	24.1	0%	[54],[55]

Sumber: [54, 55, 56, 57]

Tabel 3 menunjukkan potensi sumber energi terbarukan di Indonesia dan jumlah yang telah dimanfaatkan hingga saat ini. Potensi panas bumi dan hidro masing-masing telah dimanfaatkan hingga 8% dan 7%, sementara untuk sisanya, kurang dari 1% telah dimanfaatkan.

3.3 Biomassa sebagai Energi Terbarukan Keberlanjutan Jangka Panjang di Indonesia

Energi terbarukan merupakan komponen terpenting dalam mengatasi masalah perubahan iklim. Bahkan, negara-negara di bawah Perjanjian Paris mengajukan energi terbarukan sebagai sebagai soulusi untuk mengatasi perubahan iklim yang terjadi saat ini. Implementasi NDC akan menambah setidaknya 1.3 terawatt ke kapasitas terpasang global yang terbarukan. Menurut perkiraan IRENA, untuk mencapai target ini membutuhkan biaya investasi yang cukup besar yaitu sebesar 1700 miliar USD pada Tahun 2030 [58].

Tingginya biaya untuk pemasangan teknologi terbarukan adalah salah satu faktor yang menghambat penyebaran energi terbarukan. Namun, biaya modal dari teknologi energi diketahui menurun dari waktu ke waktu karena perubahan teknologi yang mengurangi biaya [59] [60] [61] [62]. Sebagai negara terpadat keempat di dunia, permintaan listrik di Indonesia diproyeksikan akan tumbuh rata-rata 8.3% per tahun pada dekade berikutnya [56]. Sementara itu, pemerintah Indonesia berjanji untuk mengurangi 29% dari emisi gas rumah kaca terhadap skenario bisnis pada Tahun 2030 [64]. Sementara, pada 2015 energi terbarukan hanya menyumbang 4% dari bauran energi nasional [54], kebijakan energi nasional terbaru (KEN) mengharuskan untuk meningkatkan sebesar 23% pada Tahun 2025 dan 31% pada Tahun 2050 [64]. Dalam konteks sektor listrik, energi terbarukan saat ini menyumbang 10% dari campuran pembangkit listrik nasional [65]. Rencana Bisnis Penyediaan Tenaga Listrik Tahun 2016-2025 (RUPTL) memperkirakan kenaikan biaya unit produksi listrik sebesar 22% untuk merealisasikan target KEN di sektor listrik pada Tahun 2025. Peningkatan tersebut, akan menyebabkan beban pada sektor listrik dan ekonomi nasional. Pembelajaran teknologi dapat mengurangi biaya unit produksi listrik, sehingga membuat investasi dalam teknologi energi terbarukan lebih menarik secara ekonomis.

Kepemimpinan Presiden Jokowi (2019-2024) berupaya untuk memperkuat komitmen pemerintah dalam memulai dan mempercepat pengembangan energi terbarukan. Kepemimpinan sangat penting untuk menyatukan semua cabang pemerintah dalam menetapkan prioritas kebijakan, agenda, dan orientasi BUMN. Hal tersebut memberikan sinyal positif kepada investor dan lembaga keuangan yang kredibel [66].

Tabel 4. Asumsi tingkat pembelajaran teknologi tenaga listrik 2016–2050

Teknologi	Skenario REN-Low LR: Nilai rendah dari tingkat pembelajaran awal				Skenario REN-Medium LR: Nilai sedang dari tingkat pembelajaran awal				Skenario REN-High LR: Nilai tingkat pembelajaran awal yang tinggi			
	Fase I 2016–2020	Fase II 2021–2030	Fase III 2031–2040	Fase IV 2040–2050	Fase I 2016–2020	Fase II 2021–2030	Fase III 2031–2040	Fase IV 2040–2050	Fase I 2016–2020	Fase II 2021–2030	Fase III 2031–2040	Fase IV 2040–2050
Biomassa	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	11.0%	7.8%	4.4%	1.8%	24.0%	17.0%	9.5%	3.9%

Sumber: [67] [68]

Ketergantungan historis Indonesia pada bahan bakar fosil yang berasal dari sumber daya bahan bakar fosil yang melimpah, terutama batubara. Cadangan batu bara negara ini diperkirakan sebanyak 88,6 miliar ton setara minyak (toe), gas alam nasional dan cadangan minyak masing-masing sebesar 3,9 dan 0,5 miliar toe [55]. Indonesia memiliki sumber daya energi terbarukan yang berlimpah. Meskipun memiliki potensi besar, Indonesia masih tertinggal dari negara lain dalam pengembangan energi terbarukan. Pada 2017, total kapasitas terpasang energi terbarukan di negara ini hanya mencapai sekitar 9 GW [56].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

NEP 2014 mengusulkan target energi baru dan terbarukan (NRE) yang ambisius untuk meningkatkan peran energi terbarukan. Sasaran NRE terkait dengan dua tahap. Tahap 1, pada Tahun 2025, bagian NRE setidaknya harus mencapai 23% dari bauran energi nasional. Tahap 2, pada Tahun 2050, bagian NRE setidaknya harus mencapai 31% dari bauran energi nasional. NEP juga menyebutkan bahwa aspek ekonomi dari energi terbarukan dipertimbangkan dalam mencapai targetnya [69]. Selain itu, NEP juga menganggap nuklir sebagai energi alternatif untuk mencapai target NRE-nya, meskipun itu adalah opsi terakhir setelah memaksimalkan penggunaan sumber energi terbarukan.

Secara global, untuk mengembangkan strategi energi biomassa di Indonesia adalah dengan mengkategorikan proyek tergantung pada orientasi spesifik mereka. Oleh karena itu, strategi dapat dibagi atas tiga, yaitu (1) biomassa untuk energi rumah tangga, (2) power biomassa untuk daya, dan (3) biofuel untuk transportasi. Program saat ini untuk mendukung energi rumah tangga tetap dalam skala kecil, sementara proyek biomassa untuk listrik yang lebih besar telah dilakukan yaitu dengan gasifikasi dan pembakaran biomassa. Biomassa dapat digunakan untuk menghasilkan biofuel seperti biodiesel yang dapat menggantikan bahan bakar fosil di pembangkit listrik diesel yang terletak di daerah terpencil tanpa akses ke jaringan listrik [70].

Penurunan produksi energi fosil, terutama minyak mentah, dan upaya global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca telah mendorong pemerintah untuk mencari sumber energi baru secara berkelanjutan guna menjaga ketahanan dan kemandirian energi, serta peran energi terbarukan. Sesuai Perpres Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan minimal 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Energi baru dan terbarukan menjadi target bauran energi primer di Indonesia. Indonesia bekerja keras untuk mencapai target tersebut, dengan pangsa energi terbarukan dalam bauran energi primer menjadi ke-23 pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Pada tahun 2017, energi terbarukan hanya menyumbang 8% dari bauran energi utama negara, dengan 92% sisanya ditutupi oleh bahan bakar fosil. Tren yang sama terlihat di sektor ketenagalistrikan Indonesia, di mana pangsa energi terbarukan hanya mencapai 12% pada tahun 2017, namun bahan bakar fosil terus mendominasi sektor tersebut, menghasilkan 88% listrik negara. .. Investasi energi terbarukan di Indonesia adalah $1,3 miliar pada 2017, turun 17% dibandingkan dengan $1,57 miliar pada tahun sebelumnya [71]. Pasokan energi biomassa di Indonesia dari 2008 hingga 2018 dapat dilihat pada **Gambar 7**.

Gambar 7 menunjukkan pasokan energi biomassa di Indonesia dalam rentang sepuluh tahun terakhir (2008-2018). Negeri ini memiliki potensi energi biomassa yang sangat tinggi, karena Indonesia memiliki hutan yang sangat luas, sektor pertanian yang menjanjikan, sektor perkebunan dengan keberagaman komoditi, dan sebagainya. Namun demikian, pemerintah Indonesia cenderung masih menemui banyak kendala dalam menentukan langkah-langkah konkret dalam produksi energi biomassa. Untuk itu, pencapaian target energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 membutuhkan kerja sama dari semua pihak, terutama pemangku kepentingan.



Gambar 7. Pasokan energi biomassa di Indonesia dari 2008 hingga 2018 (dalam juta barel setara minyak)
Sumber: J. Müller, 2019 [72]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4. Kesimpulan

Dalam beberapa tahun terakhir, pemerintah ASEAN telah menciptakan banyak skema jangka pendek untuk mengembangkan energi terbarukan di dalam kawasan. Negara-negara di ASEAN, termasuk Indonesia sepakat untuk memenuhi target energi terbarukan sebesar 23% pada Tahun 2025. Negara-negara Asia Tenggara memiliki banyak potensi dalam hal sumber energi berkelanjutan. Energi terbarukan dari matahari, biomassa hingga angin memiliki potensi besar di kawasan ini. Namun, ASEAN belum melakukan secara global dalam penyebaran energi terbarukan karena terdapat berbagai tantangan.

Agar dapat memenuhi target 23% energi terbarukan dalam bauran energi primer pada tahun 2025, maka Pemerintah ASEAN harus mengambil langkah-langkah proaktif seperti penghapusan subsidi bahan bakar fosil. Sementara Indonesia sebagai pemimpin ASEAN, harus lebih proaktif dalam mengembangkan potensi energi biomassa sebagai energi terbarukan, baik dalam skala regional maupun global. Pada tahun 2019, diperkirakan Indonesia akan menghasilkan 146,7 juta ton biomassa per tahun, atau sekitar 470 GJ/tahun. Untuk memenuhi kebutuhan energi pada skala rumah tangga, industri, dan global, maka Indonesia harus beralih dari energi fosil yang semakin menipis cadangannya ke energi terbarukan yang terus tersedia dialam. Namun demikian, dalam hal penggunaan biomassa sebagai energi terbarukan tetap harus memperhatikan kelestarian lingkungan

5. Referensi

[1] W. Zheng and P. P. Walsh (2019). Economic growth, urbanization and energy consumption — A provincial level analysis of China, Energy Econ., vol. 80, pp. 153–162, doi: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.01.004.

[2] A. Österberg (2022). The European Union and its economic relations with Russia between 1992 - 2022 : A case study of the energy dependency through the approach of the taxonomy of power, Dissertation.

[3] Faninger, G., (2012). Economic Perspectives of Renewable Energy Systems Present Contribution of Renewables to Energy Supply, Renewable Energy Sources and Technologies, Assessment of Renewable Energy Technologies, Key European Renewable Energy R&D, Forecast for Renewables. Pp. 1-119.

[4] Park, E., (2017). Potentiality of renewable resources: economic feasibility perspectives in South Korea. Renew. Sust. Energi. Rev. 79, 61–70. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.043

[5] Adams, S., Klobodu, E.K.M., Apio, A., (2018). Renewable and non-renewable energy, regime Type and economic growth. Renew. Energy 125, 755–767. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.135.

[6] Šahović, N., Da Silva, P.P., (2016). Community renewable energy - research perspectives -research P. Energy Procedia 106, 46–58. doi:https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.104

[7] Dimzon, I.K.D., Morata, A.S., Müller, J., Yanela, R.K., Lebertz, S., Weil, H., Perez, T.R., Müller, J., Dayrit, F.M., Knepper, T.P., (2018). Trace organic chemical pollutants from the lake waters of San Pablo City, Philippines by targeted and non-targeted analysis. Sci.Total Environ. 639, 588–595. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.217

[8] Xu, R., Tie, X., Li, G., Zhao, S., Cao, J., Feng, T., Long, X., (2018). Effect of biomass burning on black carbon (BC) in South Asia and Tibetan Plateau: the analysis of WR F-Chem modeling. Sci. To tal Environ. 645 , 901–912. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.165.

[9] Nadia Singh, Richard Nyuur and Ben Richmond, (2019). Renewable Energy Development as a Driver of Economic Growth: Evidence from Multivariate Panel Data Analysis, Sustainability, 11, 2418; doi:10.3390/su11082418.

[10] S. Mujiyanto and G. Tiess (2013). Secure energy supply in 2025: Indonesia's need for an energy policy strategy, Energy Policy, vol. 61, pp. 31–41, 2013, doi: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.119.

[11] Diputra, E.M., Jungho, B. (2018). Is growth good or bad for the environment in Indonesia? International Journal of Energy Economics and Policy, 8(1), 1-4.

[12] Siti Inayatul Faizah and Uus Ahmad Husaeni (2018). Development of Consumption and Supplying Energy in Indonesia's Economy. International Journal of Energy Economics and Policy, 2018, 8(6), 313-321.

[13] https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01649134/document diakses pada Tanggal 17 Maret 2020

[14] https://www.boell.de/en/2017/08/02/renewable-energy-asean diakses pada Tanggal 17 Maret 2020

[15] ASEAN Centre for Energy (2015). ASEAN Plan of Action for Energy Cooperation 2016-2025 (APAEC).

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

[16] http://www.aseanenergy.org/resources/publications/asean-plan-of-action-for-energy-cooperation-apaec-2016-2025/ diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
[17] http://re-guidelines.info/ diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
[18] IEA (2021). Energy Statistics Data Browser, IEA, Paris https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser.
[19] F. Birol, "Southeast Asia Energy Outlook (2019). Int. Energy Agency, no. October, p. 199, 2019, [Online]. Available: https://www.iea.org/reports/southeast-asia-energy-outlook-2019#.
[20] https://www.gamespot.com/forums/offtopic-discussion-314159273/8-countries-with-no-natural-resource-but-thrive-to-29364331/ diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
[21] http://www.evwind.es/2015/07/21/cambodia-has-big-renewable-energy-potential/53444 diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
[22] https://www.export.gov/article?id=Brunei-oil-and-gas-extraction diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
[23] https://www.export.gov/article?id=Brunei-oil-and-gas-extraction diakses pada Tanggal 17 Maret 2020
[24] Erdiwansyah, R. Mamat, M.S.M. Sani, K. Sudhakar (2019). Renewable energy in Southeast Asia: Policies and recommendations. Science of The Total Environment, Elsevier, Volume 670, 20 June 2019, Pages 1095-1102.
[25] Maw Maw Tun and Dagmar Juchelkova (2019). Biomass Sources and Energy Potential for Energy Sector in Myanmar: An Outlook. *Resources* 2019, *8*(2), 102; https://doi.org/10.3390/resources8020102
[26] Carlos, R.M.; Khang, D.B., (2010). Characterization of Biomass Energy Projects in Southeast Asia. Biomass Bioenergy, 32, 525–532. [CrossRef]
[27] Klimowicz, G. Southeast Asia Set for Biomass Boom. Available online: https://www.eco-business.com/news/ southeast-asia-set-biomass-boom/ (accessed on 23 March 2020).
[28] Zafar, S., (2022). Bioenergy Perspectives for Southeast Asia. Available online: https://www.bioenergyconsult.com/ bioenergy-southeast-asia/ (accessed on 23 March 2020)
[29] FAO., (2004). Unified Bioenergy Terminology. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
[30] E. R. Coffey et al., (2017). New Emission Factors and Efficiencies from in-Field Measurements of Traditional and Improved Cookstoves and Their Potential Implications," Environ. Sci. Technol., vol. 51, no. 21, pp. 12508–12517, Nov. 2017, doi: 10.1021/acs.est.7b02436.
[31] www.asiabiomass.jp/english/topics/1209_01.html
[32] Putera, P B., Hermawati, Wati Poerbosisworo, I. R., (2015). The trend of technological development of biomass gasification: compare several country. JSTI.
[33] Sapuan Dani and Aditya Wibawa (2018). Challenges And Policy For Biomass Energy In Indonesia. International Journal of Business, Economics and Law, Vol. 15, Issue 5 (April) ISSN 2289-1552
[34] BP Statistics (2014). BP Statistical Review of World Energy,2014. Accessed online March 23, 2020 at http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf>
[35] EIA (2014). Indonesia – Overview. Last updated March 5, 2014. Accessed online March 23, 2020 at <http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/Indonesia/indonesia.pdf>
[36] Asia Biomass Office (2020). Forest Resources in ASEAN Countries. Available online: https://www.asiabiomass.jp/ english/topics/1111_04.html (accessed on 23 March 2020).
[37] Prastowo, B., (2012). Biomass Resource in Indonesia: Indonesia's Solid Biomass Energy Potential. In Proceedings of the Indonesia-German Workshop and Seminar, Institute Technology of Bandung, Kota Bandung, Indonesia, 26–27 September 2012; pp. 1–15.
[38] Zafar, S., (2020). Biomass Energy in Indonesia. Available online: https://www.bioenergyconsult.com/biomass-energyresources-in-indonesia/ (accessed on 23 March 2020).
[39] Bracmort, K. (2010). Biomass feedstocks for biopower: Background and selected issues. Book.
[40] Mujiyanto, S., (2013). Secure energy supply in 2025: Indonesia's need for an energy policy strategy, Energy Policy, vol 61, p. 31-41.
[41] Singh R, Setiawan A., (2013). Biomass energy policies and strategies: Harvesting potential in India and Indonesia. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 22, p.332-345.
[42] https://www.eco-business.com/news/power-play-whos-winning-southeast-asias-renewables-race/

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

[43] IRENA, International Renewable Energy Agency (2018). Renewable Capacity Statics, vol. 47, no. 4. Abu Dhabi.
[44] Eco-Business Special Report (2019). Power play—who's winning Southeast Asia's renewables race? https://www.eco-business.com/news/power-play-whos-winning-southeast-asias-renewables-race/
[45] Polkinghorne, J. (2017). The death of coal? Greater Auckland, 13 March. https://www.greaterauckland.org.nz/2017/03/13/the-death-of-coal/.
[46] Idris, M. (2016). Harga Batu Bara Terus Anjlok, Banyak Perusahaan Tambang Gulung Tikar. detikfinance. https://finance.detik.com/rea d/2016/07/31/183946/3265386/1034/harga-batu-bara-terus-anjlokbanyak-perusahaan-tambang-gulung-tikar
[47] Katakey, R. (2017). World coal production just had its biggest drop on record. Bloomberg, 13 June. https://www.bloomberg.com/news/ articles/2017-06-13/coal-s-era-starts-to-wane-as-world-shifts-tocleaner-energy.
[48] Zalfiatri et al., (2017). Potensi Energi Teoritis dan Teknis dari Residu Pertanian di Kabupaten Kuantan Singingi.
[49] Salman Zafar (2019). Biomass Energy in Indonesia. https://www.bioenergyconsult.com/biomass-energy-resources-in-indonesia/ diakses pada Tanggal 19 Maret 2020
[50] ESDM (2011). Bioenergy potential in Indonesia reached 49.810 MW. Last update May 24, 2011. Accessed online March 23, 2020 at http://www.esdm.go.id/index-en/83-energy/4536-bioenergy-potential-in-indonesia-reached-49810-mw.html
[51] Faizal (2011). Biomass potential and utilization in Indonesia. Presented at "The 8th Biomass Asia Workshop". Accessed online March 20, 2020 at http://www.biomass-asia-workshop.jp/biomassws/08workshop/files/5Biomass%20Potential...%20in%20Indonesia.pdf
[52] Carbon Trust (2014). Waste to energy in Indonesia. Accessed online March 23, 2020 at < http://www.carbontrust.com/news/2014/06/waste-to-energy-in-indonesia>.
[53] Conrad, L., & Prasetyaning, I. (2014). Overview of the Waste-to-Energy Potential for Grid-connected Electricity Generation (Solid Biomass and Biogas) in Indonesia. Accessed online October 24, 2014 at https://mail.energypedia.info/images/archive/7/7d/20140516114837!GIZ_2014,Biogas_in_Ghana_Sector_Analysis_of_Potential_and_Framework_Conditions.pdf
[54] DEN (2016a). Indonesia Energy Outlook 2016. National Energy Council. Retrieved from ⟨http://www.den.go.id/index.php/publikasi/index/EnergyOutlook⟩
[55] DJK ESDM (2016). Statistik Ketenagalistrikan 2015 (29 Fiscal). Directorate General of Electricity, Ministry of Energy and Mineral Resources, Jakarta, Indonesia. Retrieved from ⟨http://www.djk.esdm.go.id/pdf/BukuStatistikKetenagalistrikan/ StatistikKetenagalistrikanT.A.2016.pdf⟩
[56] PLN (2017a). Electricity Supply Business Plan 2017–2026 (RUPTL).
[57] Kunaifi, K., Reinders, A., (2016). Opportunities for Photovoltaic Solar Energy Systems in Indonesia. WREC-15.
[58] IRENA (2017). Untapped Potential for Climate Change Action: Renewable Energy in Nationally Determined Contributions. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Retrieved from ⟨ http://www.irena.org/publications/2017/Nov/Untapped-potential-for-climate-
[59] IRENA (2012). Renewable Energy Technologis: Cost Analysis Series. Biomass for Power Generation (Vol. 1). Abu Dhabi. Retrieved from http://www.irena.org/Publications/Publications.aspx?Mnu=cat&PriMenuID=36&CatID=141&type=all.
[60] F. Lafond, A. Gotway Bailey, J. DavidBakker, D. Rebois, R. Zadourian, P. McSharry, J. Doyne (2017). Farmer How Well Do Experience Curves Predict Technological Progress? A Method for Making Distributional Forecasts (2017), 10.1016/j.techfore.2017.11.001
[61] E. S. Rubin, I. M. L. Azevedo, P. Jaramillo, and S. Yeh (2015). A review of learning rates for electricity supply technologies, Energy Policy, vol. 86, pp. 198–218, 2015, doi: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.011.
[62] E.S. Rubin, I.M.L. Azevedo, P. Jaramillo, S. Yeh (2015). A review of learning rates for electricity supply technologies. Energy Policy, 86 (2015), pp. 198-218, 10.1016/j.enpol.2015.06.011
[63] Government of The Republic of Indonesia (2016). First Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia. Retrieved from <http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/IndonesiaFirst/FirstNDCIndonesia_submittedtoUNFCCCSet_November2016.pdf>.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

[64] Government of The Republic of Indonesia (2014). Government Regulation of Republic of Indonesia No. 79 Year 2014 regarding National Energy Policy.
[65] PLN (2016b). PLN Management Report.
[66] IESR (2019). Indonesia Clean Energy Outlook Reviewing 2018, Outlooking 2019.
[67] E.S. Rubin, I.M.L. Azevedo, P. Jaramillo, S. Yeh. A review of learning rates for electricity supply technologies**.** Energy Policy, 86 (2015), pp. 198-218, 10.1016/j.enpol.2015.06.011
[68] OECD/IEA (2017). World Energy Outlook - World Energy Model. Retrieved from 〈 http://www.worldenergyoutlook.org/weomodel/〉 .
[69] Government of The Republic of Indonesia (2014). Government Regulation of Republic of Indonesia No. 79 Year 2014 regarding National Energy Policy.
[70] Singh, R., & Setiawan, A. D., (2013). Biomass energy policies and strategies: Harvesting potential in India and Indonesia. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22, 332-345.
[71] IESR (2018). Igniting A Rapid Deployment Of Renewable Energy In Indonesia: Lessons Learned from Three Countries.
[72] J. Müller (2019). https://www.statista.com/statistics/990992/biomass-energy-supply-indonesia/ diakses pada 25 Maret 2020

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Warta LPM

Vol. 23, No. 2, September 2020, hlm. 151-164
p-ISSN: 1410-9344; e-ISSN: 2549-5631
homepage: http://journals.ums.ac.id/index.php/warta

Diseminasi Teknologi Energi Terbarukan Berbasis Sampah Sayuran untuk Mendukung Desa Wisata Alam Desa Selo Boyolali

[1]Kuswaji Dwi Priyono, [2]Kun Harismah, dan [3]Qomarun

[1]Prodi Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta
[2]Prodi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Surakarta
[3]Prodi Teknik Arsitektur, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Email: [1]Kuswaji.Priyono@ums.ac.id, [2]Kun.Harismah@ums.ac.id, & qomarun@ums.ac.id

Article Info

Submitted: 30 December 2019
Revised: 17 January 2020
Accepted: 3 April 2020
Published: 7 April 2020

Keywords : *Renewable energy, Selo, Tourism Village, Trash.*

Abstract

The Technology Product Program that was disseminated to the community in the Selo Boyolali Village aims to implement leading research on renewable energy and environmental engineering that supports the development of a natural tourism village. Selo Village is located between Mount Merbabu and Mount Merapi which is a natural tourist area with mountain views to the north and south. Tourist attractions offered include mountain climbing, outbound, and New Selo (Mount Merapi Observation Post). In Selo there is also traditional art of Topeng Ireng, Jathilan, Reog Ponorogo, Kethoprak, and is famous for its vegetable and fruit agricultural products. Vegetable and fruit waste has a negative impact on the village environment, becoming smelly and dirty which will affect tourist visits. Therefore it is necessary to develop technology for processing vegetable waste that can produce biogas as a renewable energy and can be developed as an environmentally friendly tourist attraction. In its application in the field a 3in1 biogas model is carried out, namely biogas made from 3 types at once, namely: vegetable waste, cow dung and human waste. The use of this waste management method is not only "handling" but also has a use value / benefit as renewable energy and liquid waste that comes out of the digester is used as organic fertilizer for vegetables and other agriculture. This technology can reduce pollutant solids around 75-90% and have a positive impact on a clean and odorless environment. The technology produced in the form of methane gas (CH4) which is a renewable energy from the results of the recycle concept that is beneficial to the community, because in addition to properly handled waste, renewable energy sources can also be produced.Abstrak ditulis dalam bahasa Inggris (200-250 kata) yang dicetak miring dan merupakan terjemahan dari abstrak yang berbahasa Indonesia.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kata Kunci : Desa Wisata, Energi terbarukan, Selo, Sampah.

Abstrak

Program Produk Teknologi yang didiseminasikan kepada masyarakat di Desa Selo Boyolali bertujuan untuk mengimplementasikan riset unggulan tentang energi terbarukan dan rekayasa lingkungan yang mendukung pengembangan desa wisata alam. Desa Selo terletak di antara Gunung Merbabu dan Gunung Merapi yang merupakan kawasan wisata alam dengan pemandangan gunung di utara dan selatannya. Obyek wisata yang ditawarkan antara lain pendakian gunung, outbound, dan New Selo (Pos Pengamatan Gunung Merapi). Di Selo juga terdapat kesenian tradisional Topeng Ireng, Jathilan, Reog Ponorogo, Kethoprak, dan terkenal dengan hasil pertanian sayuran dan buah-buahan. Sampah sayuran dan buah-buahan berdampak negatif bagi lingkungan desa, menjadi berbau dan kotor yang akan mempengaruhi kunjungan wisatawan. Oleh sebab itu diperlukan pengembangan teknologi untuk pengolahan sampah sayuran yang dapat menghasilkan biogas sebagai energi terbarukan dan dapat dikembangkan sebagai obyek wisata yang ramah lingkungan. Pada penerapannya di lapangan dilakukan model biogas 3in1, yaitu biogas berbahan dasar 3 jenis sekaligus, yaitu: sampah sayur, kotoran sapi dan kotoran manusia. Penggunaan metode pengelolaan limbah ini tidak hanya bersifat "penanganan" namun juga memiliki nilai guna/manfaat sebagai energi terbarukan dan limbah cair yang keluar dari digester dimanfaatkan sebagai pupuk organik tanaman sayuran dan pertanian lainnya. Teknologi ini dapat menurunkan padatan pencemar berkisar 75-90% dan berdampak positif pada lingkungan yang bersih dan tak berbau. Teknologi yang yang dihasilkan berupa gas metana (CH_4) yang merupakan energi terbarukan dari hasil konsep recycle yang menguntungkan bagi masyarakat, karena selain limbahnya tertangani dengan baik, juga dapat dihasilkan sumber energi terbarukan.

1. PENDAHULUAN

Kecamatan Selo adalah salah satu kecamatan yang ada di Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah, berada di sebelah barat daya di antara Gunung Merapi dan Gunung Merbabu. Kecamatan ini sebagai penyangga Taman Nasional Gunung Merapi, di mana 7 dari 10 desa di Kecamatan Selo berbatasan langsung dengan kawasan tersebut, di antaranya Desa Jrakah, Desa Lencoh, Desa Samiran, Desa Selo, Desa Senden, Desa Tarubalang, dan Desa Jeruk (Gambar 1). Desa Wisata Selo merupakan wilayah dengan topografi perbukitan dan pegunungan berada pada ketinggian rata-rata 1.600 – 1.800 m di atas permukaan air laut, dengan suhu udara berkisar antara 17°– 20°C dan luas wilayah mencapai 9.675 ha.



Gambar 1. Peta Administrasi Kecamatan Selo

Desa Selo ini menawarkan suasana kehidupan pedesaan yang dikombinasikan dengan keindahan panorama Gunung Merapi dan Merbabu (Lihat Gambar 2). Beberapa potensi pariwisata yang dimiliki Desa Selo antara lain Potensi Agrowisata, Potensi Wisata Alam (Pendakian Gunung Merapi dan Merbabu,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 2. Paket Wisata Alam

Camping ground, dan *Outbond*), Pos Pengamatan Gunung Merapi, Goa Raja, dan Potensi Wisata Budaya (Tari Kuda Lumping, Tari Turonggo Seto, Tari Topeng Rheog, Tari Prajurit, dan Sedekah Merapi). Kunjungan wisatawan New Selo pada tahun 2014 sejumlah 19.250, di tahun 2015 wisatawan yang berkunjung 21.430 , tahun 2016 dengan jumlah wisatawan 23.364, tahun 2017 sejumlah 24.457, dan pada tahun 2018 mencapai jumlah 27.569 (Sumber Dinas Pariwisata Kab. Boyolali, 2018).

Perkembangan ekonomi masyarakat di Kabupaten Boyolali khususnya di Desa Selo Kecamatan Selo semakin berkembang dan berpotensi untuk dikembangkan sebagai destinasi pariwisata yang semakin *sustainable*, dan berdaya saing. Namun, adanya jumlah penduduk yang semakin bertambah dan kegiatan paket wisata alam yang potensial tersebut menyebabkan timbulan sampah yang semakin menumpuk. Pengembangan kawasan pedesaan Selo menjadi isu penting dalam 3 (tiga) tahun terakhir ini dikarenakan merupakan Desa Wisata yang bekerja sama Universitas Muhammadiyah Surakarta (UMS). Sejalan dengan program pemerintah untuk percepatan perekonomian Desa Selo yang berfokus menangani Program Wisata Alam Pedesaan serta lingkungan, maka UMS memiliki kepedulian dengan berkontribusi memberikan penguatan melalui aplikasi sains dan teknologi, model, kebijakan, serta rekayasa lingkungan berbasis riset tentang kemandirian energi dan kepedulian lingkungan menuju Desa Wisata Hijau atau *Green Tourism Village.*

Dengan adanya timbulan sampah yang belum tertangani dengan baik, maka pengelolaan sampah yang akan dilakukan untuk bahan kompos sebesar 7,02 %, daur ulang sebagai bahan baku 0,79 %, daur ulang sebagai produk kreatif 0,56 %, terolah sebagai bahan bakar 2,17 %, terolah sebagai bank sampah 2,39 % sedangkan yang lainnya ditimbun di lokasi Tempat Pembuangan Sampah (TPS) Sementara 66,39% belum tertangani. Program energi terbarukan dilakukan pada desa ini yang memiliki potensi ekonomi tinggi baik berdasarkan letak geografis wilayah, ekonomi kreatif, *sosio-culture*, sumber daya alam, sumber daya manusia ataupun potensi lainnya yang berupa sampah dan belum terkelola dengan baik. Data yang diperoleh berupa timbulan sampah sebesar 46,21 kwintal perhari (Gambar 3).

Perkembangan timbulan sampah yang terdapat di Desa Selo, dewasa ini telah memberikan sumbangan besar terhadap penurunan kesehatan masyarakat. Di lain pihak hal tersebut juga memberi dampak pada lingkungan akibat buangan sampah maupun eksploitasi sumber daya yang semakin intensif dalam pengembangan industri kecil. Lebih lanjut dinyatakan harus ada transformasi kerangka kontekstual dalam pengelolaan sampah, yakni keyakinan bahwa operasi lingkungan secara keseluruhan harus menjamin sistem lingkungan alam berfungsi sebagaimana mestinya dalam batasan ekosistem lokal hingga biosfer. Efisiensi dalam pemanfaatan, pemrosesan, dan daur ulang sampah, akan menghasilkan keunggulan kompetitif dan manfaat ekonomi sesuai dengan **Riset Unggulan** Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan skim **Energi Terbarukan.** Dalam pengurangan dan pemanfaatan energi sampah organik oleh Karang Taruna Jagad Manunggal akan dilakukan penerapan teknologi biogas skala rumah tangga. Biogas diperoleh dari sampah organik yang dikarenakan oleh bakteri anaerob sampah akan berubah menjadi biogas yang dapat digunakan sebagai sumber energi pengganti gas (Siboro, 2013). Sedangkan Kelompok Sadar Wisata POKDARWIS akan memanfaatkan lingkungan yang belum tertata menjadi area yang hijau.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 3. Timbunan Sampah Desa Selo Kecamatan Selo Boyolali

Penggunaan biogas sebagai bahan bakar yang bersih dan ramah lingkungan telah menciptakan dampak yang positif terhadap isu ekonomi, ekologi, dan energy (Sahil, 2016). Program PTDM Desa Selo di Kabupaten Boyolali dalam mewujudkan desa unggulan sebagai desa kerjasama dengan UMS yang dilakukan dengan skema pada Gambar 4 berikut. Mitra kegiatannya bersama Karang Taruna (Kartar) Jagat Manunggal dan Kelompok Sadar Wisata (Pokdarwis) Desa Selo, bersama-sama mewujudkan Desa Wisata Mandiri Enerji.

Tujuan Umum dari program produk teknologi yang didiseminasi menggunakan teknologi energi terbarukan menghasilakan biogas untuk mengintegritas penerapan produksi bersih dan pengolahan sampah menjadi energi terbarukan dengan menggunakan reaktor digester secara terpadu untuk mewujudkan desa mandiri energi, di samping itu juga untuk menjaga desa yang bersih dan sehat menuju desa hijau. Untuk menuju Desa Hijau kelompok mitra adalah Karang Taruna Jagad Manunggal yang beranggotakan 124 orang serta Kelompok Darwis Desa Selo yang beranggotakan 94 orang. Kedua kelompok tersebut akan memanfaatkan sampah yang diproses dari digester menjadi energi terbaharukan serta lumpur digester yang akan digunakan sebagai pupuk organik. **Tujuan Khusus** untuk mengimplementasikan hasil riset unggulan Universitas Muhammadiyah Surakarta, skala prioritas energi terbarukan, rekayasa lingkungan untuk melakukan strategi pengelolaan lingkungannya. Potensi keberlanjutan dari segi ekonomi, sosial dan lingkungan perlu dipertahankan dengan supply produksi biogas dapat konstan dikonsumsi oleh masyarakat, dan berdampak menuju Desa Wisata Alam.

Di Desa Selo, Kecamatan Selo sendiri terdapat sekitar 40 pengrajin makanan ringan. Hal ini tentu menimbulkan dampak yang cukup besar, baik itu secara ekonomi, sosial dan yang terpenting adalah berdampak pada kualitas lingkungan. Luas wilayah desa Selo sekitar 631.1051 ha dengan batas-batas berikut, Batas utara: Desa Senden, Batas selatan: Desa Samiran, Batas barat: Desa Lencoh, Batas timur: Desa Genting. Pengrajin makanan ringan sebanyak 40 pengrajin terdapat pada Desa Selo yang tersebar dalam 6 RT. Di RT 6 terdapat 14 pengrajin makanan ringan, sedangkan di RT 7 terdapat 6 pengrajin, di RT 8 terdapat 4 pengrajin, RT 15 terdapat 6 pengrajin, di RT 9 terdapat 2 pengrajin, di RT 10 terdapat 8 pengrajin. Hampir semua pengrajin berproduksi di lingkungan tempat tinggal dan hampir semua industri kecil jadi satu dengan tempat tinggal pengrajin, demikian pula ternak sapinya. Kegiatan dalam proses pembuatan makanan ringan di Desa Selo Kabupaten Boyolali telah mempengaruhi kualitas lingkungan. Kapasitas bahan ketela pohon antara setiap pengrajin per hari 30- 200 kg dengan limbah yang dihasilkan sebanyak 32 kg per pengrajin.



Gambar 4. Skema Implementasi Diseminasi Energi Terbarukan

Permasalahan yang dihadapi Mitra 1, Karang taruna Jagad Manunggal adalah: Timbulan sampah sayuran dan kotoran sapi di Desa Selo Kecamatan Selo Kabupaten Boyolali sebagian besar dibuang begitu saja di lingkungan sekitar sehingga lingkungannya menjadi bau dan kotor; Kondisi tata ruang wilayah sebagai rencana desa wisata, umumnya tidak memenuhi syarat kegiatan dan higienesanitasi sehingga kondisi lingkungannya semakin memprihatinkan; dan Sampah yang dihasilkan mengandung padatan tersuspensi maupun terlarut. Padatan tersuspensi maupun terlarut ini akan mengalami perubahan fisika, kimia, dan hayati yang akan menghasilkan zat beracun, selain menciptakan media untuk tumbuhnya kuman dimana kuman ini dapat berupa kuman penyakit, karena sampah belum dimanfaatkan. Adapun permasalahan Mitra 2, Pokdarwis adalah: Kawasan permukiman yang dekat industri kecil makanan, pergerakan dan mobilitas rendah, kepadatan bangunan tinggi, peningkatan pencemaran sampah, timbulnya bau tidak sedap, minimnya kuantitas & kualitas Ruang Terbuka Hijau (RTH), sering terjadi timbunan sampah pada kawasan permukiman yang kurang mendukung wisata; Belum termanfaatkannya kolam-kolam di desa, sehingga perlu diadakan diversifikasi usaha berbasis akuakultur dengan hidroponik, yaitu budidaya sayuran secara akuaponik. Akuaponik adalah gabungan sistem hidroponik dan akuakultur yang saling bersimbiotik, dan Minimnya pengetahuan mitra tentang teknologi tepat guna untuk pembuatan aquaponik.

Solusi pengelolaan lingkungan yang melibatkan Karang Taruna Jagad Manunggal, Kelompok Sadar Wisata POKDARWIS dapat dilakukukan secara terorganisasi tergantung dari wilayah mitra. Selain dilakukan secara individual, upaya pengelolaan lingkungan bersama-sama Karang Taruna Jagad Manunggal dan Kelompok Sadar Wisata POKDARWIS yang akan dilakukan menggunakan pendekatan sumber permasalahan. Dengan demikian, sumber daya dan biaya yang timbul akibat upaya pengelolaan ini ditanggung secara bersamaan oleh pihak yang terlibat. Solusi yang akan diterapkan pada Karang taruna adalah Penerapan teknologi pengolahan sampah dengan diseminasi teknologi digester anaerob 1 (satu) buah yang bervolume 13 m^3 untuk mengolah kadar bahan organik yang tinggi pada sampah serta bahan yang terikut dalam sampah dapat menyebabkangangguan pada ekologi lingkungan. Padahal bahan organik sebenarnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kegiatan lainya itu sebagai bahan baku pembentukan biogas sebagai energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk proses produksi maupun untuk keperluan bahan bakar rumah tangga. Penggunaan metode pengelolaan limbah ini tidak hanya bersifat penanganan namun juga memiliki nilai guna/manfaat sebagai energi terbarukan. Teknologi ini dapat menurunkan padatan pencemar berkisar 75-90 %. Selain itu, dengan metode anaerob, teknologi yang digunakan sederhana, mudah dipraktekkan dengan peralatan yang relatif murah dan mudah didapat. Diseminasi teknologi digester dengan volume 13 m^3 serta penerapan produksi bersih untuk air, bahan baku dan energi.

Adapun solusi yang akan diterapkan pada POKDARWIS adalah Permukiman desa hijau sebagai upaya peningkatan kualitas hidup dan lingkungan perdesaan. Kenyataan di lapangan upaya yang akan dilakukan Desa Selo sebagai kawasan wisata permukiman perdesaan menerapkan upaya pencanangan program Desa wisata alam yang menuju permukiman wisata berkelanjutan, gerakan penghijauan dan optimalisasi RTH, dan penerapan teknologi ramah lingkungan peningkatan kenyamanan pengolahan prasarana ramah lingkungan. Solusi pertama adalah melakukan pengolahan air kolam lele yang kaya akan senyawa amoniak, nitrat dan zat organik lainnya dari kotoran lele dan sisa pakan, akan menjadi sumber nutrisi sayuran yang dibudidayakan secara akuaponik. Sebagian besar tanaman hortikultura dapat tumbuh dengan baik pada sistem akuaponik. Tanaman terpilih yang rencananya dibudidayakan secara akuaponik adalah sawi hijau dan kangkung. Kedua sayuran ini diminati dan dijadikan bisnis masyarakat sekitar karena mempunyai masa tanam yang pendek (±40 hari). Tanaman pada sistem akuaponik berperan sebagai filter yang menyaring kotoran air kolam. Air kolam menjadi relatif lebih jernih dan bersih sehingga mengurangi frekuensi penggantian air kolam yang biasanya dilakukan seminggu sekali menjadi dua minggu sekali. Berkurangnya frekuensi penggantian air kolam berimbas pada penurunan biaya produksi,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

antara lain: biaya listrik biaya perawatan pompa air tenaga dan waktu pembersihan kolam dan meminimalisasi terjadinya stres pada ikan lele akibat pergantian air yang dapat berakibat pada turunnya nafsu makan ikan Turunnya biaya produksi ini secara otomatis akan meningkatkan pendapatan mitra. Selain itu tambahan pendapat juga diperoleh mitra dari penjualan hasil panen sayuran akuaponik. Solusi kedua bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan, solusi kedua adalah melakukan pembekalan mitra dengan pengetahuan dan pelatihan manajemen bisnis yang meliputi penyusunan pembukuan sederhana, penghitungan ongkos produksi, dan strategi penentuan harga produk.

Secara rinci kegiatan yang akan dilakukan pengusul pengabdian dan mitra sebagai bentuk pelaksanaan lanjutan solusi pertama dan kedua adalah sebagai berikut: (1) Mitra menyiapkan peralatan, bahan dan tempat sesuai kesepakatan untuk ditempati sistem tanaman, (2) Pengusul bersama-sama mitra membuat/ membangun sistem akuaponik seperti gambar di lokasi usaha mitra, (3) Pengusul melakukan penyuluhan teknik budidaya sayuran secara akuaponik pada mitra, (4) Pengusul mendampingi dan mengevaluasi, (5) Pengusul mengamati dan mengevaluasi perubahan kondisi dan frekuensi penggantian air kolam, (6) Pengusul melakukan pelatihan manajemen administrasi pada mitra, (7) Pengusul mendampingi dan mengevaluasi kemampuan mitra dalam mengelola administrasi kegiatan usahanya, (8) Pengusul membantu mitra dalam memasarkan hasil panen sayuran, dan (9) Pengusul dan mitra mengevaluasi perubahan biaya produksi dan pendapatan sebelum dan sesudah melaksanakan sistem akuaponik.

Secara teori menurut Prasetyadi, dkk. (2018) dan Mara (2012), luaran yang dihasilkan berupa gas metana (CH_4) merupakan energi terbarukan dari hasil konsep *recycle* yang diterapkan dalam proses pengolahan sampah yang sangat menguntungkan masyarakat, karena selain polusi yang disebabkan oleh sampah tertangani dengan baik, juga dapat dihasilkan sumber energi terbarukan. Digester anaerob sebanyak 2 buah dengan volume 13 m^3 yang merupakan *reactor batch*, rangkaian reaktor yang digunakan merupakan proses batch yaitu memiliki tahapan-tahapan yang masing-masing tahap dijalankan secara batch. Satu siklus operasional digester anearob terdiri dari 5 tahap, yaitu : (1) Pengisian (*fill*); (2) Reaksi (*react*); (3) Pengendapan (*settle*); (4) Pengurasan (*decant/draw*); (5) Stabilisasi (*idle*). Digester anaerob memiliki kelebihan (1) mampu mengolah sampah dengan beban organik tinggi (2) toleran terhadap beban kejut (*shock loading*) dan (3) efisiensi besar serta (4) murah. Peningkatan pemahaman dan ketrampilan mitra akan pemanfaatan sampah pengairan, lumpur digester digunakan untuk pupuk organik cair dan budidaya sayuran secara akuaponik. Efisiensi produksi berupa berkurangnya biaya produksi untuk bahan bakar dan keperluan rumah tangga, serta biaya untuk keperluan pupuk. Peningkatan pemahaman dan kemampuan mitra dalam menyusun pembukuan sederhana, penghitungan ongkos produksi, dan penentuan harga jual produk yang menguntungkan mitra dan sesuai dengan keinginan konsumen.

Rencana capaian penerapan teknologi kepada masyarakat ini, antara lain: mengurangi jumlah penggunaan air proses, mengurangi pencemaran air, memperbesar daur ulang limbah cair makanan ringan, peningkatan penerapan teknologi dan ketrampilan mitra budidaya sayuran, efisiensi produksi berupa berkurangnya biaya produksi, peningkatan ketrampilan dan kemampuan mitra dalam menyusun pembukuan sederhana, peningkatan ketrampilan dan kemampuan mitra dalam menghitung ongkos produksi, peningkatan ketrampilan dan mitra menentukan harga jual produk yang tepat untuk mitra dan konsumen, dihasilkannya produk baru berupa sayuran akuaponik, peningkatan pendapatan/omzet mitra, dan wisata alam menjadi lebih dikenal. Selanjutnya indicator capaiannya adalah: industri kecil makanan ringan melaksanakan produksi bersih serta efisiensi bahan baku, air dan energy, lingkungan industri tidak tercemar oleh air limbah dengan indikator tidak ada bau busuk dan luberan air limbah di permukiman penduduk, diperoleh energi terbarukan dari hasil daur ulang limbah cair Makanan ringan dengan indikator berkurangnya biaya untuk energi mencapai 40%, kuantitas dan kualitas hasil panen sayuran akuaponik meningkat 40%, frekuensi penggantian air kolam turun

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

50% yang berkorelasi dengan penurunan 50% biaya produksi, ketepatan dan kesesuaian Mitra dalam merakapitulasi setiap transaksi dalam pembukuan, ketepatan dan kesesuaian Mitra dalam menghitung ongkos produksi dengan transaksi yang terjadi di lapangan, diperolehnya pendapatan tambahan dari hasil penjualan panen sayuran sebesar 40%, dan diperoleh pendapatan dari hasil wisata.

2. METODE

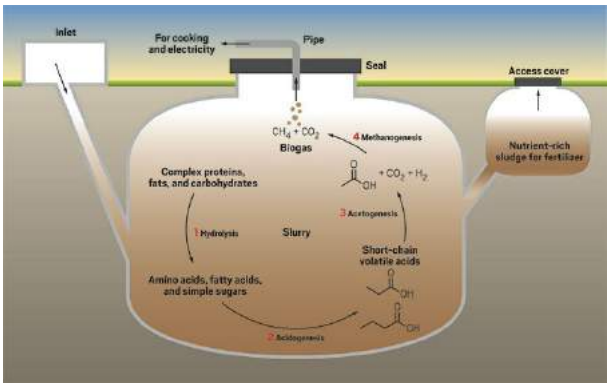
Metode kegiatan terapan teknologi pada masyarakan ini, meliputi persiapan, identifikasi kebutuhan masyarakat, perancangan, *manufacturing*, pembangunan digester, sosialisasi penggunaan digester ke mitra dan pendampingan operasional serta diseminasi teknologi, pola pengairan dengan pemanfaatan air limbah yang keluar digester, pembuatan pupuk organik cair, pendampingan pembukuan pemasaran dan penjualan produk pertanian menggunakan sarana IT, monitoring dan evaluasi. Adapun tahapan pengoperasian digester anaerob, meliputi: (1) waktu siklus dalam sistem digester anaerob berkisar antara 3 - 24 jam, tergantung karakteristik limbah dan tujuan pengolahan (Muktiani, 2007; Lim, 2016). Sistem digester anaerob dapat dimodifikasi untuk oksidasi karbon (C), nitrifikasi, denitrifikasi, dan eliminasi fosfor (P). Proses sistem digester anaerob terdiri atas lima tahap, yaitu pengisian, reaksi, pengendapan, pengurasan, dan stabilisasi. Sebelum dimulai operasi digester anaerob dilakukan *flushing* terhadap bak influen maupun digester dengan menggunakan nitrogen 95,95% (*industrial grade*) selama 30 menit untuk pengusir oksigen (O_2); (2) Periode Pengisian (*Fill*), pengoperasian digester anaerob dimulai dengan periode pengisian. Pada tahap ini *valve* yang menghubungkan bak penampung influen dengan reaktor dibuka dengan pengaturan debit sehingga dalam 3 jam cairan yang ada di dalam bak influen habis tertransfer ke dalam digester (Indriyanti, 2015; Shepard, 2017). Karena periode ini dijalankan influen dan digester ditutup dan dimulai tahap yang ke dua yaitu tahap reaksi; (3) periode Reaksi (*React*), sampling mulai dilakukan pada saat permulaan tahap reaksi yaitu dilanjutkan dengan interval waktu tertentu hingga berakhirnya tahap reaksi; (4) periode Pengendapan (*Settle*), terjadinya pengendapan biomasa. Setelah tercapai waktu 2,4 jam tahap selanjutnya adalah periode pengurasan; (5) periode pengurasan (*Decant/Draw*), periode ini merupakan periode pengeluaran supernatan (cairan jernih) dari dalam sistem. Supernatan tersebut merupakan efluen dari proses anaerob. Pengeluaran efluen dilakukan dengan cara membuka *sampling port* hingga tersisa hanya biomasa berupa lumpur selokan saja. Pada reaktor telah diberi tanda batas volume biomasa yang berupa lumpur selokan sebagai acuan untuk periode pengurasan; (6) periode Stabilisasi *(Idle*), tahap terakhir yang dilakukan adalah tahap stabilisasi dilakukan terhadap reaktor yang hanya berisi biomasa berupa lumpur selokan. Tahap ini dilakukan selama 0,6 jam.

Gambar 5 menggambarkan komposisi gas metana yang dihasilkan sangat bergantung dari kandungan bahan organik limbah yang dapat didegradasi melalui proses anaerobik, di antaranya karbohidrat, lemak, dan protein. Proses pengolahan limbah secara anerobik terdiri atas proses hidrolisis, acidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Reaksi kimia berdasarkan proses degradasi senyawa organik dengan bakteri metanogenesis adalah.

$4\ H_2 + HCO_3 + H^+ \rightarrow CH_4 + 3\ H_2O$

Asetat- + $H_2O \rightarrow CH_4 + HCO_3$-

Metanaol- $\rightarrow$ ¾ CH_4 + ¼ HCO_3- + ¼ H^+ + ¼ H_2O

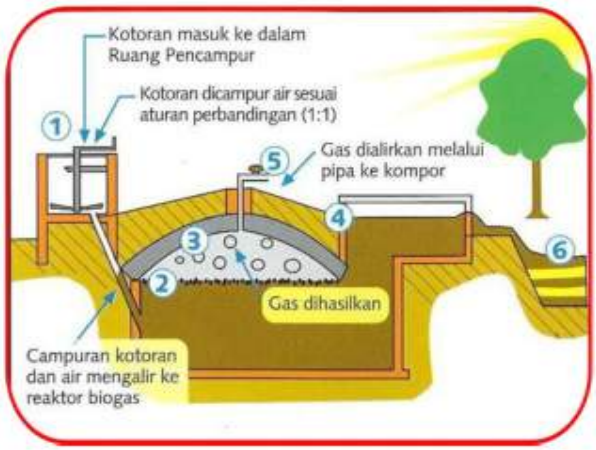


Gambar 5. Skema Digester Anaerob dan Reaksi yang Terjadi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Sedimentasi berlangsung dalam satu digester, padatan total tersuspensi (TSS), COD dan gas yang terbentuk dikontrol pada range optimum 30°C-35°C dan pH dikontrol pada range optimum 6,8- 7,4. Secara skematis, diagram alir rancangan sistem digester anaerob tersaji pada Gambar 6 (Stams, et.al., 2003; Ratnaningsih, 2009; Mara, 2012).

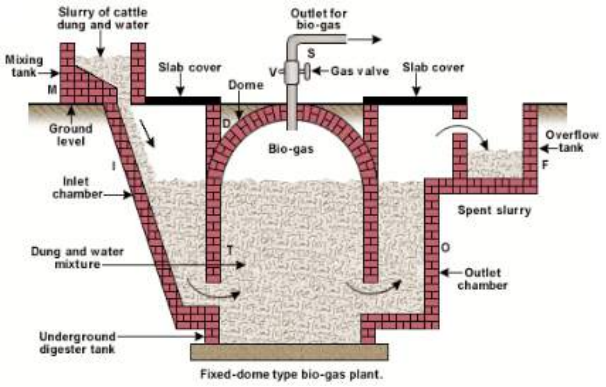
Partisipasi Mitra dalam Pelaksanaan Program merupakan penguatan Forum Kelembagaan Paguyuban, Pengaturan *layout* (alur produksi) secara total mulai dari sampah, Desain produk digester anaerob, Proses penyusunan pembukuan, Berperan serta dalam training pembuatan digester anaerob, Berperan serta dalam training teknik pengolahan sampah, Berperan serta dalam training eco efisiensi bahan baku, energi, Berperan serta dalam training pemasaran melalui media elektronik. Gambaran teknologi terkait dengan biodigester dan mesin pencacah sampah dapat dilihat di Gambar 7 (Waskito, 2011; Widyasmara, 2012; Suminto, dkk, 2013).



Gambar 6. Skema Rangkaian Digester Anaerob

Keterangan:

1. *Inlet* (tangki pencampur), tempat bahan baku kotoran dimasukkan,
2. Reaktor (ruang anaerobik/hampa udara),
3. Penampung gas (kubah penampung),
4. Outlet (ruang pemisah),
5. Sistem pipa penyalur gas, dan
6. Lubang penampung ampas biogas atau lubang pupuk kotoran yang telah terfementasi.



Gambar 7. Gambaran Teknologi yang Akan Diterapkan

Metode pelaksanaan yang akan dilakukan untuk mendukung realisasi program PTDM di Desa Selo Kecamatan Selo Kabupaten Boyolali untuk Kelompok Peduli Lingkungan Mitra AmanahKarang Taruna Jagad Manunggal dan POKDARWIS ada lima berikut.

a. Desiminasi Teknologi Pengolahan Limbah Lumpur Digester menjadi Pupuk Organik dan Pupuk Cair.

   Model pendampingan kepada masyarakat ditujukan sebagai upaya pengembangan program edukasi kepada masyarakat melalui pola-pola yang berorientasikan pada peningkatan kualitas sumber daya manusia, yang memiliki tanggung jawab yang tinggi terhadap lingkungan seperti penyuluhan dan pelatihan. Keterlibatan secara langsung dan bersama-sama masyarakat yang tergabung dalam kelompok POKDARWIS menghadapi dan menyelesaikan permasalahan pemanfaatan lumpur digester sebagai penghasil pupuk cair dan pupuk organik. Program ini merupakan program pengabdian kepada masyarakat yang sangat efektif. Karena selain memberikan manfaat langsung kepada masyarakat juga secara akademis merupakan implementasi dari program riset unggulan Universitas Muhammadiyah Surakarta dan nilai-nilai keilmuan dosen yang mengembangkan Tridharma Perguruan Tinggi.

b. Perencanaan dan Perancangan Alat Pupuk Organik dan Pupuk Cair

   Perencanaan dan perancangan peralatan pupuk organik dan pupuk cair dilakukan

dengan melihat volume lumpur untuk keperluan pembuatan pupuk. Hal ini direncanakan dan dibuat gambar teknis secara sederhana yang memenuhi kriteria keamanan strukturnya dan prinsip paling ekonomis. Kemudian seiring dengan pembuatan alat pengolah pupuk organik juga dilakukan perencanaan pembuatan instalasi pembuatan pupuk organik dan pupuk cair. Di samping itu dilakukan perencanaan pembangunan bak control keluaran yang digunakan untuk menampung keluaran limbah lumpur yang dapat dimanfaatkan oleh petani sebagai pupuk organik. Pola perencanaan ini juga dilibatkan kelompok POKDARWIS agar masyarakat penggunanya dapat merasakan manfaatnya serta turut membangun bersama sebagai bentuk tanggung jawab kemandiriannya. Dengan demikian, bukanlah hal yang sulit untuk melibatkan masyarakat kelompok Tani dalam merencanakan, merancang sampai proses pembangunan instalasi pengolah pupuk organik sesuai dengan kebutuhannya.

c. Pendampingan Masyarakat dalam Mengorganisaikan Kegiatan Pembangunan

Pada masyarakat yang terorganisir dalam Kelompok POKDARWIS, kegiatan pembangunan lingkungan yang dilaksanakan merupakan program yang relatif sudah berjalan melalui organisasi kelompok petani, RT dan RW maupun kepala desa setempat. Namun dalam beberapa hal yang menyangkut organisasi masih perlu penataan. Hal ini dimaksudkan agar kegiatan pembangunan peralatan pembuatan pupuk organik dan Instalasi pupuk cair yang akan dilaksanakan dapat terorganisir dengan baik dan berkelanjutan. Artinya dengan pendampingan profesional masyarakat diharapkan lebih terarah dan dapat memberdayakan potensi masyarakat petani secara optimal.

d. Pendampingan Pelaksanaan Proses Pembangunan Instalasi dan Mesin Pembuat Pupuk Organik dan Pupuk Cair.

Model yang dikembangkan merupakan penerapan proses pembangunan yang berbasiskan masyarakat petani setempat, mulai dari perencanaan sampai pada sumber daya manusia yang melaksanakan pembangunannya. Penggalian dan penguatan cara tradisional seperti musyawarah, kerja bakti (gotong royong) tetap menjadi model yang paling efektif diterapkan. Model ini bukanlah hal yang asing bagi masyarakat desa, karena kegiatan-kegiatan pembangunan fisik sudah terbiasa dilakukan secara swadaya dan bersama-sama, sehingga pelaksanaan model seperti ini tidak akan mendapatkan kendala yang berarti. Pembangunan peralatan dan instalasi pembuat pupuk organik dan pupuk cair didesain secara sederhana yang memenuhi kriteria keamanan strukturnya dan prinsip paling ekonomis.

e. Putaran *belt* dituruskan ke roda gigi pembalik untuk membalikkan arah putaran. Putaran dari roda gigi selanjutnya akan memutarkan puli dan *fan belt*. Putaran dari pili dan fan belt akan diteruskan ke *conveyor*. Putaran *conveyor* akan mengangkut lumpur digester dari saluran masuk. Lumpur digester kemudian di angkut oleh *conveyor* dan ditampung ke dalam bak penampung dan diproses menjadi pupuk organik.

Di bagian atas terdapat motor window dan power screw yang akan mengangkat alat apabila lumpur digester, sehingga tinggi alat dapat menyesuaikan tinggi tumpukan lumpur digester. Pendampingan Pelaksanaan Operasional dan pemeliharaan peralatan pupuk organic. Tercapainya target pembangunan peralatan pembuat pupuk organik dan pupuk cair dan instalasi, maka perlu dilakukan tindak lanjut operasional dan pemeliharaannya agar diperoleh pupuk organik dan pupuk cair yang optimal digunakan untuk pertanian. Model pendampingan ini berupa penyuluhan dan pelatihan untuk memanfaatkan lumpur digester untuk pupuk organik dan pupuk cair.

Metode yang digunakan pengusul untuk menyelesaikan permasalahan Kelompok POKDARWIS adalah kekeluargaan, keterbukaan, penyuluhan, pelatihan, penerapan teknologi dan pendampingan dari awal sampai akhir PTDM. Tindak Lanjut dan Monitoring Serta

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Evaluasi Tercapainya target program pada pelaksanaannya belum dapat dijadikan sebagai indicator keberhasilan program dalam kerangka yang lebih luas (Prasetyadi, dkk., 2018). Program jangka panjang yang dirancang oleh tim pengabdian pada masyarakat di Desa Jaten Kecamatan Jaten Kabupaten Karanganyar, diterapkan model tindak lanjut yang berkesinambungan. Setelah program ini akan dilanjutkan penataan instalasi peralatan agar masyarakat luas dapat memanfaatkan berbagai pengembangan pupuk organik dan pupuk cair dan bio digester serta pemanfaatan air limbah digester untuk pengairan pertanian. Untuk monitoring dan evaluasi akan dilakukan oleh pemonev internal Universitas Muhammadiyah Surakarta dan Pemonev Eksternal dari LPPM, hal tersebut untuk memonitor kegiatan. Selanjutnya Evaluasi Pelaksanaan Program dan Berkelanjutan Menuju Wisata Hijau, Tahap ini adalah kegiatan tim pengabdian memonev mitra Karang Taruna Jagad Manunggal dan POKDARWIS untuk tetap menjaga kemitraan antara tim pengabdian dan mitra. Tujuannya memastikan bahwa digester dapat beroperasi dalam keadaan baik dan mitra tetap melakukan penggunaan dan perawatan sesuai prosedur. Memonev perawatan pada komponen pengaliran air limbah sampai ke pengaliran gas ke masyarakat serta keberlanjutan pembuatan pupuk organik dan pupuk cair serta keberlangsungan produksi akuaponik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tim pengabdian masyarakat UMS yang terdiri dari dosen dan mahasiswa telah melakukan serangkaian 3 kegiatan utama, yaitu: (1) FGD dengan warga Selo beserta pimpinannya; (2) survey lapangan penentuan lokasi biogas; serta (3) perancangan desain biogas. Kegiatan 3 jenis itu dilakukan berkali-kali, sehingga saat ini mulai ada hasil capaiannya. Pada saat awal kunjungan lokasi pengabdian masyarakat, yaitu Rabu, 17 Juli 2019 jam 09.00-10.00 di Bale Desa Selo, pihak Pemerintah Desa Selo memberitahukan bahwa sedang terjadi transisi kepemimpinan Desa Selo, sehingga kondisi belum memungkinkan untuk kegiatan pengabdian masyarakat. Pihak Sekretaris Desa menyarankan supaya kegiatan pengabdian masyarakat dari UMS dilakukan mulai pertengahan Agustus 2019, yaitu setelah adanya pelantikan lurah yang baru, supaya situasi dan kondisi desa lebih kondusif. Oleh karena itu, tim UMS hadir mulai kembali pada pertengahan Agustus 2019, yaitu Selasa 20 Agustus 2018 dan seterusnya, untuk diskusi yang lebih mendalam dan lebih mengarah kepada program biogas, serta pembangunannya. Adapun suasana FGD dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Foto FGD Biogas di Bale Desa Selo, 20 Agustus 2019



Gambar 9. Survey dan Pengukuran Lahan Biogas

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 10. Survey dan Pengukuran Lahan Biogas

Setelah dilakukan diskusi di Bale Desa Selo, maka tahap-tahap berikutnya tim UMS melakukan survey lapangan untuk menemukan lokasi yang sesuai dengan program biogas di rumah-rumah warga. Berikut ini adalah beberapa foto-foto hasil survey lapangan dan desain lokasi biogasnya yang direncanakan dibangun dalam Program kegiatan PTDM ini (Lihat Gambar 9 dan Gambar 10).

Kegiatan tahap selanjutnya adalah membuat gambar kerja, RAB dan pembangunan biogas. Dalam pelaksanaan pembutan instalasi biogas disepakati tim pelaksana pembangunan adalah tim ahli biogas dari Boyolali, yaitu CV Bionat yang dipimpin oleh Bapak Ir. M. Junaedi. Dalam pelaksanaan pembuatannya, sebagai proses pembelajaran pembuatan biogas kepada Mitra dan warga Desa Selo umumnya, maka beberapa tenaga/tukang diambil dari warga Selo, sehingga terjadi transfer ilmu pembangunan biogas. Hal ini dilakukan supaya jika ada pembangunan biogas berikutnya warga Desa Selo bisa mandiri. Fokus pembangunan biogas dalam kegiatan ini adalah model 3in1, yaitu biogas yang berbahan baku dari 3 jenis bahan, yaitu dari sampah sayuran, kotoran sapi dan kotoran manusia. Karena bahan sampah sayuran ternyata secara spasial di desa Selo sangat minim, untuk keberlanjutan jangka panjang maka biogas dikondisikan dari kotoran sapi dan manusia. Selanjutnya mesin pencacah sayuran dialokasikan untuk pendampingan tata kelola ruang permukiman untuk kenyamanan *homestay* bagi wisatawan dan area parkir mobil. Hal tersebut karena keterjangkauan mobil wisatawan hanya sampai lokasi tersebut, selanjutnya wisatawan melanjutkan route pendakian ke Puncak Merbabu dengan jalan kaki. Adapun proses gambaran teknologi yang didiseminasikan kepada masyarakat terlihat pada Gambar 11.

Penerapan teknologi pengolahan sampah dengan diseminasi teknologi digester anaerob 2 (dua) buah yang bervolume 13 m^3 untuk mengolah kadar bahan organik yang tinggi pada kotoran sapi/ternak lainnya, sampah serta bahan yang terikut dalam sampah telah dapat mengatasi penyebab gangguan pada ekologi lingkungan di Desa Selo. Setelah kegiatan ini bahan organik dari kotoran ternak, manusia, dan sampah sayuran dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kegiatan lainnya yakni sebagai bahan baku pembentukan biogas sebagai energi terbarukan telah dapat dimanfaatkan untuk proses produksi maupun untuk keperluan bahan bakar rumah tangga. Penggunaan metode pengelolaan limbah ini tidak hanya bersifat penanganan namun juga memiliki nilai guna/manfaat sebagai energi terbarukan. Teknologi ini dapat menurunkan



Gambar 11. Instalasi Biogas dengan input kotoran sapi dan manusia

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

padatan pencemar berkisar 75-90 %. Selain itu, dengan metode anaerob, teknologi yang digunakan sederhana, mudah dipraktekkan dengan peralatan yang relatif murah dan mudah didapatkan yakni dari kotoran sapi, manusia (WC), dan sampah sayuran tersebut.

Permukiman desa yang mendukung Wisata Hijau sebagai upaya peningkatan kualitas hidup dan lingkungan perdesaan yang nyaman bagi wisatawan mulai dipahami oleh masyarakat Desa Selo. Kenyataan di lapangan kegiatan ini juga menjadi upaya terjalinnya kembali sifat kegotongroyongan masyarakat yang terbelah karena pemilihan kepala desa 3 bulan yang lalu dapat teratasi. Masyarakat di Desa Selo telah menyadari bahwa desanya layak sebagai kawasan wisata permukiman perdesaan yang menerapkan upaya pencanangan program Desa Wisata alam menuju permukiman wisata berkelanjutan. Gerakan penghijauan dan optimalisasi RTH berupa penerapan teknologi ramah lingkungan telah berdampak pada peningkatan kenyamanan sarana dan prasarana Desa Selo yang ramah lingkungan.

Solusi juga telah dilakukan melalui penampungan air dari kamar mandi penduduk ditampung pada kolam-kolam yang terbuat dari terpal. Kolam dari sisa buangan air tersebut dimanfaatkan untuk pembesaran budidaya ikan lele yang kaya akan senyawa amoniak, nitrat dan zat organik lainnya dari kotoran lele dan sisa pakan, akan menjadi sumber nutrisi sayuran yang dibudidayakan pada lahan pertanian penduduk. Sebagian besar tanaman hortikultura dapat tumbuh dengan baik terutama pada saat musim kemarau yang kekurangan air, sehingga kebutuhan air untuk menyiram sayuran teratasi melalui program kegiatan ini. Tanaman terpilih yang dibudidayakan adalah kentang, buncis, sawi hijau, loncang, kacang kapri, dan kangkung. Tanaman sayur-sayuran ini diminati dan dijadikan bisnis masyarakat sekitar karena mempunyai masa tanam yang pendek (±40 hari). Tanaman pada sistem berperan sebagai filter yang menyaring kotoran air kolam. Air kolam menjadi relatif lebih jernih dan bersih, sehingga mengurangi frekuensi penggantian air kolam yang biasanya dilakukan seminggu sekali menjadi dua minggu sekali. Berkurangnya frekuensi penggantian air kolam berimbas pada penurunan biaya produksi, antara lain: biaya listrik biaya perawatan pompa air tenaga dan waktu pembersihan kolam dan meminimalisasi terjadinya stres pada ikan lele akibat pergantian air yang dapat berakibat pada turunnya nafsu makan ikan. Turunnya biaya produksi ini secara otomatis akan meningkatkan pendapatan mitra. Selain itu tambahan pendapat juga diperoleh mitra dari penjualan hasil panen sayuran.

Solusi selanjutnya sebagai rangkaian tindak lanjut bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan yaitu melakukan pembekalan mitra dengan pengetahuan dan pelatihan manajemen bisnis yang meliputi penyusunan pembukuan sederhana, penghitungan ongkos produksi, dan strategi penentuan harga produk. Secara rinci kegiatan yang akan dilakukan pengusul pengabdian dan mitra sebagai bentuk pelaksanaan lanjutan adalah sebagai berikut: (1) Mitra menyiapkan peralatan, bahan dan tempat sesuai kesepakatan untuk ditempati sistem tanaman, (2) Pengusul bersama-sama mitra membuat/ membangun sistem akuaponik seperti gambar di lokasi usaha mitra, (3) Pengusul melakukan penyuluhan teknik budidaya sayuran secara akuaponik pada mitra, (4) Pengusul mendampingi dan mengevaluasi, (5) Pengusul mengamati dan mengevaluasi perubahan kondisi dan frekuensi penggantian air kolam, (6) Pengusul melakukan pelatihan manajemen administrasi pada mitra, (7) Pengusul mendampingi dan mengevaluasi kemampuan mitra dalam mengelola administrasi kegiatan usahanya, (8) Pengusul membantu mitra dalam memasarkan hasil panen sayuran, dan (9) Pengusul dan mitra mengevaluasi perubahan biaya produksi dan pendapatan sebelum dan sesudah melaksanakan sistem akuaponik.

4. KESIMPULAN

Penerapan teknologi pengolahan sampah dengan diseminasi teknologi digester anaerob yang bervolume 13 m^3 untuk mengolah kadar bahan organik yang tinggi dari input kotoran sapi/ternak lainnya, sampah serta bahan yang terikut dalam sampah telah dapat mengatasi penyebab gangguan pada ekologi lingkungan di Desa Selo. Setelah kegiatan ini bahan organik dari kotoran ternak, manusia, dan sampah

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

sayuran dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kegiatan lainnya yakni sebagai bahan baku pembentukan biogas sebagai energi terbarukan telah dapat dimanfaatkan untuk proses produksi maupun untuk keperluan bahan bakar rumah tangga. Penggunaan metode pengelolaan limbah ini tidak hanya bersifat penanganan namun juga memiliki nilai guna/manfaat sebagai energi terbarukan. Teknologi ini dapat menurunkan padatan pencemar berkisar 75-90 %. Selain itu, dengan metode anaerob, teknologi yang digunakan sederhana, mudah dipraktekkan dengan peralatan yang relatif murah dan mudah didapatkan yakni dari kotoran sapi, manusia (WC), dan sampah sayuran tersebut.

Permukiman desa yang mendukung Wisata Hijau sebagai upaya peningkatan kualitas hidup dan lingkungan perdesaan yang nyaman bagi wisatawan mulai dipahami oleh masyarakat Desa Selo. Kenyataan di lapangan kegiatan ini juga menjadi upaya terjalinnya kembali sifat kegotongroyongan masyarakat yang terbelah karena pemilihan kepala desa 3 bulan yang lalu dapat teratasi. Masyarakat di Desa Selo telah menyadari bahwa desanya layak sebagai kawasan wisata permukiman perdesaan yang menerapkan upaya pencanangan program Desa Wisata alam menuju permukiman wisata berkelanjutan. Gerakan penghijauan dan optimalisasi RTH berupa penerapan teknologi ramah lingkungan telah berdampak pada peningkatan kenyamanan sarana dan prasarana Desa Selo yang ramah lingkungan.

Dalam kegiatan lanjutan disarankan adanya sinergitas yang lebih solid antar warga, sehingga kegiatan bersama yang dilakukan secara bergotongroyong akan terus memupuk persatuan antar warga Desa. Perpecahan pasca pemilihan Kepala Desa tidak akan terjadi apabila jalinan kerjasama dalam banyak kegiatan yang berkelanjutan terus digalakkan. Program kegiatan pengabdian pada masyarakat oleh Tim UMS akan terus dilakukan secara bertahap dalam pendampingan Desa Mitra.

5. PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih dan apresiasi diberikan kepada Kementerian Riset Teknologi dan Perguruan Tinggi (Kemenristekdikti), Direktorat Penguatan Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRPM) yang telah menugaskan kepada Tim Pengabdian Masyarakat UMS pada Tahun Anggaran 2019 ini. Apresiasi yang dalam kepada Kepala Desa Selo yang lama maupun yang baru dalam kerjasama melaksanakan kegiatan ini. Kepada Mitra yang diwakili oleh Mas Hartoyo (Karang taruna) dan Mbah Kasno (Pokdarwis dan Pelaku Seni Desa Selo), segenap Tim Pengabdi mengucapkan banyak terimakasih atas bantuan fasilitas rumah untuk pelaksanaan kegiatan ini. Semoga kegiatan ini dapat berlanjut dalam rangkaian Pendampingan Desa Mitra UMS di Desa Selo, keberterimaan wisatawan domestic maupun mancanegara akan terus meningkat seiring terciptanya lingkungan Desa Selo yang hijau dan berkemajuan.

DAFTAR PUSTAKA

Indriyanti, D. R., Banowati, E., & Margunani, M. (2015). Pengolahan Limbah Organik Sampah Pasar Menjadi Kompos. *Jurnal Abdimas, 19(1), 25526*.

Lim, X-Z. (2016). Uphill climb for biogas in Asia. Chemical and Engineering News, 94(19): 20-22. https://cen.acs.org/articles/94/i19/Uphill-climb-biogas-Asia.html. Diakses 27 Februari 2019.

Mara, M. (2012). Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO2) Dengan Larutan NaOH Terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi. *Dinamika Teknik Mesin*, *2*(1).

Muktiani, A., Achmadi, J., & Tampubolon, B. I. M. (2007). Fermentabilitas rumen secara in vitro terhadap sampah sayur yang diolah. *JPPT*, *32*(1), 44-50.

Prasetyadi, P., Wardani, L. A. & Kusnoputranto, H. (2018). Evaluasi Kinerja Operasi Sistem Anaerobik Tipe Fixed Bed untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu menjadi Biogas di Kota Probolinggo. Jurnal Teknologi Lingkungan, 19(1) : 61-70. Doi: 10.29122/jtl.v19i1.2624.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Ratnaningsih, R., Widyatmoko, H., & Yananto, T. (2009). Potensi pembentukan biogas pada proses biodegradasi campuran sampah organik segar dan kotoran sapi dalam batch reaktor anaerob. *Jurnal Teknologi Lingkungan Universitas Trisakti*, *5*(1), 19-26.

Sahil, J., Al Muhdar, M. H. I., Rohman, F., & Syamsuri, I. (2016). Sistem pengelolaan dan upaya penanggulangan sampah di Kelurahan Dufa-Dufa Kota Ternate. *BIOeduKASI*, *4*(2).

Siboro, E. S., Surya, E., & Herlina, N. (2013). Pembuatan pupuk cair dan biogas dari campuran limbah sayuran. *Jurnal Teknik Kimia USU*, *2*(3), 40-43.

Shepard, N. (2017). Endless Fuel-Survive The End Days, *http://survivetheenddays.com/ endless-fuel-4/*. Diakses 25 Februari 2019.

Stams, A.J.M., Elfrink, S.J.W.H.O., dan Westerman, P. (2003). Metabolic Interactions Between Metanaogenic Consortia and Anaerobic Respiring Bacteria. Wageningen. School of Engineering and Applied Science, Civil and Environmental Engineering Dept. Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology, Vol. 81. Springer.

Suminto, Susanto, D. A., Lukiawan, R. (2013). Standar dalam Mendukung Pengembangan Sumber Energi Baru (Biogas). Jurnal Standardisasi, 15(1) : 9 – 19.

Waskito, D. (2011). Analisis pembangkit listrik tenaga biogas dengan pemanfaatan kotoran sapi di kawasan usaha peternakan sapi. Tesis. Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.

Widyasmara, L., Pratiwiningrum, A., & Yusiati, L. M. (2012). Pengaruh jenis kotoran ternak sebagai substrat dengan penambahan serasah daun jati (Tectona grandis) terhadap karakteristik biogas pada proses fermentasi. *Buletin Peternakan*, *36*(1), 40-47.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Ikatan Alumni Fisika Universitas Negeri Medan
Vol. 5 No. 4 Oktober – Desember 2019
ISSN : 2461-1247

EFEKTIVITAS PEMANFAATAN ENERGI TERBARUKAN BIOGAS DI KABUPATEN SUMBA TIMUR

Erwin Randjawali [1], Mariana Silvana Moy[2]
[1]Program Studi Pendidikan Matematika, Fakultas Ilmu-Ilmu Sosial, Universitas Kristen Wira Wacana Sumba
[2]Program Studi Agroteknologi, Fakultas Ilmu-Ilmu Sosial, Universitas Kristen Wira Wacana Sumba
erwinrandjawali@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi terkait penerapan teknologi biogas di Kabupaten Sumba Timur, yakni: pemanfaatan reaktor biogas, pemanfaatan serta efektivitas energi biogas. Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Sumba Timur, yang terfokus di Kecamatan Lewa, Kecamatan Kambera, Kecamatan Pandawai, dan Kecamatan Kota Waingapu. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa tipe reaktor biogas yang digunakan adalah *fixed dome reactor* tanpa pengaduk, dengan ukuran reaktor yang dominan dipilih adalah 4m^3, serta umur reaktor yang bervariasi. Dari total 21 unit reaktor yang diobservasi, 62% merupakan reaktor yang masih aktif digunakan, sedangkan sisanya sudah tidak aktif digunakan. 95% responden memanfaatkan biogas untuk memasak, dan sisanya menggunakannya untuk penerangan dan sekaligus memasak. Penelitian ini juga menemukan bahwa terdapat beberapa kendala yang dihadapi oleh para responden, seperti kebocoran gas, penyumbatan pada pipa, kompor macet, ukuran reaktor yang tidak sesuai, serta kendala yang disebabkan oleh iklim dan cuaca. Beberapa kendala diatasi secara mandiri oleh responden (14.29%), maupun ditangani oleh pihak pengembang/ lembaga (4.76%). Efektivitas pemanfaatan biogas di kecamatan-kecamatan fokus penelitian ini termasuk dalam kategori rendah..
Kata kunci : *Biogas, Sumba Timur, pemanfaatan, kendala*

ABSTRACT

This study aims to obtain information regarding the application of biogas technology in East Sumba Regency, ie: the use of biogas reactors, the utilization, and effectiveness of biogas energy. This research was conducted in East Sumba Regency, which focused on Lewa Subdistrict, Kambera Subdistrict, Pandawai Subdistrict, and Kota Waingapu Subdistrict. Results of this study found that the type of biogas reactor used was a fixed dome reactor without a stirrer, with the dominant reactor size chosen was 4m^3, and the reactor age varied. Of the total 21 reactor units observed, 62% are reactors that are still actively used, while the rest are not actively used. 95% of respondents use biogas for cooking, and the rest use it for lighting and cooking. The study also found that there were several obstacles faced by respondents, such as gas leaks, blockages in pipes, stagnant stoves, inappropriate reactor sizes, and constraints caused by climate and weather. Some obstacles were overcome independently by respondents (14.29%), as well as handled by the developer/institution (4.76%). The effectiveness of the use of biogas in the sub-districts of this research focus is classified in the low category.
Keywords: *Biogas, East Sumba, utilization, obstacle*

PENDAHULUAN

Biogas adalah salah satu energi terbarukan yang dapat digunakan untuk mengantisipasi krisis energi di Indonesia (KESDM, 2016). Biogas adalah salah satu jenis bioenergi yang memiliki potensi untuk dikembangkan di Indonesia karena vegetasi hujan tropis yang melimpah di negeri ini (Kholiq, 2015). Pulau Sumba adalah salah satu pulau di Indonesia yang memiliki potensi untuk mengembangkan energi baru dan terbarukan, tetapi masih memiliki rasio elektrifikasi yang rendah (Dagi Consulting, 2018). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kehadiran energi terbarukan biogas di Pulau Sumba menghadirkan dampak yang baik, yakni berkurangnya ketergantungan masyarakat Sumba terhadap Bahan Bakar Minyak yang bersumber dari fosil (Poek & Plaimo, 2018). Penggunaan biogas mampu berkontribusi dalam pemenuhan kebutuhan bahan bakar, membantu masyarakat dalam hal perekonomian di perdesaan, dan limbah yang dihasilkan dari biogas dapat dimanfaatkan sebagai pupuk (Elizabeth & Rusdiana, 2011).

Biogas dapat berasal dari kotoran ternak seperti sapi (Putri, Saputro, & Budiyono, 2012), kotoran babi (Konrad, Koch, Lumi, Tonetto, & Bezama, 2014), kotoran kerbau (Carotenuto, Guarino, Minale, & Morrone, 2016), kotoran kambing, kotoran kuda, kotoran domba, dan kotoran ayam (Olowoyeye, 2013). Jumlah kotoran ternak sebagai bahan baku biogas tentu saja terkait dengan jumlah ternak yang tersedia. Salah satu sektor yang memiliki potensi terbesar untuk dikembangkan di Sumba Timur adalah peternakan (Hudang, 2016). Menurut data BPS dari Sumba Timur (2016)

populasi ternak besar di wilayah itu dibagi menjadi sapi potong (50.700), kuda (31.700) dan populasi ternak babi (99.272) (BPS, 2016). Implementasi pemanfaatan energi berkelanjutan didukung oleh ketersediaan sumber daya hewan dan biomassa.

Meskipun penggunaan dan pemanfaatan biogas di Kabupaten Sumba Timur telah dilakukan, informasi ilmiah terkini terkait dengan efektivitas pemanfaatan biogas serta kendala yang dialami dalam para pengguna biogas sangat diperlukan. Informasi ilmiah ini diperlukan untuk memperkuat justifikasi ilmiah dari program pengembangan energi yang ramah lingkungan. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan status dan informasi terkini dalam pengembangan penerapan teknologi biogas di Kabupaten Sumba Timur.

Penelitian terkait efektivitas biogas yang telah dilakukan peneliti sebelumnya di Desa Pendoworejo, Yogyakarta, melihat efektivitas dari beberapa aspek, yaitu pemanfaatan energi biogas yang dilakukan secara kontinu, pemanfaatan biogas, dan keterpenuhan kebutuhan energi yang menggunakan biogas, dan pemanfaatan biogas dinilai efektif apabila reaktor biogas tersebut berfungsi dengan baik (Palupi, 2015). Penelitian yang kami lakukan pun melihat efektivitas pemanfaatan biogas dari ketiga aspek yang digunakan oleh peneliti sebelumnya.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas pemanfaatan biogas dan mengetahui kendala-kendala yang dialami oleh para pengguna teknologi biogas di Kabupaten Sumba Timur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif yang menggunakan suatu metode ilmiah untuk memperoleh data pada suatu latar alamiah (Moleong, 2012). Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif, dan dilakukan dengan mengambil fokus pada empat kecamatan yang berada di Kabupaten Sumba Timur, Provinsi Nusa Tenggara Timur, yakni Kecamatan Kambera, Kecamatan Pandawai, Kecamatan Lewa, dan Kecamatan Kota Waingapu, pada bulan Mei hingga Agustus 2018.

Informan penelitian ini pengguna teknologi biogas yang diperoleh dengan menggunakan teknik sampling *snow ball*, di mana menemukan subyek penelitian pertama akan memberikan nama subyek penelitian yang lainnya (Atkinson & Flint, 2001). Teknik mengumpulkan data yang digunakan adalah observasi, wawancara perseorangan (*in depth interview*), dan dokumentasi. Jumlah pengguna biogas yang diwawancarai dalam penelitian ini adalah 21 orang, dengan distribusi 4 orang berasal dari Kecamatan Kambera, 5 orang dari Kecamatan Pandawai, 6 orang dari Kecamatan Lewa, dan 6 orang dari Kecamatan Kota Waingapu.

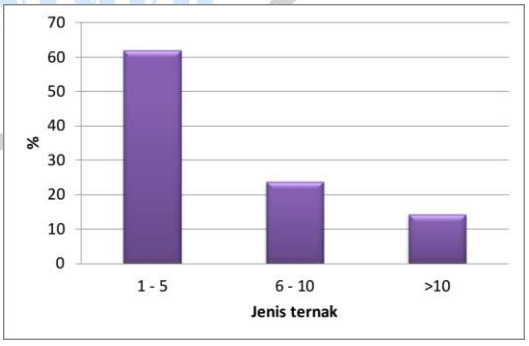
Data-data penelitian yang sudah diperoleh kemudian dibaca, dipelajari, ditelaah, dan kemudian direduksi dengan cara membuat rangkuman. Data penelitian ini ditabulasi dengan menggunakan aplikasi open source *Libreoffice Calc* versi 4.2.8.2, dan kemudian disajikan dalam bentuk grafik dan narasi. Data-data yang telah direduksi selanjutnya dikategorisasi, dan kemudian diperiksa keabsahannya dan selanjutnya ditafsirkan (Moleong, 2012). Hasil penelitian ini diinterpretasikan dengan menggunakan tabel Arikunto (Arikunto, 2014).

HASIL DAN PEMBAHASAN

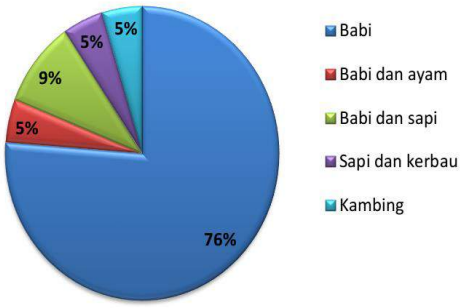
Distribusi Bahan Isian Reaktor Biogas

Jumlah hewan yang dimiliki oleh masing-masing informan cukup bervariasi, mulai dari 1 hingga 10 ekor, dengan rata-rata hewan yang dimiliki adalah 1-5 ekor hewan, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Sedangkan kotoran ternak yang digunakan oleh informan sebagai pengisi reaktor biogas berasal dari beberapa jenis ternak seperti babi, ayam, kerbau, sapi, dan kambing. 76% pengguna biogas menggunakan kotoran babi, 5% pengguna biogas menggunakan kotoran kambing, 9% pengguna biogas menggunakan campuran kotoran babi dan sapi, 5% pengguna biogas menggunakan campuran kotoran babi dan ayam, dan 5% menggunakan campuran kotoran sapi dan kerbau, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Distribusi jumlah ternak responden



Gambar 2. Distribusi sumber slurry responden

Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 2, dapat disimpulkan bahwa kotoran babi paling umum digunakan sebagai bahan pengisi reaktor biogas. Hal ini karena populasi ternak babi di ke empat kecamatan fokus penelitian memiliki jumlah yang lebih banyak jika dibandingkan dengan populasi ternak kuda, sapi, kerbau, dan kambing, seperti yang terdapat pada Tabel 1. Data juga menunjukkan bahwa rata-rata masyarakat Sumba memiliki setidaknya 1 hingga 2 babi di rumah mereka (Bajgain, 2011). Data juga menunjukkan bahwa babi dengan berat 50kg dapat menghasilkan gas metana sekitar 65-70% (Ford, 2007). Selain itu, komposisi gas dalam biogas dipengaruhi oleh sifat bahan yang digunakan, karena terkait dengan jumlah karbon (IV) oksida (Himanen & Hänninen, 2011).

TABEL 1. POPULASI TERNAK DI KECAMATAN LEWA, KAMBERA, PANDAWAI, DAN KOTA WAINGAPU MENURUT JENIS TERNAK

Kecamatan	Jumlah (ekor)				
	Sapi	Kerbau	Kuda	Kambing	Babi
Lewa	2370	1767	1568	1141	4243
Kambera	1961	370	1071	3893	12714
Pandawai	8358	2783	3849	7794	9497
Kota Waingapu	738	537	1071	3897	1755

Profil Reaktor Biogas

Umur reaktor yang diobservasi per kecamatan fokus penelitian cukup bervariasi, karena reaktor-reaktor tersebut dibangun tahun yang berbeda-beda, yakni pada periode tahun 2011 hingga 2017. Dari total 21 orang informan yang diwawancarai, 4 orang responden membangun reaktor biogas masing-masing pada tahun 2012, 2013, dan 2014, 5 orang responden membangunnya pada tahun 2015, 2 orang reponden membangunnya pada tahun 2016, dan 1 orang responden membangunnya masing-masing pada tahun 2011 dan 2017, seperti yang terdapat pada Gambar 3.

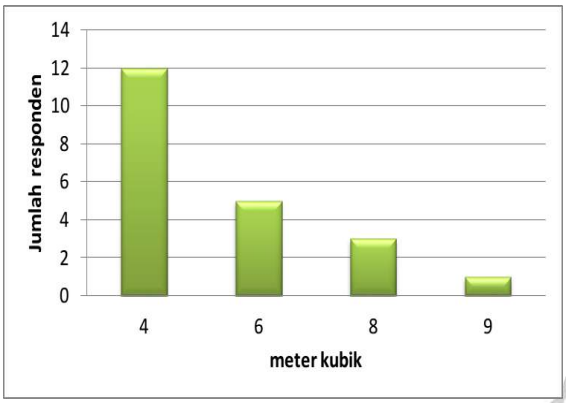


Gambar 3. Profil berdasarkan tahun pembuatan reaktor biogas

Dari hasil penelitian ini ditemukan bahwa jenis reaktor biogas yang digunakan di Sumba Timur adalah *fixed dome reactor* (reaktor dengan kubah tetap), yang tidak dilengkapi dengan pengaduk. Penggunaan reaktor dengan tipe seperti ini memberikan beberapa manfaat bagi penggunanya, yaitu: jika reaktor telah dibangun dengan benar, maka dapat digunakan untuk waktu yang lama, selain itu biaya konstruksi yang dibutuhkan untuk membangunnya relatif murah, dan karena reaktor terletak di bawah tanah, sehingga fluktuasi suhu dapat dipertahankan, dan masyarakat yang ada di lingkungan tersebut dapat memiliki lapangan pekerjaan ketika reaktor dibangun (Vögeli, Riu, Gallardo, Diener, & Zurbrügg, 2014).

Dari hasil pengamatan di lapangan ditemukan bahwa responden juga menggunakan ukuran reaktor biogas yang bervariasi. Dua belas responden menggunakan reaktor dengan ukuran 4 m3, 5 responden menggunakan ukuran 6 m3, 3 responden menggunakan ukuran 8 m3, dan 1 responden menggunakan ukuran 9 m3. Untuk mempertimbangkan ukuran reaktor biogas yang akan digunakan, pengguna harus mengetahui jumlah gas yang harus digunakan, serta ketersediaan bahan, baik untuk membangun reaktor biogas, serta ketersediaan pengisi reaktor biogas (Ford, 2007; Kuria & Maringa, 2008). Hasil penelitian menyatakan bahwa, ukuran yang dipilih oleh responden adalah berdasarkan rekomendasi yang diberikan oleh pengembang (lembaga yang membangun reaktor biogas) setelah melakukan survei terkait dengan jumlah ternak yang dimiliki, ukuran lahan untuk membangun reaktor biogas, dan kebutuhan gas pengguna.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 4. Ukuran reaktor biogas yang digunakan responden

Efektivitas Dilihat Dari Kekontinuitas Persediaan Biogas

Dari 21 unit reaktor biogas yang menjadi fokus penelitian, 62% merupakan reaktor biogas aktif, sedangkan sisanya 38% adalah reaktor yang tidak aktif digunakan karena kendala tertentu yang akan dibahas pada sub bab berikutnya. Persentasi jumlah reaktor biogas yang aktif tersebut termasuk dalam kategori cukup.

Semua informan menyatakan bahwa jumlah bahan isian reaktor biogas (slurry) sudah memenuhi kebutuhan. Ini termasuk dalam kategori tinggi. Akan tetapi dengan berjalannya waktu, terdapat 38% (kategori rendah) reaktor yang tidak lagi aktif.

Interval pengisian reaktor biogas pun bervariasi. 33% informan mengisi reaktor biogas sekali dalam sehari (kategori rendah), 38% informan mengisi reaktor biogas 2 kali dalam sehari (kategori rendah), 5% informan mengisi reaktor biogas tiga kali dalam sehari (kategori sangat rendah), sedangkan 24% mengisi reaktor biogas secara tidak menentu karena bergantung pada jumlah kotoran yang dihasilkan (kategori rendah).

Efektivitas Dilihat Dari Pemanfaatan Biogas

Pada dasarnya, energi biogas dapat digunakan untuk memasak, penerangan, dan untuk motor yang bergerak (Badan Litbang Pertanian, 2011). Informan di kecamatan sasaran menggunakan biogas untuk keperluan memasak dan kegiatan penerangan. Berdasarkan hasil penelitian ini, setelah reaktor biogas tersebut dibangun dan berfungsi dengan baik, sebanyak 91% pengguna biogas menggunakan biogas untuk kegiatan memasak (kategori tinggi), sementara 9% menggunakannya untuk memasak dan penerangan (kategori sangat rendah). Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa persentasi pemanfaatan biogas tersebut terkategori sangat tinggi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil monitoring dan evaluasi program Sumba Iconic Island 2018 bahwa biogas dimanfaatkan oleh warga Sumba untuk keperluan penerangan dan memasak. Serta manfaat yang diperoleh warga dengan menggunakan biogas adalah menghemat waktu untuk memasak (Dagi Consulting, 2018). Akan tetapi, setelah terjadi kendala dalam pemanfaatan biogas, hanya 61,90% saja yang memanfaatkan biogas untuk keperluan memasak (kategori cukup), sedangkan 38,10% informan tidak memanfaatkannya baik untuk keperluan memasak maupun penerangan (kategori rendah), karena telah terjadi kerusakan. Pemanfaatan biogas dengan persentase tersebut jika diinterpretasikan dengan menggunakan tabel interpretasi (Arikunto, 2014) termasuk dalam kategori cukup.

Efektivitas Dilihat Dari Pemenuhan Kebutuhan Biogas

Pengguna Biogas juga mengatakan bahwa gas yang dihasilkan memenuhi kebutuhan energi untuk kegiatan memasak dan penerangan. Namun, dari hasil pengamatan ini ditemukan bahwa beberapa pengguna hanya menggunakannya untuk kegiatan memasak yang memerlukan durasi pendek. Oleh karena itu, beberapa pengguna biogas masih menggunakan minyak tanah dan kayu bakar jika mereka akan memasak untuk waktu yang lama. Dengan demikian, pemanfaatan energi biogas belum terlalu efektif dalam menggantikan minyak tanah, kayu bakar, dan LPG.

Sebanyak 66,67% informan menyatakan bahwa jumlah biogas yang dihasilkan telah memenuhi kebutuhan biogas sehari-hari, sedangkan 33,33% informan menyatakan bahwa jumlah biogas yang dihasilkan belum memenuhi kebutuhan gas sehari-hari. Dapat dikatakan bahwa ketercukupan jumlah gas tersebut terkategori cukup.

Permasalahan dalam Pemanfaatan Biogas

Pembuatan reaktor dengan tipe kubah tetap tidak dapat dilakukan secara sembarangan, namun harus meelibatkan orang yang berkompeten, sehingga dapat mengantisipasi bilamana terjadi kebocoran pada reaktor tersebut (Vögeli et al., 2014). Jika seandainya terjadi kebocoran pada saat membuat reaktor tersebut, maka udara yang ada di luar reaktor dapat masuk ke dalamnya dan selanjutnya mengganggu proses pembentukan biogas, karena proses tersebut harus berlangsung pada kondisi tanpa oksigen (Abbasi, Abbasi, &

Tauseef, 2012). Kebocoran tersebut akan sulit untuk diperbaiki apabila reaktor tersebut telah selesai dibangun (berada di dalam tanah) (Vögeli et al., 2014)

Selain memperhatikan proses pembuatan reaktor biogas, pemeliharaan terhadap reaktor biogas yang telah dibangun juga perlu dilakukan. Jika hal ini tidak dilakukan dengan baik, maka pemanfaatan energi biogas menjadi tidak efektif. Pemeliharaan instalasi biogas dapat dilakukan dengan secara rutin memeriksa jaringan pipa (selang gas) dan bagian keselamatan, dan mencegah masuknya bahan yang dapat mengganggu pekerjaan bakteri biogas, seperti pestisida, deterjen, dan lainnya (Badan Litbang Pertanian, 2011).

Hasil penelitian ini menemukan bahwa pengguna biogas mengalami masalah dalam menggunakan reaktor biogas, yaitu: kebocoran gas, penyumbatan pada pipa, kompor biogas yang stagnan, ukuran reaktor yang tidak tepat, dan pengaruh iklim dan cuaca. Penyumbatan dalam pipa gas adalah masalah yang paling dialami oleh informan pengguna biogas. Kendala dalam mengoperasikan biogas dapat diatasi oleh pengguna secara mandiri (14,29%), dan ditangani langsung oleh pengembang/ lembaga (4,76%). Namun demikian, 19% responden menyatakan bahwa mereka tidak mengalami masalah dalam mengoperasikan reaktor biogas mereka.

Efektivitas Pemanfaatan Biogas di Kecamatan Fokus Penelitian

Reaktor biogas yang masih aktif berfungsi pada informan di kecamatan fokus wawancara adalah 62% dalam kategori cukup dan reaktor yang berada dalam kondisi rusak 38% dalam kategori rendah. Pemanfaatan energi biogas untuk memasak berada dalam kategori cukup (61,90%). Persentasi keterpenuhan jumlah biogas termasuk dalam kategori cukup (66,67%), dan yang tidak memenuhi tergolong dalam kategori rendah (33,33%). Efektivitas pemanfaatan energi biogas di kecamatan-kecamatan fokus penelitian termasuk dalam kategori rendah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa efektivitas pemanfaatan biogas di Kecamatan Kambera, Kecamatan Pandawai, Kecamatan Lewa, dan Kecamatan Kota Waingapu termasuk dalam kategori rendah. 62% unit reaktor yang diamati di sub-distrik yang menjadi fokus penelitian adalah reaktor yang masih aktif digunakan, sedangkan sisanya tidak aktif. Biogas yang dihasilkan digunakan untuk kegiatan memasak dan penerangan oleh responden di kecamatan-kecamatan ini. Namun, masih ada kendala yang membuat penggunaan biogas tidak efektif, yaitu kebocoran gas, penyumbatan pipa, tungku stagnan, ukuran reaktor yang tidak tepat, dan pengaruh iklim dan cuaca.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Riset & Pengabdian Kepada Masyarakat, Kementrian Ristek Dikti RI atas pendanaan melalui Program Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun Anggaran 2018 dan enumerator mahasiswa Agroteknologi Unkriswina Sumba Roby dan Depris.

DAFTAR PUSTAKA

Abbasi, T., Abbasi, S. A., & Tauseef, S. M. (2012). Biogas Energy. In *Springer*.

Arikunto, S. (2014). Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik. Jakarta: Rineka Cipta.

Atkinson, R., & Flint, J. (2001). Accessing Hidden and Hard-to-reach Populations: Snowball Research Strategies. Social Research Update, 33(January 2001).

Badan Litbang Pertanian. (2011). Biogas Pembuatan Konstruksi, Operasional Dan Pemeliharaan Instalasinya. SinarTani, (3408).

Bajgain, S. (2011). Feasibility of Biogas in Sumba. (February). Retrieved from *https://www.hivos.org/sites/default/files/feasibility_of_biogas_in_sumba_.pdf*

BPS. (2016). Badan pusat statistik kabupaten sumba timur (D. of I. M & P. and S. Dissemination, eds.).

Carotenuto, C., Guarino, G., Minale, M., & Morrone, B. (2016). Biogas production from anaerobic digestion of manure at different operative conditions. International Journal of Heat and Technology, 34(4), 623–629.

Dagi Consulting. (2018). Monitoring & Evaluasi Program Sumba Iconic Island 2018.

Elizabeth, R., & Rusdiana, S. (2011). Biogas Utilization Effectiveness to Lessen Rural Households' Expenditure. Prosiding Seminar Nasional Era Baru Pembangunan

Pertanian: Strategi Mengatasi Masalah Pangan, Bioenergi Dan Perubahan Iklim. Pusat Sosial Ekonomi Dan Kebijakan Pertanian, 220–234. Retrieved from Ford, S. (2007). Advances in Biogas. UK: Pira International Ltd.

Himanen, M., & Hänninen, K. (2011). Composting of bio-waste, aerobic and anaerobic sludges - Effect of feedstock on the process and quality of compost. Bioresource Technology, 102(3), 2842–2852.

Hudang, A. K. (2016). Perencanaan Pengembangan Subsektor Peternakan Dalam Upaya Peningkatan Perekonomian Di Kabupaten Sumba Timur. Jurnal Riset Ekonomi Dan Manajemen, 16(2), 331–344.

KESDM. (2016). Program Strategis EBTKE dan Ketenagalistrikan. Jurnal Energi – Media Komunikasi Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral.

Kholiq, I. (2015). Pemanfaatan energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung subtitusi BBM. IPTEK, 19, 75–91.

Konrad, O., Koch, F. K., Lumi, M., Tonetto, J., & Bezama, A. (2014). Potential of Biogas Production from Swine Manure Supplemented with Glycerine Waste. Engenharia Agrícola, 34(5), 844–853.

Kuria, J., & Maringa, M. (2008). Developing Simple Procedures for Selecting , Sizing , Scheduling of Materials and Costing of Small Bio – Gas Units. International Journal for Service Learning in Engineering, 3(1), 9–40.

Moleong, L. J. (2012). Metodologi Penelitian Kualitatif. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.

Olowoyeye, J. (2013). Comparative Studies on Biogas Production using Six Different Animal Dungs. 3(15), 7–11.

Palupi, D. S. (2015). Efektivitas Pemanfaatan Biogas untuk Menunjang Ketahanan Energi (Studi Di Desa Pendoworejo Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta). Jurnal Ketahanan Nasional, 21(2), 78.

Poek, W., & Plaimo, I. E. M. (2018). Pengembangan Energi Terbarukanberbasis Masyarakat di Daerah Terpencil dan Kontribusinya Terhadap Perubahan Iklim dan Kesejahteraan Masyarakat (Studi Kasus Program Sumba Iconic Island). Seminar Nasional Teknologi, 19–20. Retrieved from

Putri, D. A., Saputro, R. R., & Budiyono. (2012). Biogas production from cow manure. International Journal of Renewable Energy Development, 1(2), 61–64.

Vögeli, Y., Riu, C., Gallardo, A., Diener, S., & Zurbrügg, C. (2014). Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries. In Sandec: Department of Water and Sanitation in Developing Countries. Retrieved from]

IKAFI UNIMED
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

KELOLA Sendang

Kemitraan Pengelolaan Lanskap Sembilang Dangku

South Sumatra Partnership for Landscape Management Support Project

Eksplorasi Potensi Nipah untuk Restorasi Ekosistem dan Mitigasi Perubahan Iklim, Penghidupan Masyarakat Berkelanjutan dan Energi Terbarukan



Nipah di Taman Nasional Berbak Sembilang (kiri atas); Nipa tumbuh di muara air payau (kanan atas); Batang bagian bawah nipa yang terlihat (bawah) Foto: ZSL

Pendahuluan

Nypa fruiticans, yang dikenal sebagai Nipah, adalah spesies asli pohon palem yang tumbuh di pesisir pantai dan muara di Samudera Hindia dan Pasifik. Luasan Nipah meliputi 700,000 hektar di Indonesia, sedangkan di Sumatera Selatan, Nipah merupakan komponen hutan bakau dan meliputi area besar di sepanjang pantai, muara dan riparian dari sungai. Setengah dari ekosistem alami nipah di Sumatera Selatan telah terganggu oleh kegiatan manusia dan membutuhkan upaya restorasi.

Nipah dapat digunakan sebagai salah satu sumber penghasil gula. Hutan alami nipah memiliki potensi untuk menghasilkan penghidupan masyarakat yang berkelanjutan khususnya bagi yang tinggal di kawasan dataran rendah.

Saat ini, nipah telah teridentifikasi sebagai sumber potensi dari energi terbarukan. Getah Nipah yang kaya akan gula dapat digunakan untuk memproduksi etanol sebagai biofuel. Potensi ini mendorong Proyek KELOLA Sendang untuk melakukan eksplorasi dari potensi nipah untuk restorasi ekosistem, mitigasi

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Fac... ...tial of Nipa Palm_IND.indd 1

perubahan iklim, penghidupan masyarakat yang berkelanjutan dan energi terbarukan.

Botani and Ekologi

Nypa fruticans adalah satu-satunya jenis palem yang dapat beradaptasi dengan bioma bakau, yang pada umumnya memiliki air payau. Habitat alami dari Nipah memiliki konsentrasi garam 1 dari 9 ppmdengan tipe tanah yang dideskripsikan berlumpur dan kaya akan lumpur alluvial, tanah liat dan humus, dan memiliki kisaran pH 5. Umumnya memiliki berbagai garam non-organik, sulfida dari besi dan mangan. Nipah dapat hidup pada temperatur minimum 20°C dan maksimum 32-35°C.

Nypa fruticans beradaptasi dengan baik pada kawasan bakau dengan kandungan garam yang sedang, pada muara yang relatif tenang. Spesies ini dapat mendominasi saluran anak sungai yang bercabang satu maupun banyak, teluk, pasang surut, selama ada gelombang pasang dan arus keluar air tawar.

Nipah umumnya tumbuh subur pada sedimen yang diendapkan oleh proses akresi laut, menciptakan tanah liat, dengan air payau yang mendorong proses sistem anaerobik. Nipah dapat ditemukan di daerah yang lebih dalam dari pesisir selama arus air dapat membawa biji Nipah yang tergenang. Spesies ini dapat mentoleransi gelombang pasang yang jarang, selama tanah tidak mengalami kekeringan yang terlalu lama. Batang horisontal dari Nipah dapat menguatkan tepi sungai dari erosi tanah dan daunnya dengan cepat akan muncul apabila rusak. Selain menghasilkan banyak produk yang bermanfaat bagi masyarakat, Nipah pun akan secara cepat melindungi lahan setelah badai.

Batang Nipah tumbuh di bawah tanah dan hanya menampakkan daun dan tangkai bunga. Jenis ini dapat mencapai tinggi sampai dengan 9 m (30 kaki). Daun muda muncul di tengah mahkota dan mendorong daun tua sebelum menjadi kering dan jatuh, meninggalkan daun pangkal bulat atau bekas luka. Diameter dari tandan dapat mencapai 75 cm. Mahkota dewasa memiliki 6 sampai dengan 8 daun yang hidup dan memiliki 12 sampai dengan 15 daun pangkal bulat.

Nipah adalah tanaman berumah satu. Bunga Nipah berada di perbungaan bulat dengan bunga betina di ujung dan bunga jantan yang terkulai panjang berwarna merah atau kuning pada tangkai bawah. Bunga Nipah memproduksi kacang berkayu yang tersusun dalam gugus bola sampai dengan 25 cm di atas satu tangkai tunggal. Kacang yang sudah masak terpisah dan mengapung tersebar melalui arus air. Biji berkecambah melalui pembuahan vivipar (terjadi pembuahan pada saat masih ada di pohon), layaknya spesies bakau lainnya.

Setelah tumbuh dari biji, Nipah menyebar dengan cara pertumbuhan batang bawah yang menjuntai pada media tumbuh dan batang bawah yang terletak di bawah media tumbuh. Dengan demikian, Nipah membentuk tegakan murni yang luas dengan percabangan rimpang yang membentuk dua cabang. Nipah seringkali ada di air payau, membentuk perbatasan yang lebar di luar pinggiran mangrove atau hutan rawa yang berdekatan. Nipah tidak dapat tumbuh pada pantai yang memiliki gelombang besar dan kondisi salinitas yang tinggi



Bunga betina (kiri atas); Bunga jantan (kanan atas); Tandan buah dewasa (kiri bawah); kacang matang yang terpisah dari klaster (kiri bawah). Foto; ZSL.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Fac... ...tial of Nipa Palm_IND.indd 2

Rehabilitasi

Berdasarkan karakteristiknya, dimungkinkan untuk merehabilitasi kawasan dengan ekosistem air payau dengan Nipah. Kawasan yang telah terganggu akan melakukan regenerasi sebagai hasil dari regenerasi alami. Apabila ditanam dengan biji, Nipah akan secara cepat tumbuh dan memenuhi area dengan pertumbuhan batang bawah yang menjuntai pada media tumbuh dan batang bawah yang terletak di bawah media tumbuh membentuk tegakan murni yang luas.

Nipah dapat ditanam dan ditumbuhkan dari biji, teknik ini telah berhasil digunakan untuk mengembalikan tanah sawah yang memiliki salinitas tinggi. Nipah juga dapat digunakan untuk tambak udang yang sudah tidak digunakan untuk merehabilitasi ekosistem payau.

Di bawah kondisi tersebut, membenihkan biji nipah dapat dilakukan di lubang kecil yang dikubur. Tanpa menguburkan biji, biji mudah terganggu oleh hama tikus maupun banjir. Waktu penanaman biasanya dilakukan pada musim kemarau dimana terdapat tanah yang cukup lembab dan dalam. Umumnya, jarak yang digunakan dalam penanaman adalah 2 x 2m. Satu tahun setelah penanaman, benih dapat mencapai tinggi 50 cm, dan pada tahun ketiga akan mencapai 2m. Dikarenakan percabangannya yang membentuk dua cabang dan batang tumbuh di bawah tanah, rumpun yang tebal terbentuk pada saat Nipah berumur 5-6 tahun.

Di Malaysia, kebun Nipah telah dibangun dengan menggunakan benih yang disiapkan di dalam *polybag* menggunakan biji superior penghasil getah. Perusahaan berharap dengan perkebunan ini dapat meningkatkan produksi getah untuk gula dan produksi makanan lainnya, atau sebagai sumber produksi etanol sebagai biofuel.

Hutan Nipah yang direhabilitasi dapat menyerap karbon dengan jumlah yang besar, dan juga berfungsi sebagai penyerap dengan penyimpanan karbon baik di atas maupun di bawah tanah (*above ground carbon* dan *below ground carbon*). Diestimasikan hutan Nipah memiliki 4 kali lipat karbon dari hutan dataran rendah. Selain itu, Hutan Nipah menyediakan tempat yang baik untuk pemijahan ikan, krustasea dan moluska.





Benih Nipah disiapkan untuk penanaman (kiri); Kebun Nipah dibangun untuk produksi bioethanol – Kedah, Malaysia (Pioneer Vaccination Biotech Corporation Sdn. Bhd.) (kanan). Foto: ZSL

Penggunaan Tradisional

Nipah telah digunakan secara tradisional oleh manusia untuk berbagai macam tujuan. Selama ini, nipah telah digunakan untuk bangunan rumah. Daun panjang menyirip dapat berfungsi sebagai bahan atap rumah. Di Filipina, Malaysia, Indonesia dan Thailand bahan pembuat atap yang juga memiliki nama lokal 'shingles', 'pawid' atau 'attap', adalah sumber penghasilan lokal yang signifikan.

Helai daun dan pelepah digunakan untuk pembuatan sapu, keranjang, tikar, topi, payung, jas hujan, tali dan bungkus rokok. Nelayan lokal biasanya menggunakan daun untuk pelapis, dan menggunakan batang bawah untuk menebar jaring. Dahulu, garam diekstraksi dari Nipah, sedangkan daun kering, pangkal pelepah daun,

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Fac... ...tial of Nipa Palm_IND.indd 3





Rumah tradisional dengan konstruksi atap dari Nipah. (kiri); Atap tradisional dibuat dari Nipah (kanan) Foto: ZSL

batang kayu dan sisa buah digunakan sebagai bahan bakar.

Nipah juga digunakan secara tradisional untuk obat-obatan. Contohnya, abu dari Nipah yang dibakar digunakan untuk obat sakit gigi dan sakit kepala, sedangkan tunas yang baru digunakan sebagai obat pembunuh cacing.

Buah endosperma yang mengeras digunakan sebagai gading dan kancing. Di Nigeria, kulit luar (*mesocarp*) digunakan untuk pembuatan kancing, kalung ataupun aksesoris lainnya.



Buah muda Nipah yang dapat dikonsumsi – Attape Chee

Selain itu, tunas Nipah muda dapat dimakan. Mahkota bunganya yang dapat diseduh untuk teh aromatis. Endosperma dari biji yang belum matang seperti jeli dan manis dapat dikonsumsi sebagai kudapan, ataupun disajikan sebagai sirup kental (*Attape Chee*).

Di Asia Selatan dan Asia Tenggara terdapat tradisi menggunakan getah Nipah yang diperoleh dengan menyadap batang perbungaan (*peduncle*) sebagai sumber dari sirup (*molase*), gula amorf ('gula malacca'), alkohol atau cuka.Getah yang sedikit difermentasi disebut dengan '*nira'* (di Indonesia dan Malaysia; 'tuba' di Filipina) dijual dan dikonsumsi sebagai bir lokal. Selain itu, dapat disaring untuk membuat arak atau arak nipah atau wiski lokal di Thailand.

Penggunaan tradisional ini sangat penting bagi masyarakat tertinggal yang tinggal di kawasan pesisir pantai, dimana Nipah digunakan untuk banyak kebutuhan dasar dan tersedia sebagai produk yang dapat dijual untuk pemasukan.



Sapu tradisional terbuat dari Nipah

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Fac... ...tial of Nipa Palm_IND.indd 4

Modernisasi Produksi Produk Tradisional untuk Penghidupan Berkelanjutan

Gula Nipah dan Produk Pangan Lainnya

Dalam beberapa tahun terakhir, terdapat minat baru dalam memproduksi gula dan bahan pangan lainnya dari Nipah. Hal ini menyebabkan modernisasi metode untuk produksi, pengolahan dan pemasaran. Minat ini dikaitkan dengan manfaat kesehatan dari Nipah yang dirasakan, dan dapat diklasifikasikan sebagai gula alternatif dan merupakan gula organik yang lebih sehat sebagai substitusi dari gula sintetis untuk pengidap diabetes, berat badan berlebih dan bagi orang-orang yang sadar akan pentingnya kesehatan. Gula Nipah dapat digunakan sebagai pemanis dan bahan pangan maupun produk kembang gula seperti kue kering dan makanan lokal setempat. Dengan peningkatan teknis yang sederhana dapat menghasilkan produk yang lebih baik.

Inovasi sistem pengumpulan Nipah telah dilakukan. Misalnya, kantong fleksibel atau plastik steril yang biasa digunakan untuk mengumpulkan getah. Metode ini meminimalisir paparan udara dan kontaminan terhadap getah dan memungkinkan pengumpulan yang higienis sesuai dengan persyaratan keamanan pangan.



Getah Nipah dikumpulkan dengan wadah plastik.Foto : ZSL

Selain itu, terdapat peningkatan pada peralatan pengolahan yang digunakan untuk pendinginan getah Nipah dalam menghasilkan gula. Getah Nipah yang terkumpul direbus atau dimasak dengan menggunakan teko uap, menggantikan proses pemanasan secara langsung dengan wajan terbuka yang dilakukan secara tradisional. Dengan inovasi ini,hangus saat memasak dapat dihindari.



Modifikasi teko uap (fire-tube-steam-jacket kettle)

Penghasilan dari pengumpulan dan pengolahan getah Nipah dapat melebihi mata pencaharian lainnya. Setidaknya terdapat 4850 petani (60-70% dari total populasi) yang memanen getah Nipah secara lestari dari luas 3,200 ha. Nipah telah dipanen secara lestari lebih dari 200 tahun tanpa ada penurunan angka produksi. Potensi produksi ini serupa dengan Hutan Nipah di Sumatera Selatan.



Sirup dari Nipah (kiri); Tebu dari Nipah (kanan)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Fac... ...tial of Nipa Palm_IND.indd 5

Minat Terbarukan pada Nipah oleh Industri Pariwisata

Pariwisata merupakan salah satu bidang ekonomi terbesar dan tercepat di negara Asia Tenggara. Terdapat permintaan untuk kebutuhan akomodasi tradisional atau pedesaan, rumah makan dan pondok di pantai yang dibangun dengan bahan tradisional. Akibatnya, permintaan untuk bahan atap dan panel dari bahan daun Nipah meningkat. Nipah merupakan sumber yang terbarukan dan dapat tumbuh dengan cepat, lingkungan alam mendapat manfaat dari pengelolaan Nipah yang lestari untuk menyediakan pasok pembuatan atap yang berkelanjutan bagi industri pariwisata yang sedang berkembang. Hal ini juga berdampak baik pada penyediaan lapangan kerja baik dalam produksi atap maupun dalam penyediaan fasilitas bagi wisatawan domestik maupun mancanegara.

Ekowisata didorong untuk memberikan nilai tambah pada kawasan lindung, dan untuk membangun kesadaran akan pentingnya jasa lingkungan yang disediakan oleh kawasan lindung. Mempelajari pentingnya lingkungan dan ekonomi tradisional dari tumbuhan, seperti Nipah, dapat membangun dukungan lokal dan internasional untuk dunia konservasi.





Bangunan di Bali dengan menggunakan atap dari Nipah (kiri).
Pondok di Papua dengan atap dari Nipah (kanan).

Eksplorasi Potensi Biofuel dari Nipah

Dalam memproduksi biofuel, faktor terpenting adalah hasil panen dari jenis tumbuhan yang digunakan. Tebu, kelapa sawit dan singkong telah memberikan hasil produksi yang baik. Namun, terdapat salah satu spesies palem tropis yang kurang dimanfaatkan (*Nypa fruticans*), yang menjanjikan dalam hal produksi etanol di daerah tropis. Habitat dari Nipah adalah tepi sungai di kawasan pasang surut dan lahan basah air payau, dimana batang pohon Nipah tumbuh di bawah tanah, dan daunnya dapat mencapai tinggi 9 m. Daun besar Nipah dapat menyerap dalam jumlah besar fotovoltaik dan fotosintesis karbon dioksida (CO_2) di siang hari, dan menangkap karbon dioksida di dalam getah yang kaya akan gula.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa Nipah memiliki potensi yang signifikan untuk memproduksi biofuel dalam bentuk bioetanol. Potensi ini diilustrasikan pada Gambar di bawah dari Center for International Forestry Research (CIFOR). Berdasarkan gambar, Nipah berpotensi menghasilkan dua kali jumlah etanol per ha dari tebu, dan empat kali dari jagung. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan manfaat lain yang lebih luas cakupannya: (i) ekonomis, (ii) siklus tahunan dan membutuhkan input rendah (sedikit atau tidak ada bahan kimia yang digunakan), (iii) melindungi dari pasang surut, topan dan tsunami, (iv) meningkatkan keanekaragaman hayati (baik daratan maupun perairan), (v) ramah petani kecil, (vi) getah dapat dikumpulkan tanpa memanen biomasa lainnya, dan (vii) dapat menjadi bagian dari sistem produksi pangan (memproduksi gula dan bioetanol). Selain itu, terdapat temuan penelitian yang menunjukkan Nipah berfungsi sebagai penyaring alami ion logam berat dari larutan dan menyimpannya di dalam tanaman.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Fac... ...tial of Nipa Palm_IND.indd 6

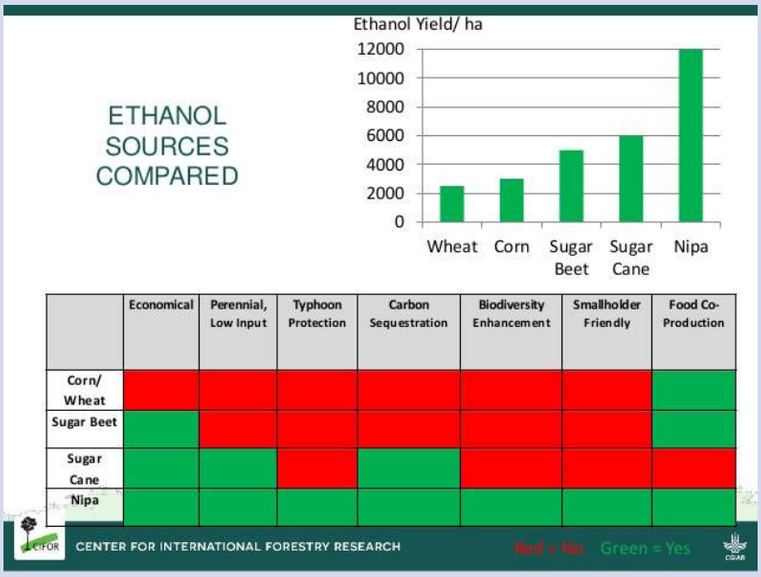
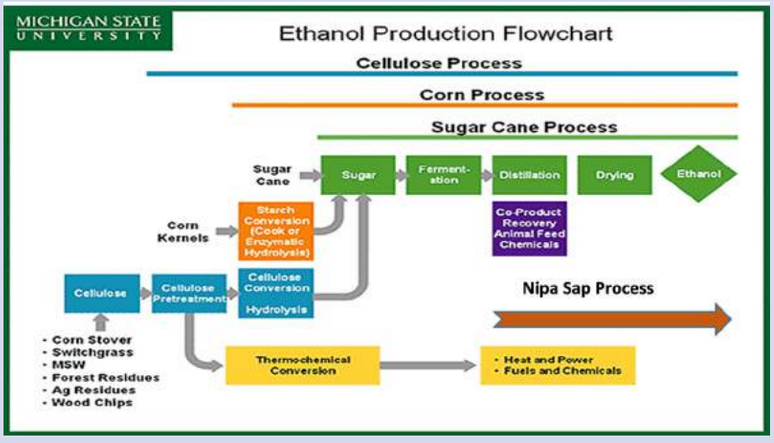


Diagram Alur Produksi Etanol di bawah ini dengan jelas menggambarkan keuntungan bahwa pengolahan getah Nipah telah melebihi dari bahan baku lainnya. Proses pengolahan yang lebih pendek dan membutuhkan sedikit input tenaga kerja dan energi. Meski tidak diilustrasikan, pengolahan getah Nipah juga jauh lebih efisien dibandingkan dengan yang dibutuhan untuk memproduksi bioethanol dan kelapa sawit.



Getah kaya gula dari Nipah adalah satu dari sedikit sumber biofuel alami yang bebas racun dan menghasilkan bioetanol. Dibutuhkan sekitar 13 liter getah Nipah kaya gula untuk menghasilkan sekitar 1 liter bioethanol. Residu dari getah Nipah yang digunakan menghasilkan produk sampingan yang dikenal sebagai *Captured Liquid Carbon Dioxide (*CO2) (CLCD) yang dapat digunakan sebagai Pupuk Bio Organik. Produksi Nipah yang baik dapat menghasilkan antara 12.000-20.000 liter etanol per hektar per tahunnya, sedangkan jagung dan tebu hanya bisa menghasilkan 6.000-7.000 liter. Getah Nipah dapat dikumpulkan setiap harinya dari pohon tanpa merusak pohonnya, sehingga memberikan lapangan pekerjaan tetap bagi para pekerja. Kondisi ini diilustrasikan di Thailand Selatan, dimana getah Nipah sudah dipanen lebih dari 200 tahun dari lokasi yang sama tanpa mengurangi tingkat produksi maupun merusak tegakannya.

Pada ekosistem rusak yang membutuhkan restorasi, Nipah dapat dengan mudah ditanam dari biji atau benih. Nipah dapat disadap 4 tahun setelah penanaman, dan dapat terus dipanen lebih dari 50 tahun, regenerasi dari batang dan batang bawah yang ada di bawah tanah. Penyadapan Nipah intensif merupakan kegiatan yang menjanjikan dalam menciptakan pekerjaan di pedesaan. Diperkirakan bahwa penyadap getah yang terampil dapat mengumpulkan stok etanol untuk mendukung produksi komersil biofuel serta produksi pupuk bio-organik CLCD, sementara memperoleh pendapatan yang layak melampaui upah minimum lokal. Penggunaan pupuk bio-organik CLCD oleh produsen pertanian di dalam lanskap dapat mengurangi jumlah pupuk kimia yang diserap oleh lingkungan.

Di Filipina, getah Nipah dapat diolah pada pabrik pengolahan untuk memproduksi bioethanol dari tebu. Adanya getah Nipah mengisi kapasitas pabrik pengolahan tebu yang kurang dimanfaatkan dan mengurangi biaya rata-rata dari produksi bioethanol dengan Nipah yang diolah dengan biaya lebih rendah dibandingkan tebu.



Pengolahan untuk memproduksi bioethanol dari tebu, digunakan untuk mengolah getah dari Nipah.

Selain itu terdapat destilasi yang lebih kecil dan dapat digunakan oleh koperasi untuk memproduksi bioethanol untuk penggunaan lokal, seperti generator dan motor yang disesuaikan untuk penggunaan

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Fact... ...tial of Nipa Palm_IND.indd 7

bioethanol. Hal ini penting untuk desa yang terpencil dan tidak terhubung dengan jaringan listrik dari pemerintah, karena mahalnya pengecer gas dan solar.



Pengolahan untuk memproduksi bioethanol dari tebu, digunakan untuk mengolah getah dari Nipah.

Perlindungan dan Restorasi dari Ekosistem Nipah yang Rusak

Diperkirakan sekitar 50% ekosistem Nipah di dataran rendah Sumatera Selatan telah rusak dan membutuhkan restorasi. Restorasi membuka kesempatan tidak hanya untuk memperbaiki lingkungan dan menyerap karbon, namun juga menghasilkan pendapatan dan mata pencaharian bagi masyarakat yang tinggal di zona pasang surut. Apabila berhasil, dapat menjadi solusi bagi kedua belah pihak untuk keanekaragaman hayati yang dapat ditingkatkan sekaligus berkontribusi pada penghidupan pedesaan yang lebih berkelanjutan. Proyek diharuskan mengeksplorasi potensi lingkungan dan manfaat penghidupan serta potensi trade-off dari ekosistem Nipah yang rusak.

Referensi

Bamroongrugsa, N., Buachum, S., Purintavarakul, C. (2008). Nipa Palm (*Nypa fruticans* Wurmb.) cultivation in salt affected paddy fields. J. Trop. Plants Res. 1: 93-102.

Bamroongrugsa, N. and Purintavarakul, C. (2008). Growing nipa palm for restoration of abandoned shrimp ponds. Wetl. Sci. 4(2): 91-95.

Biofuel Academy (2017). *Fermentation of Nypa Palm to Form Ethanol*. http://biofuelacademy.org/web-modules/process/fermentation/fermentation-of-nypa-palm-to-form-ethanol/

Giesen, W., Wulffraat, S., Zieren, M. and Scholten, L. (2006). *Mangrove Guidebook for Southeast Asia. Part VIII: Palms, Cycads and Pandans*. FAO and Wetlands International, Bangkok.

Hamilton, L.S. and Murphy, D.H. (1988). Use and management of nipa palm (*Nypa fruiticans*, Arecaceae): a review. Econ. Bot. 42 (2): 206-213.

Hidayat, I.W. (2015). *Natural production potency of nipa (Nypa fruticans) sap as production commodity for bioethanol*. Pros. Sem. Nas. Masy. Biodiv. Indo., Volume 1, Nomer 1, Maret 2015, p.109-113.

Jian, S., Ban, J. and Yan, H. (2010). Low genetic variation detected within the widespread mangrove species *Nypa fruticans* (Palmae) from Southeast Asia. Aquat. Bot. 92: 23-27.

Marris, E. (2006). Sugar cane and ethanol. Drink the best and drive the rest. *Nature*, 444: 670-672.

Matsui, N., Bamroongrugsa, N., Mormume, H. and Okimori, Y. (2011). Nipa Palm: A potential alternative source for bioethanol. *Research Paper 14th Mangrove National Seminar*. Thailand.

Matsui, N., Okimori, Y., Takahashi, F., Matsumura, K. and Bamroongrugsa, N. (2014). Nipa (*Nypa fruticans* Wurmb.) Sap Collection in Southern Thailand: I. Sap Production and Farm Management. Environ. Nat. Res. 4 (4): 75-88.

Ridho, R.M., Sundoko, A. and Ulqodry, T.Z. (2006). Analisis perubahan luasan mangrove di Muara Sungai Banyuasin, Sungsang dan Upang Provinsi Sumatera Selatan Menggunakan Citra Satelit Landsat-TM. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan dan SDA* 4(2): 11-18. [Indonesian]

Tamunaidu, P., Matsui, N., Okimori, Y. and Saka, S. (2013). Nipa (*Nypa fruiticans*) sap as a potential feedstock for ethanol production. Biom. Bioe. 52: 96-102.

Tamunaidu, P. and Saka, S. (2011) Chemical characteristics of various parts of nipa palm (*Nypa fruticans*). *Ind. Crop Prod*. 34: 1423-1428.

Tamunaidu, P. and Saka, S. (2013). Comparative study of nutrient supplements and natural inorganic components in ethanolic fermentation of npa sap. *J. Jpn. Inst*. Energy 92(2): 181-186.

Tsuji, K., Ghazalli, M.N.F., Nordin, Z., Khaidizar, M.I., Dulloo, M.E. and Sebastian, L.S. (2011). Biological and Ethnobotanical Characteristics of Nipa Palm (*Nypa fruticans* Wurmb.): A review: Sains Malays. 40 (12): 1407-1412.

This material has been funded by UK aid from the UK government; however the views expressed do not necessarily reflect the UK government's official policies.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Fac... ...tial of Nipa Palm_IND.indd 8

SALAM
Jurnal Sosial dan Budaya Syar-i
P-ISSN: 2356-1459. E-ISSN: 2654-9050
Vol. 8 No. 3 (2021), pp. 711-734
DOI: **10.15408/sjsbs.v8i3.20347**
http://journal.uinjkt.ac.id/index.php/salam/index

Energi Terbarukan dan Ekonomi Syariah: Sinergitas Mewujudkan *Sustainable Development* *

Azwar Iskandar,[1] Khaerul Aqbar,[2] Sulkifili Herman[3]
Sekolah Tinggi Ilmu Islam dan Bahasa Arab (STIBA), Makassar

10.15408/sjsbs.v8i3.20347

Abstract

The urgency of the availability of renewable energy, green economy and implementation of Sharia Economy actually has a spirit that is in line with the efforts of the global community in supporting sustainable development. The synergy between Sharia Economy practices in Indonesia and renewable energy programs in order to realize it becomes an inevitability. This research aims to describe the concept of synergy of Sharia Economy practices and renewable energy programs in Indonesia in order to realize sustainable development. This research is qualitative descriptive research through library study methods and content analysis. The results showed that the synergy scheme between renewable energy programs and Islamic economic/financial practices can be done in the form of: (i) sharia financial sector can be an instrument of EBT investment financing; (ii) the utilization of EBT may be a supporter and spearhead of halal industry, such as halal food and beverages, Muslim fashion, halal tourism, pharmaceuticals and halal cosmetics and halal media and recreation; and (iii) in the context of socially religious EBT financing, EBT can be done with the concept of ta'āwun and sedekaj jariah through crowd funding and waqf. In order to optimize the synergy between renewable energy programs and sharia economy, some steps and Quick Wins programs that can be done are: (1) campaigns against the excellence of renewable energy to achieve national energy self-sufficiency; (2) create easy access and attractive financing schemes to support renewable energy; (3) conduct research and publication on renewable energy and potential collaboration with other industries in the halal value chain that can be perceived in Indonesia, especially halal tourism.

Keywords: *renewable, energy, Islamic, economic, sustainable*

Abstrak

Urgensi ketersediaan energi terbarukan, *green economy* dan implementasi Ekonomi Syariah sesungguhnya memiliki ruh yang sejalan dengan upaya masyarakat global dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Sinergitas antara praktik Ekonomi Syariah di Indonesia dan program energi terbarukan dalam rangka mewujudkannya menjadi sebuah keniscayaan. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan konsep sinergitas praktik Ekonomi Syariah dan program energi terbarukan di Indonesia dalam rangka mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*). Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif melalui metode studi pustaka dan *content analysis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skema sinergitas di antara program energi terbarukan

* Received: May 23, 2021, Revision: May 26, 2021, Published: June 5, 2021.

[1] **Azwar Iskandar** adalah dosen Sekolah Tinggi Ilmu Islam dan Bahasa Arab (STIBA), Makassar. Email: azwar.iskandar@gmail.com

[2] **Khaerul Aqbar** adalah dosen Sekolah Tinggi Ilmu Islam dan Bahasa Arab (STIBA), Makassar. Email: khaerul@stiba.ac.id

[3] **Sulkifili Herman** adalah dosen Sekolah Tinggi Ilmu Islam dan Bahasa Arab (STIBA), Makassar. Email: sulkifliherman@stiba.ac.id

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dan praktik ekonomi/keuangan Syariah dapat dilakukan dalam bentuk: (i) sektor keuangan Syariah dapat menjadi instrumen pembiayaan investasi EBT; (ii) pemanfaatan EBT dapat menjadi pendukung dan ujung tombak industri halal, seperti makanan dan minuman halal, fesyen muslim, pariwisata halal, farmasi dan kosmetik halal dan media dan rekreasi halal; dan (iii) dalam konteks pembiayaan EBT yang bersifat sosial keagamaan, EBT dapat dilakukan dengan konsep *ta'āwun* dan sedekah jariah melalui urun dana (*crowd funding*) dan wakaf. Dalam rangka mengoptimalkan sinergitas antara program energi terbarukan dan ekonomi Syariah, beberapa langkah dan program *Quick Wins* yang dapat dilakukan adalah: (1) kampanye terhadap keunggulan energi terbarukan untuk mencapai swasembada energi nasional; (2) menciptakan kemudahan akses dan skema pembiayaan yang menarik untuk mendukung energi terbarukan; (3) mengadakan riset dan publikasi mengenai energi terbarukan dan potensi kolaborasi dengan industri lain dalam rantai nilai halal yang dapat diaplikasikan di Indonesia, terutama pariwisata halal.

Kata kunci: terbarukan, energi, Islam, ekonomi, *sustainable*

A. PENDAHULUAN

Secara global, kebutuhan akan energi dalam kehidupan manusia diprediksi akan terus meningkat.[4] Hingga akhir tahun 2019, 84 persen kehidupan manusia tergantung pada energi yang berasal dari bahan bakar fosil seperti minyak, gas dan batu bara. Berdasarkan laporan dari *Statistical Review of World Energi* 2020, diketahui bahwa konsumsi tertinggi energi saat ini masih didominasi oleh minyak (*oil*) sebesar 193.03 *exajoules*, natural gas sebesar 141.45 *exajoules*, batubara (*coal*) sebesar 157.86 *exajoules*. Sedangkan, sumber energi lain seperti hidroelektrik, nuklir dan energi terbarukan masih mengambil porsi yang lebih sedikit, masing-masing sebesar 37.66, 24.92, dan 28.98 *exajoules*.[5]

Tabel 1. Tingkat Konsumsi Energi Dunia Berdasarkan Sumbernya

Energy source	Consumption (exajoules)	Annual change (exajoules)	Share of primary energy	Percentage point change in share from 2018
Oil	193.0	1.6	33.1%	-0.2%
Gas	141.5	2.8	24.2%	0.2%
Coal	157.9	-0.9	27.0%	-0.5%
Renewables*	29.0	3.2	5.0%	0.5%
Hydro	37.6	0.3	6.4%	-0.0%
Nuclear	24.9	0.8	4.3%	0.1%
Total	**583.9**	**7.7**		

*Renewable power (excluding hydro) plus biofuels

Sumber: *Statistical Review of World Energi* 2020

[4] Juwito, Arif Febriansyah, Sasongko Pramonohadi, and T. Haryono. "Optimalisasi energi terbarukan pada pembangkit tenaga listrik dalam menghadapi desa mandiri energi di Margajaya." *Semesta Teknika* 15, No. 1 (2015).

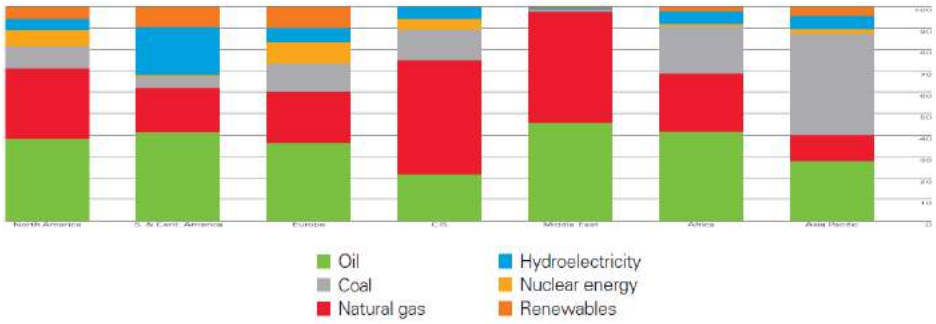
[5] BP.PLC., *Statistical Review of World Energy 2019*, https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html. Diakses pada tanggal 31 Maret 2021.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Data pada Tabel 1 menunjukan bahwa energi terbarukan merupakan sumber energi yang belum dimanfaatkan potensinya secara maksimal untuk menyokong kebutuhan global maupun regional. Sementara konsumsi energi hingga tahun 2040 diprediksi akan terus meningkat. Permintaan energi di seluruh dunia hingga tahun 2040 berkisar pada angka 13.000 Mtoe. Negara yang mendominasi konsumsi energi adalah yang tergabung dalam Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (Grafik 1). Negara-negara ini mengonsumsi 50 persen rata-rata energi dunia. Secara umum dapat dikatakan bahwa konsumsi tertinggi terdapat di wilayah Asia. Hal ini menjadi sinyal bagi berbagai pihak untuk mengembangkan industri yang medukung energi terbarukan, khususnya di wilayah Asia.[6]

Dalam laporan kajian*"Renewable energy Outlook for ASEAN: a Remap Analysis"* pada tahun 2016, disebutkan bahwa target energi terbarukan yang diharapkan adalah sebesar 23 persen dari total pasokan energi pada tahun 2025. Untuk dapat mencapai target skenario tersebut, masing-masing negara anggota ASEAN diharapkan dapat mencapai target nasional yang telah ditetapkan. Tantangan yang dihadapi oleh negara-negara di regional ASEAN, termasuk Indonesia adalah bagaimana mengimplementasikan pencapaian target 23 persen tersebut pada tahun 2025.[7]

Indonesia sebagai negara kepulauan, memiliki keunikan karena kaya akan sosio-ekonomi, demografi, politik dan geografis. Hal ini tentu akan sangat berdampak pada agenda pembangunan negara ini. Potensinya terdiri dari 17.000 pulau, adanya sistem demokrasi dan memiliki jumlah penduduk tertinggi ke-4 di dunia. Selain itu, Indonesia adalah negara dengan populasi muslim terbesar di dunia. Ditambah dengan budaya yang kaya, Indonesia negara yang memiliki jati diri dan ciri yang khas dibanding negara-negara lainnya. Perkembangan ekonominya banyak berkontribusi pada penurunan kemiskinan dan menempatkannya masuk ke dalam 10 negara berpenghasilan tertinggi di dunia.



Grafik 1. Pola Konsumsi Energi Berdasarkan *Region*

Sumber: *Statistical Review of World Energi* 2020

[6] Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas), "*Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia*", Cetakan Pertama (2018).

[7] The International Renewable Energy Agency (IRENA), "*Renewable Energy Outlook For ASEAN*", https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_REmap_ASEAN_2016_report.pdf. Diakses pada tanggal 31 Maret 2021.

Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, energi menjadi kebutuhan dasar dengan per tahun rata-rata pertumbuhannya mencapai 7 persen. Lebih lanjut, 94 persen kebutuhan masih tergantung pada energi fosil. Dengan kondisi saat ini, Indonesia berkontribusi menyumbangkan emisi karbon terbesar dari sektor *Land Use, Land Use Change and Forsetry* (LULUCF) sebanyak 50 persen. Sektor energi menyumbangkan emisi karbon sebesar 30 persen, dan dari sektor transportasi mencapai 12 persen. Hingga tahun 2050, penggunaan energi di Indonesia diperkirakan akan didominasi oleh kebutuhan pemenuhan listrik pada sektor industri, disusul oleh sektor transportasi dan rumah tangga. Oleh karena itu, pemenuhan kebutuhan energi yang tinggi di masa mendatang mesti diupayakan, di antaranya dengan pemanfaatan dan implementasi energi baru dan terbarukan (EBT) yang ramah lingkungan dalam rangka mewujudkan ketahanan energi nasional.[8]

United Nations Environment Programme (UNEP) mencetuskan gagasan mengenai *green economy* dalam rangka mendukung upaya pemenuhan kebutuhan energi terbarukan di antaranya melalui penurunan emisi gas rumah kaca. Gagasan tersebut bertujuan memberikan peluang yang besar bagaimana upaya memanfaatkan konsepsi *green economy* dalam rangka menunjang pelaksanaan pembangunan yang berorientasi pada aspek lingkungan dan ekosistem. UNEP menyatakan bahwa pengertian *green economy* lebih luas cakupannya dibandingkan *Low-Carbon Economy* (LCE) atau *Low-Fossil-Fuel Economy* (LFFE), yaitu aktivitas ekonomi yang memberikan *output* minimal terhadap emisi *Green Houses Gas* (GHG) yang dilepaskan.[9] Model ekonomi baru tersebut didasarkan pada ilmu *ecological economics* yang membahas ketergantungan manusia dan dampak yang ditimbulkan dari aktivitas ekonomi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Indikator penerapan *green economy* dalam suatu perekonomian dapat dilihat melalui beberapa aktivitas, seperti peningkatan investasi publik dan *private* dalam sektor *hijau*: (i) peningkatan dalam kuantitas dan kualitas lapangan pekerjaan di sektor *hijau*, (ii) peningkatan GDP dari sektor *hijau*, (iii) penurunan penggunaan energi/sumber daya per unit produksi, (iv) penurunan level CO_2 dan polusi serta (v) penurunan konsumsi yang banyak menghasilkan limbah.[10]

Terkait dengan gagasan konsepsi *green economy* tersebut, terdapat dua hal yang ingin dicapai. Pertama, ekonomi hijau mencoba untuk membuat konsep ekonomi yang bukan hanya sekedar mempertimbangkan masalah makro ekonomi, khususnya investasi di sektor-sektor yang memproduksi produk ramah lingkungan maupun produksi barang dan jasa yang lebih ramah lingkungan (*green investment*), namun juga difokuskan pada bagaimana kontribusi investasi hijau tersebut terhadap pertumbuhan lapangan pekerjaan di bidang yang terkait dengan ramah lingkungan (*green job*). Kedua, *green economy* mencoba untuk menyiapkan panduan *pro-poor green investment*, atau investasi hijau yang mampu mendorong pengentasan masalah kemiskinan.

[8] Azhar, Muhamad, dan Dendy Adam Satriawan. "Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional." *Administrative Law and Governance Journal* 1, no. 4 (2018): 398-412.

[9] UNEP, "*Environmental Management Accounting Procedures & Principles"*, Newyork (2011).

[10]Ika Yunia Fauzia, "Urgensi Implementasi *Green Economy* Perspektif Pendekatan Dharuriyah Dalam Maqashid Al-Shariah"*Jurnal Ekonomi dan Bisnis Islam* 2, no. 1 (2016).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tujuan utamanya adalah untuk mendorong agar para pembuat kebijakan mampu membuat semua jajaran pemerintahan dan sektor swasta ikut serta untuk mendukung peningkatan investasi hijau.[11] Model ekonomi ini diciptakan akibat adanya kecenderungan manusia yang lebih pada *profit oriented* dibandingkan *sustainable oriented*. Model ekonomi yang ada saat ini, mendorong manusia untuk menggunakan segala cara tanpa memperhatikan pelestarian lingkungan untuk mendapatkan keuntungan yang maksimum.

Pemanfaatan dan eksploitasi sumber daya alam yang tidak diimbangi oleh upaya konservasi yang mengatasnamakan kesejahteraan hidup manusia tampaknya mulai menampilkan dampak negatif terhadap keberlangsungan lingkungan hidup. Hal ini tidak hanya mengancam keberlangsungan lingkungan alam, tetapi juga keberlangsungan hidup manusia itu sendiri. Isu keterbatasan energi, pemanasan global dan perubahan iklim hanyalah sebagian dari sekian banyak isu lingkungan yang demikian pelik untuk diperhatikan yang tidak hanya bersifat lokal tetapi juga global. Meningkatnya kesadaran terhadap isu lingkungan ini mendorong negara-negara di dunia, termasuk Indonesia, untuk memikirkan upaya pengimbangan laju ekonomi dengan upaya konservasi lingkungan alam dan melahirkan paradigma ekonomi yang memasukkan aspek lingkungan dan keadilan sosial ke dalamnya.[12] Di Indonesia, konsep pembangunan berkelanjutan sudah dimulai sejak tahun 1970-an, namun hingga sekarang masih cenderung fokus pada pembangunan ekonomi, bahkan pada pertumbuhan yang cenderung pendek. Model pembangunan yang dikembangkan hanya menggerakkan pembangunan ekonomi yang cenderung ekstraktif. Tanpa menafikan adanya perbaikan kualitas seumber daya dan lingkungan, namun secara umum dapat dikatakan bahwa upaya mempertahankan fungsi lingkungan dan pemnafaatan saumber daya alamsecara lestari masih jauh dari yang diharapkan.[13]

Konsep implementasi *green economy* diyakini mampu menjadi solusi bagi permasalahan tersebut di atas dan membawa kehidupan dan peradaban global menjadi lebih baik, berkeadilan, sejahtera, dan berkesinambungan. Hal ini sesungguhnya sesuai dengan *value* dalam prinsip atau konsep Ekonomi Syariah khususnya pada sudut pandang *maqāṣid al-syarī'ah*. Secara terminologi, *Maqāshid al-syarī'ah* adalah maksud Allah selaku pembuat syariat untuk memberikan kemaslahatan (*maslahah*) kepada manusia, yaitu dengan terpenuhinya kebutuhan-kebutuhan *darūriyyah* (primer), *hājiyyah* (sekunder), dan *tahsiniyyah* (tersier) agar manusia bisa hidup dalam kebaikan dan dapat menjadi hamba Allah yang baik.[14] Khusus untuk kategori *darūriyyah*, para ulama kemudian membaginya lebih rinci menjadi *al-kulliyāt al-khamsah* yaitu *hifzu al-dīn* (penjagaan agama), *hifzu al-nafs*

[11] Azwar Iskandar dan Khaerul Aqbar. "Green Economy Indonesia Dalam Perspektif Maqashid Syari'ah." *Al-Mashrafiyah: Jurnal Ekonomi, Keuangan, dan Perbankan Syariah* 3, no. 2 (2019): 83-94.

[12] *Idem*.

[13] Makmun, Makmun. "Green Economy: Konsep, Impelentasi dan Peran Kementerian Keuangan." *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan* 19, no. 2 (2011): 1-15.

[14] Ika Yunia Fauzia. "Urgensi Implementasi Green Economy Perspektif Pendekatan Dharuriyah Dalam Maqashid Al-Shariah." *Jurnal Ekonomi dan Bisnis Islam (JEBIS)* 2, no. 1 (2016): 87-104.

(penjagaan jiwa), *hifzu al-aql* (penjagaan akal), *hifzu al-nasl* (penjagaan keturunan), dan *hifzu al-māl* (penjagaan harta benda). *Darūriyyah* adalah suatu kondisi di mana ketika manusia tidak bisa mendapatkan kebutuhannya, maka manusia akan rusak dan tidak sejahtera. Hal ini berbeda dengan *hājiyyah* dan *tahsiniyyah*, di mana *hājiyyah* adalah kondisi di mana seseorang ketika tidak mendapatkan kebutuhannya, maka tidak akan mengancam kehidupannya. *Tahsiniyyah* adalah pemenuhan kebutuhan yang konteknya hanya untuk mempermudah dan menambah nilai hidup manusia. Para ulama terdahulu menyepakati bahwa syariat diturunkan untuk membangun kemaslahatan manusia di dunia dan akhirat. Syariat diturunkan untuk dilaksanakan sesuai dengan *maqāṣid*-nya agar kehidupan yang adil dapat ditegakkan dan kesejahteraan sosial dapat diwujudkan.

Berdasarkan deskripsi terkait urgensi ketersediaan energi terbarukan, *green economy* dan implementasi ekonomi Syariah yang sesungguhnya memiliki ruh yang sejalan dengan upaya masyarakat global dalam mendukung program energi tersebut, penulis tertarik untuk melihat lebih jauh bagaimana sinergitas antara praktik ekonomi Syariah di Indonesia dan program energi terbarukan dalam rangka mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan konsep sinergitas praktik ekonomi Syariah dan program energi terbarukan di Indonesia dalam rangka mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*).

KERANGKA TEORI

1. Kebijakan Nasional Terkait Energi Terbarukan

Isu dan permasalahan energi nasional saat ini telah dituangkan dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN).[15] Peraturan ini menjadi dasar pemerintah dalam melakukan pemodelan kebutuhan pasokan energi sampai dengan tahun 2050. Pokok permasalahannya adalah sebagai berikut: (1) sumber daya energi masih diperlakukan sebagai komoditas yang menjadi sumber devisa negara, belum sebagai modal pembangunan; (2) penurunan produksi dan gejolak harga minyak bumi; (3) akses dan infrastruktur energi yang terbatas; (4) ketergantungan terhadap Impor BBM dan LPG; (5) harga EBT belum kompetitif dan subsudi energi belum tepat sasaran; (6) pemanfaatan energi belum efisien; (7) penelitian, pengembangan dan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi masih terbatas; (8) kondisi geopolitik dunia dan isu lingkungan global; dan (9) cdangan penyangga energi belum tersedia.

Secara khusus, di bidang kemandirian energi pada pemerintah Indonesia, sasaran kemandirian energi tahun 2020 dilakukan antara lain untuk memenuhi rasio elektrifikasi mendekati 100 persen dan peningkatan produksi sumber daya energi dari sumber baru dan terbarukan. Di sisi distribusi energi terutama gas bumi, penekanan

[15]Ngada.Org. *Database Peraturan*. https://ngada.org/ps22-2017.htm#:~:text=1.Rencana%20Umum%20Energi%20Nasional,mencapai%20sasaran%20Kebijakan%20Energi%20Nasional , diakses pada tanggal 21 April 2021.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

dilakukan untuk pembangunan ruas pipa transmisi dan jaringan pipa distribusi gas sepanjang 12.597 km, SPBG sebanyak 2 unit (APBN), serta jaringan gas kota di 12 lokasi. Asas pengembangan energi nasional mengacu pada prinsip Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang berkeadilan, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan. Tujuannya untuk menciptakan kemandirian dan ketahanan energi nasional. Dorongan pemerintah dalam mencapai kemandirian energi di Indonesia dilakukan dengan peningkatan EBT yang saat ini telah dituangkan dalam:

a. Perpres Nomor 2 tahun 2017 tentang RUEN (Rencana Umum Energi Nasional)
b. Peraturan Kemenkeu tentang skema pembiayaan Kemitraan Pemerintah-Swasta yang menyediakan fasilitas termasuk Dana Pengembangan Proyek (PDF), Viability Gap Fund (VGF), Pembayaran Ketersediaan (AP) dan jaminan Pemerintah untuk proyek-proyek infrastruktur. PMK No. 223 / PMK.011 / 2012; PMK No.190 / PMK.08 / 2015 dan PMK No. 95 / PMK.08 / 2017.
c. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral - Peraturan Menteri ESDM No. 50/2017 tentang Pemanfaatan energi terbarukan dalam pembangkit listrik.
d. Peraturan Menteri ESDM No.38 / 2016 tentang Percepatan pelistrikan pedesaan di pelosok, perbatasan dan pulau-pulau kecil berpenghuni melalui bisnis pasokan listrik skala kecil.
e. Peraturan Pemerintah PP No.23 / 2014 sebelumnya PP No.14 / 2012 tentang Bisnis Kelistrikan yang memungkinkan perusahaan swasta untuk berpartisipasi.
f. Peraturan Menteri ESDM Nomor 35/2014 tentang Pembentukan "Pelayanan Satu Pintu" tentang penerbitan izin untuk sektor listrik.
g. Peraturan Pemerintah PP No. 79 /2014 tentang Kebijakan Energi Nasional.
h. Peraturan Menteri Keuangan (Peraturan Menteri Keuangan) PMK No. 21/ PMK.011/2010 tentang Pemberian fasilitas perpajakan dan bea cukai untuk kegiatan menggunakan energi terbarukan sumber.
i. Revisi Undang-Undang No. 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan agar swasta mendapat kesempatan untuk membantu kemandirian dalam penyediaan tenaga listrik dan peraturan pelaksanaan yang berkaitan peraturan di bidang Energi Baru dan Energi Terbarukan (EBT).
j. Undang-Undang No.30 Tahun 2007 tentang Energi

2. Energi Terbarukan dalam Konsep Islam dan Ekonomi Syariah

Al-Qur'an adalah pedoman lengkap yang mencakup semua aspek kehidupan, baik spiritual, intelektual, politik, sosial, ekonomi maupun energi. Al-Qur'an adalah kitab yang berisi tinjauan tentang konsep energi atau sumber-sumber energi terbarukan yang secara konseptual dan sederhana telah diilustrasikan dalam beberapa

ayat Al-Qur'an.[16] Sumber-sumber energi dan energi terbarukan banyak disebutkan dalam Al-Qur'an. Beberapa ayat Al-Qur'an yang menjelaskan berbagai sumber energi dan energi terbarukan disebutkan oleh Hasanuz Zaman[17] dan Aan Jaelani[18], yaitu sebagai ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Al-Qur'an dan Konsep Energi

No.	Nama Surah dan Ayat Al-Qur'an	Isu Terkait energi
1.	Al-An'ām, 6: 95	Butir tumbuh-tumbuhan dan biji buah-buahan
2.	Al-Hijr, 15: 22	Angin, perkawinan tanaman, hujan, dan air untuk minum
3.	Al-Nahl, 16: 11-13	Air hujan, tanaman yang tumbuh, malam dan siang, matahari dan bulan, bintang, bumi untuk dikelola manusia
4.	Yasin, 36: 34	Kebun kurma dan anggur, dan mata air
5.	Al-Hajj, 22: 65	Bumi dan bahtera yang berlayar di lautan; menahan benda langit jatuh ke bumi.
6.	Al-Mu'minūn, 23: 21-22	Binatang ternak, air susu, konsumsi, binatang dan perahu untuk transportasi.
7.	Al-Rūm, 30: 46	Angin sebagai pembawa berita gembira, kapal berlayar untuk mencari penghidupan
8.	Al-Fāṭir, 35: 12	Laut tawar dan asin yang menghasilkan daging segar dan perhiasan, dan kapal yang berlayar.
9.	Saba', 34: 10	Besi, baju zirah
10.	Saba', 34: 12	Angin dan transportasi
11.	Al-Hadīd, 57: 25	Besi dan pemanfaatannya

[16] Jaelani, Aan. "Renewable Energi Policy in Indonesia: Scientific signs of the Qur'an and Implementation in Islamic Economic." *MPRA Paper* 83314 (2017).

[17] Hasan-uz-Zaman, Syed Muhammad. *Economic Guidelines in the Quran*. Vol. 21. International Institute of Islamic Thought (IIIT), 1999.

[18] Aan Jaelani. "Renewable Energi Policy in Indonesia: Scientific signs of the Qur'an and Implementation in Islamic Economic." *MPRA Paper* 83314 (2017).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pada Tabel 2 di atas, Allah menciptakan sumber energi untuk manusia dengan cara menundukkan alam dan isinya. Secara ilmiah, *soul*, *water* dan *vegetation* melalui suatu proses yang didahului dengan adanya sumber energi yang berasal dari air hujan.[19] Air ini dapat menyuburkan tanah dan menumbuhkan tanam-tanaman (seperti kurma dan anggur) yang sebagiannya melalui perantaraan angin sehingga beberapa tumbuhan tertentu mengalami penyerbukan.[20] Sumber energi yang lainnya berupa mata air yang dimanfaatkan oleh manusia dalam kehidupannya. Isyarat ilmiah pada beberapa ayat di atas antara lain berpa sumber energi nabati yang berasal dari tumbuhan dapat dimanfaatkan untuk sumber energi terbarukan sebagai pengganti bahan bakar. Oleh karena itu, sumber energi terbarukan adalah sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global, karena energi yang didapatkan berasal dari proses alam yang berkelanjutan, seperti sinar matahari, angin, air, biofuel, dan geothermal. Ini menegaskan bahwa sumber energi telah tersedia di Indonesia, tidak merugikan lingkungan, dan menjadi alasan utama EBT ini sangat terkait dengan masalah lingkungan dan ekologi.[21]

Dalam ekonomi Islam, pendekatan filosofis tentang energi dari perspektif Al-Qur'an dapat ditelusuri dari tiga aspek yang saling berkaitan dalam ekonomi energi, yaitu tugas manusia sebagai khalifah Allah dalam memakmurkan bumi, lingkungan sebagai tempat hidup manusia, dan kebutuhan manusia terhadap energi. Dalam Al-Qur'an, manusia merupakan makhluk yang paling potensial sehingga Allah mendelegasikan tugas utama sebagai khalifah kepada manusia (Q.S. al-Baqarah, 2: 29-32) untuk mengelola dan memakmurkan bumi (Q.S. Hud, 11: 61-62). Manusia diberikan potensi akal yang mampu menciptakan teknologi untuk mengelola bumi dan sumber daya alam, sebagaimana Allah telah menciptakan langit, bumi, gunung, air, dan tumbuhan (Q.S. al-Anbiya', 21: 30-31), sehingga manusia dapat menikmati seluruh karunia tersebut untuk memenuhi kebutuhan hidup dan melangsungkan kehidupannya, termasuk kebutuhan energi.

Begitu juga, Al-Qur'an telah menerangkan dalam surah al-Rum ayat 41 sampai 42, surah al-Qashash ayat 77, dan surah al-A'raaf ayat 56 dimana pada ayat-ayat tersebut diterangkan bahwa Allah menciptakan alam semesta dan segala isinya adalah untuk dimanfaatkan oleh manusia demi kesejahteraan hidup dan kemakmurannya. Manusia diangkat sebagai khalifah di bumi agar dapat menjaga kelestarian alam dan jangan sampai rusak. Manusia diperbolehkan menggali kekayaan alam, mengolahnya, dan memanfaatkan sebagi bekal beribadah kepada Allah dan beramal saleh.[22] Oleh karenanya, semua yang diciptakan oleh Allah menjadi bagian dari kebutuhan hidup manusia, namun manusia diberikan tanggung jawab

[19] Badr al-Din Muhammad Al-Zarkasyi, *Al-burhan fi 'ulum Al-Qur'an*. Kairo: Dar al-Turath, 1984.

[20] Ramli, Saipolbarin, Sumaiya Zainal Abidin Murad, and Ahmad Fikri Hj Husin. "Biodiesel in holy Quran: among the review of the Arabic lexicography and modern science." *Mediterranean Journal of Social Sciences* 5, no. 19 (2014): 336-336.

[21] Suprayogi, M. , *Jurnal Energi 2*. Jakarta: Kementerian ESDM, 2016.

[22] Aziz, R. M. "Penanganan Energi Pada Krisis Ekonomi Akibat Covid-19 Sesuai Agama dan Sains." In *Seminar Nasional Teknologi Industri Hijau*, vol. 2, no. 1, pp. 194-204. 2020.

sebagai kewajiban agama untuk mengelola dengan baik, tidak berbuat kerusakan di bumi dengan melakukan eksploitasi yang merugikan manusia dan lingkungan (Q.S. Al-Qashash, 22: 77), dan bertindak efisien dalam pemanfaatan sumberenergi (Q.S. al-An'am, 6: 141).[23] Dengan kata lain, tugas manusia dalam memakmurkan bumi merupakan kewajiban agama,[24] termasuk pemanfaatan energi untuk kesejahteraan manusia dan mengembangkan energi terbarukan.[25]

Vaghefi *et al*.[26] menyatakan bahwa pandangan Islam tentang sumber daya alam bersumber pada Al-Qur'an. Dalam Al-Qur'an disebutkan beberapa prinsip penting tentang konservasi lingkungan, serta menilai kerusakan lingkungan dan kekeliruan dalam pengelolaan sumber daya alam sebagai perbuatan jahat (Q.S. Al-A'raf, 7:31; Al-An'am, 6: 141). Dengan demikian, konservasi energi dari penyalahgunaan dan eksploitasi melalui penghematan energi termasuk kewajiban agama.

Demikian pula pengembangan sumber energi terbarukan yang dibutuhkan masyarakat, secara *maqāṣid syarī'ah* (tujuan-tujuan syari'ah) pada aspek pemeliharaan nyawa manusia, maka pengembangan energi terbarukan yang bertujuan untuk kelangsungan hidup manusia, kebutuhan terhadap konsumsi energi, kesejahteraan masyarakat, dan menghindari krisis energi, maka pengembangan energi terbarukan bersifat wajib secara agama.[27] Dalam konteks EBT, Rasulullah saw. bersabda bahwa "manusia berserikat dalam tiga hal yaitu air, padang rumput gembalaan dan api". Dalam konteks kekinian, hadis tersebut menuntun kita agar secara bersama-sama menjaga air, makanan dan energi. Konteks tersebut sangat selaras dengan konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) guna menghadapi peningkatan populasi dunia, urbanisasi, serta perubahan pola makan dan pertumbuhan ekonomi.[28]

Kerusakan lingkungan hidup adalah karena konsep ekonomi kapilatistik yang ribawi dengan konsep "*time value of money*", yaitu uang diterima saat ini lebih berharga daripada uang yang diterima masa datang. Konsep ini mengakibatkan kegiatan ekonomi yang ekstraktif, dimana seluruh sumberdaya alam harus secepatnya dieksploitasi untuk mendapatkan keuntungan sebesar-besarnya secepatnya. Hal ini tentu menimbulkan kerusakan lingkungan yang hebat karena alam memiliki daya dukung dan daya tampung tertentu. Di lain pihak produktivitas dan kesinambungan ekonomi sangat bergantung pada kesinambungan interaksi timbal balik antara manusia dan jasa ekosistem yang seimbang. Oleh karena itu, konsep keuangan berkelanjutan yang diterapkan Otoritas Jasa Keuangan (OJK) yang mewajibkan

[23] Ibn Hayyan, M. "Tafsir al-bahr al-muhit." *Beirut: Dar al-Kutub al-'Ilmiyyat* (1993).

[24]Aan Jaelani. "Kebijakan Energi Baru Terbarukan di Indonesia: Isyarat Ilmiah Al-Qur'an dan Implementasinya dalam Ekonomi Islam." *MPRA (83314)* (2017).

[25] Mardliyah, Watsiqotul, S. Sunardi, and Leo Agung. "Peran Manusia Sebagai Khalifah Allah di Muka Bumi: Perspektif Ekologis dalam Ajaran Islam." *Jurnal Penelitian* 12, no. 2 (2018): 355-378.

[26] Vaghefi, Negin, Chamhuri Siwar, and Sarah Aziz Abdul Ghani Aziz. "Green economy: issues, approach and challenges in muslim countries." *Theoretical Economics Letters* 5, no. 01 (2015): 28.

[27] Aan Jaelani. "Public financial management in Indonesia: Review of Islamic public finance." *MPRA Paper* 72340 (2015).

[28] MUI-LPLHSDA, *Pembangunan dan Pembiayaan Syariah Energi Baru Dan Terbarukan Untuk Rumah Ibadah*, https://mui-lplhsda.org/pembangunan-dan-pembiayaan-syariah-energi-baru-dan-terbarukan-untuk-rumah-ibadah/, diakses pada tanggal 4 April 2021.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

seluruh perusahaan untuk mengalokasikan biaya dampak lingkungan[29] sangatlah tepat, karena inti dari ekonomi adalah untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia yang tergantung dari terjaganya fungsi jasa ekosistem yang seimbang. Allah telah memerintahkan kita untuk menjaga bumi dalam mencari rezeki kita, seperti firman-Nya dalam Surah al-Baqarah ayat 60, "Makan dan minumlah rezki (yang diberikan) Allah, dan janganlah kamu berkeliaran di muka bumi dengan berbuat kerusakan."

B. METODE PENELITIAN

Berdasarkan tujuan yang hendak dicapai, penelitian ini termasuk ke dalam kategori/jenis penelitian deskriptif yang bertujuan untuk menggambarkan situasi atau gejala tertentu secara terperinci.[30] Dari sisi pendekatan, penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif melalui metode studi pustaka dan *content analysis*.[31] Metode studi/riset kepustakaan (*library research*) pada penelitian ini menggunakan sumber data yang diperoleh dari hasil penelitian, peraturan, artikel dan buku-buku referensi yang membahas topik yang berkaitan dengan tema penelitian.[32] Sedangkan metode *content analysis* merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui simpulan dari sebuah teks. Atau dengan kata lain, analisis isi dalam penelitin ini ingin mengungkap gagasan penulis yang termanifestasi maupun yang laten.[33] Sumber data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari hasil penelitian, artikel dan buku-buku referensi yang membahas topik yang sama, khususnya pada dokumen *Master Plan Ekonomi Syariah Indonesia*. Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan teknik dokumentasi, pencarian data atau teori yang relevan dengan pertanyaan penelitian Data yang diperoleh berupa bahan pustaka kemudian diolah dan dianalisis secara kritis dan mendalam untuk mendukung proposisi dan gagasan yang ada dari berbagai referensi.[34]

C. HASIL TEMUAN DAN PEMBAHASAN

1. Sinergitas Program EBT dan Ekonomi Syariah

Rantai nilai energi terbarukan dimulai dari kesediaan sumber daya alam sampai dengan pemanfaatan akhir dari energi itu sendiri. Pemanfaatannya untuk berbagai sektor, seperti kebutuhan rumah tangga, transportasi, industri, dan komersial. Terdapat juga industri primer yaitu terdiri dari hulu (mengangkat dari sumber asalnya) dan hilir (mengolah menjadi produk energi). Dalam

[29] Peraturan Otoritas Jasa Keuangan No. 51/POJK.03/2017 tanggal 18 Juli 2017 tentang Penerapan Keuangan Berkelanjutan

[30] M. Hamdi dan Ismaryati S, *Materi Pokok Metodologi Penelitian Administrasi; 1-12; MAPU5103/4 SKS,* (Tangerang Selatan: Universitas Terbuka, 2019).

[31] Sarwono Jonathan. *Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif*, (Graha Ilmu, 2006).

[32]John W. Creswell. "Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan Mixed, terj." *Achmad Fawaid. Yogyakarta: Pustaka Pelajar* (2012).

[33]Margrit Schreier. *Qualitative content analysis in practice*. Sage publications, 2012.

[34] Sri Haryanto. "Pendekatan Historis Dalam Studi Islam." *Manarul Qur'an: Jurnal Ilmiah Studi Islam* 17, no. 1 (2017): 127-135.

pengembangannya, industri energi terbarukan dapat menjadi peluang sekaligus tantangan. Fokusnya pada aspek pasar, Sumber Daya Manusia (SDM), teknologi, regulasi, pembiayaan dan *research & development* (R&D).

Keunggulan Indonesia adalah memiliki sumber daya yang melimpah dalam mengimplementasikan energi terbarukan yang dapat disediakan secara lokal. Berbagai kebijakan di skala regional dan nasional yang ada menjadi aspek pendukung. Selain itu, potensi ketersediaan sumber energi terbarukan di Indonesia beragam dan cukup besar yang telah didukung oleh teknologi untuk pengembangan energi terbarukan yang relatif mudah dipelajari untuk diimplementasikan. Meski pada dasarnya sudah memiliki keunggulan dan aspek pendukung, pengembangan energi terbarukan di Indonesia masih belum optimal. Salah satu penyebabnya adalah pengembangan energi terbarukan memerlukan biaya investasi yang tinggi dan harga jual produk belum kompetitif. Distribusi energi terbarukan masih memiliki akses pasar yang terbatas dan belum dapat diproduksi secara massal. Selain itu, saat ini pengembangan energi terbarukan belum didukung oleh infrastruktur yang memadai. Hal lain yang perlu menjadi perhatian adalah belum adanya sinergi efektif dari para pemangku kebijakan untuk mengeksekusi potensi pengembangan energi terbarukan yang dimiliki oleh Indonesia.

Padahal sejatinya, dengan pengembangan energi terbarukan, ketergantungan akan energi fosil dapat berkurang. Sektor ini berpotensi untuk menyerap banyak tenaga kerja yang dapat menurunkan tingkat pengangguran. Pengembangan energi terbarukan ini berpotensi untuk dapat meningkatkan nilai tambah dari sumber energi dan membuka kesempatan perluasan skala usaha. Dari segi otonomi daerah, energi terbarukan membuka peluang daerah untuk memiliki otonomi sumber energi.

Dalam rangka untuk mendukung tercapainya visi Indonesia yang mandiri, makmur dan madani dengan menjadi pusat ekonomi dan keuangan Syariah terkemuka dunia, klaster energi terbarukan dapat menjadi katalisator untuk penguatan halal rantai nilai (*halal value chains*).[35] Kontribusinya terlihat dalam peningkatan kemandirian ekonomi melalui swasembada energi. Skema sinergitas di antara program energi terbarukan dan ekonomi/keuangan Syariah sebagiamana ditunjukkan pada Gambar 1. Sebagai titik awal sinergi, sektor keuangan Syariah dapat menjadi salah satu solusi bagi permasalahan minimnya ketersediaan instrumen pembiayaan yang sesuai dengan kebutuhan investasi EBT. Melalui berbagai pembiayaan berbasis syariah dengan berbagai skema, ekosistem industri keuangan Syariah dapat berkontribusi menjadi salah satu faktor pendukung pencapaian target EBT yang telah ditetapkan untuk tahun 2025 dan 2050.

Dalam mengembangkan investasi energi terbarukan, pemerintah dan swasta membagi porsinya dalam investasi. Sumber-sumber pendanaan energi terbarukan di Indonesia meliputi kementerian dan Perusahaan Listrik Negara (PLN), Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD), hibah, dan obligasi hijau (*green sukuk*).

[35] Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). "*Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia,"* Cetakan Pertama (2018).

Hingga tahun 2018 pendanaan untuk EBT disalurkan melalui Kementerian Energi Sumber Daya Meneral (ESDM) dan PLN. Skema pendanaan lainnya adalah melalui KPBU (kerja sama pemerintah dan badan usaha) dengan *independent power producer*. Investasi melalui skema APBD (dana alokasi khusus/DAK) dan Investasi oleh kementerian lain. Dana hibah sebagai salah satu sumber pendanaan non-APBN, dilakukan memalui skema pendanaan lainnya yang diperoleh dari hibah luar negeri seperti MCA-Indonesia, *Green Climate Fund*, ESP3, USAID-ICED, dan lainnya. Keperluan pendanaan yang cukup tinggi untuk pengembangan energi terbarukan menjadi potensi bagi keuangan Syariah untuk dapat berkontribusi melalui produk-produk keuangannya. Salah satu pilihan instrumen keuangan syariah yang dapat dimanfaatkan adalah sukuk. Proyek yang berkaitan dengan *sustainable energy and development* dapat didanai oleh sukuk. Hal itu meliputi energi bersih, transportasi massal, konservasi air, kehutanan, dan teknologi rendah karbon. Sukuk merupakan istilah baru yang dikenalkan sebagai pengganti kata obligasi syariah (*islamic bonds*). Secara terminologi, sukuk merupakan bentuk jamak dari kata "*sakk*" dalam bahasa Arab yang berarti sertifikat atau bukti kepemilikan. Sukuk mulai dikenal pada tahun 2002 di Indonesia dengan diterbitkannya sukuk korporasi oleh Indosat dengan nilai Rp 300 miliar menggunakan akad *muḍārabah*.

Setelah momentum tersebut, pemerintah Indonesia melalui Kementerian Keuangan mengeluarkan sukuk negara sebagai instrumen untuk membiayai infrastruktur. Selama sepuluh tahun sejak debutnya, pemerintah saat ini telah rutin menerbitkan sukuk negara baik di level nasional maupun internasional. Beberapa seri yang telah terbit di pasar adalah sukuk ritel, sukuk negara internasional (SNI), dan sukuk dana haji.[36] Perkembangan pesat pada inovasi jenis instrumen juga terjadi pada penerbitan sukuk negara setelah tahun 2010. Di tahun 2012, pemerintah melakukan lelang reguler sukuk negara seri PBS dan SPN-S, lelang sukuk negara tambahan (*green shoe option*), dan SNI dengan format *Islamic* GMTN. Selanjutnya pada tahun 2013, pemerintah pertama kalinya mulai menerbitkan sukuk berbasis proyek dengan nama *project based sukuk* (PBS). Satu tahun setelahnya, pemerintah menerbitkan sukuk global kelima dan keenam diterbitkan pada periode 2014-2015. Tahun 2016, sukuk negara ritel SR-008 diterbitkan oleh pemerintah dan dilanjutkan dengan menerbitkan Sukuk ritel SR-009 di tahun 2017.[37]

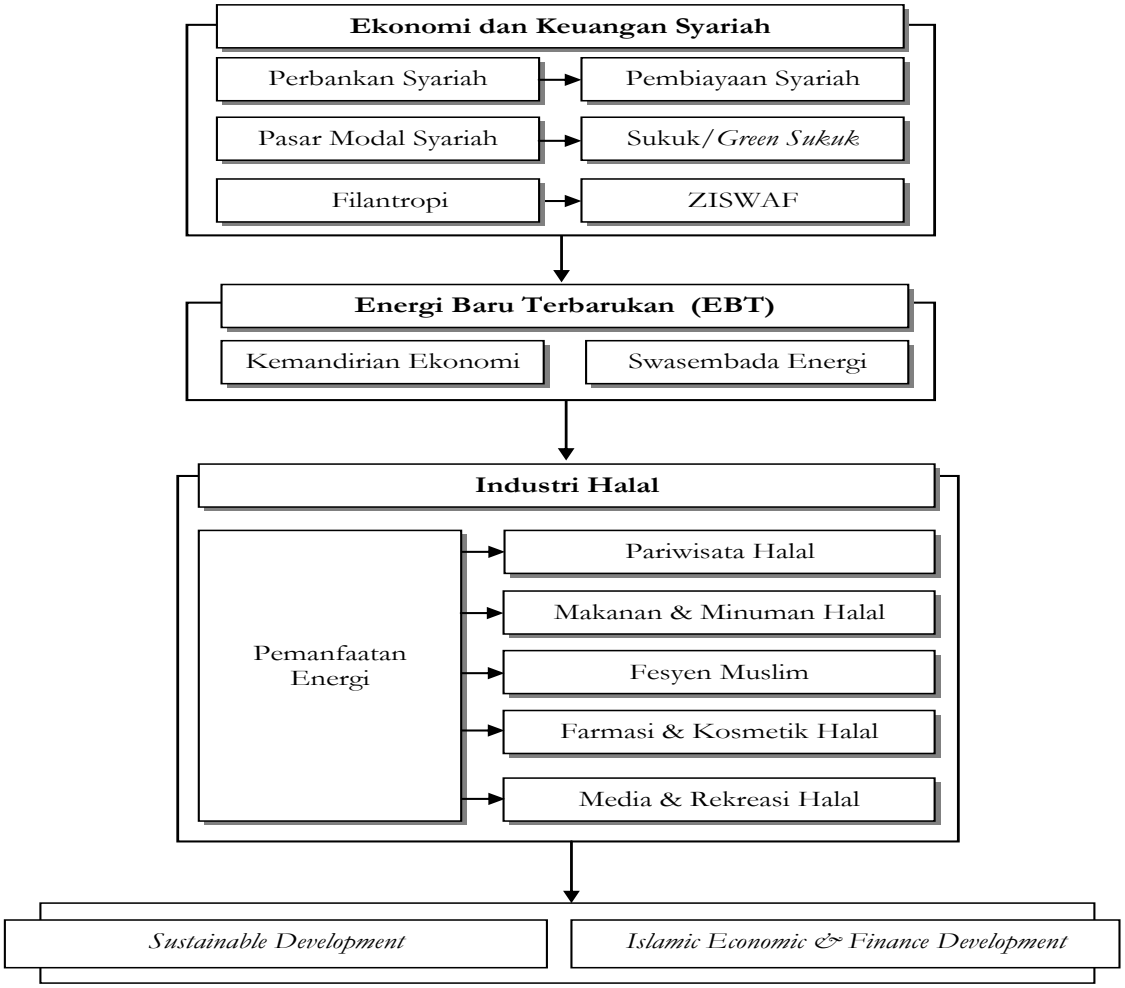
Pada tahun 2018, pemerintah pertama kalinya menerbitkan *green sukuk* sebagai kontribusi dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs). Sukuk jenis ini diterbitkan oleh pemerintah Indonesia untuk membantu pendanaan perubahan iklim.[38] Pemerintah menerbitkan *green sukuk* pertama kali di pasar global tahun 2018 dengan total sebesar USD1,25 milyar dengan *underlying* berupa proyek-proyek hijau di kementerian /lembaga. Indonesia tercatat menjadi Negara pertama yang menerbitkan *Sovereign*

[36] Kementerian Keuangan, "Ekonomi Hijau Untuk Masa Depan Peradaban." *Majalah Media Keuangan XIV*, no. 163 (2021).

[37] *Idem.*

[38] Eri Hariyanto, *Green Financing, Sukuk Negara Dan Pembangunan Berkelanjutan*, https://www.djppr.kemenkeu.go.id/page/load/2269/green-financing-sukuk-negara-dan-pembangunan-berkelanjutan, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Green Sukuk dan *Sovereign Retail Green Sukuk* di dunia. Penerbitan *green sukuk* ini mendapatkan 10 penghargaan internasional antara lain dari IFR Asia, Islamic Finance News, Finance Asia, Euromoney, The Triple A, dan Climate Bond Initiative. Reputasi sangat baik diperoleh Indonesia atas penerbitan *Green Sukuk* ini.[39] Indikasi menguatnya peran sukuk negara dalam pembiayaan APBN di antaranya dapat dilihat dari peningkatan jumlah penerbitan sukuk negara dari tahun ke tahun. Berdasarkan data Direktorat Pembiayaan Syariah Direktorat Jenderal Pengelolaan Pembiayaan dan Risiko (DJPPR), penerbitan sukuk negara mengalami peningkatan yang sangat signifikan dari pertama diterbitkan tahun 2008 yang hanya sebesar Rp 4,7 triliun hingga penerbitan pada tahun 2018 yang mencapai Rp 192,49 triliun. Setelah penerbitan *green sukuk* pada 22 Februari 2018 bertenor lima tahun senilai USD 1,75 miliar dan didaftarkan pada bursa Singapura dan NASDAQ Dubai, akumulasi total penerbitan sukuk negara sejak tahun 2008-2018 mencapai Rp 950.26 trilun.



Gambar 1. Skema Sinergitas Energi Terbarukan dan Ekonomi Syariah

[39] Kementerian Keuangan, "Ekonomi Hijau Untuk Masa Depan Peradaban." *Majalah Media Keuangan XIV*, no. 163 (2021).

Selain itu, sinergi dengan sektor keuangan syariah dapat dilakukan dengan pengembangan struktur keuangan Islam yang lebih kreatif. Hal itu dapat memanfaatkan aset dasar proyek; meningkatnya jumlah bank syariah dan konvensional yang sekarang bersedia meminjamkan atas dasar keuangan Islami; kesediaan agen ekspor kredit untuk bekerja dengan struktur pembiayaan syariah dan pemberi pinjaman; dan preferensi beberapa sponsor sektor swasta untuk mendapatkan pembiayaan atas dasar keuangan syariah. Alternatif pembiayaan untuk energi terbarukan yang dapat dilakukan melalui lembaga keuangan syariah melalui skema pembiayaan telah pernah dilakukan di lembaga perbankan dengan memberikan pembiayaan solar panel atap. Contohnya, di BPRS Lantabur Tebuireng Jawa Timur. Akad pembiayaan ini digunakan prinsip jual-beli (*murābahah*). Bank membeli paket produk listrik surya atap, kemudian menjualnya kepada nasabah dengan kesepakatan harga jual ditambah dengan margin penjualan kepada nasabah secara angsuran.[40]

Begitujuga di BNI Syariah, pihaknya melakukan penandatangan akad pembiayaan musyarakah modal kerja dengan PT Medco Power Indonesia sebesar Rp 400 miliar. Pembiayaan modal kerja ini bertujuan untuk corporate financing yang digunakan untuk tambahan modal kerja dan biaya operasional Medco Power. Medco Power Indonesia selama ini dikenal sebagai perusahaan yang unggul di sektor industri listrik terbarukan seperti pembangkit listrik panas bumi, mini hidro dan tenaga surya. Penandatanganan Akad Plafond Pembiayaan ini merupakan wujud dukungan BNI Syariah terhadap program pemerintah Indonesia dalam penggunaan Energi Terbarukan (*renewable energy*). Dukungan BNI Syariah terhadap penggunaan Energi Terbarukan (renewable energy) ini sesuai amanat Peraturan Otoritas Jasa Keuangan No. 51/POJK.03/2017 tanggal 18 Juli 2017 tentang Penerapan Keuangan Berkelanjutan. PT Medco Power Indonesia, Susilawati Nasution mengatakan saat ini perusahaan sedang membangun proyek energi terbarukan cukup besar di antaranya PLTP Ijen berkapasitas 110 MW yang akan beroperasi penuh (*Commercial Operation Date*) pada 2023. Selain itu, perusahaan ini juga mempunyai pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) di Riau berkapasitas 275 MW. Pada tahun ini, BNI Syariah mengusung tema strategis "Embracing New Opportunities", dimana bank siap meraih peluang-peluang baru dan menjadi partner yang lebih baik bagi seluruh stakeholder salah satunya di bidang energi terbarukan. Hal ini juga sesuai dengan *value proposition* BNI Syariah yaitu Hasanah Banking Partner, dimana BNI Syariah berkomitmen untuk memajukan ekonomi melalui dukungan kepada Medco Power Indonesia dalam pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia. Per Juni 2020, portofolio pembiayaan produktif BNI Syariah mencapai Rp 13,6 triliun. Mayoritas pembiayaan komersial BNI Syariah ini disalurkan ke beberapa sektor industri antara lain konstruksi, listrik, gas air, industri pengolahan, perdagangan, hotel dan restoran, serta jasa dunia usaha.[41]

---

[40] Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). "*Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia,"* Cetakan Pertama (2018).

[41] Keuangan-Kontan.Co.Id, *BNI Syariah salurkan pembiayaan Rp 400 miliar ke Medco Power*, https://keuangan.kontan.co.id/news/bni-syariah-salurkan-pembiayaan-rp-400-miliar-ke-medco-power, diakses pada tanggal 4 April 2021.

Sinergi antara sektor energi terbarukan dengan bidang keuangan syariah lebih lanjut juga telah dilakukan oleh Badan Amil Zakat Nasional (BAZNAS). Lembaga ini berkomitmen untuk mendukung program *appropriate mitigation actions in the energi sector* (MTRE3). Pada bulan Juli 2017, Rudi Mulyana selaku Dirjen Energi Terbarukan dan Konservasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral bersama dengan Zainulbahar Noor selaku Deputi Komisioner BAZNAS menandatangani penyerahan simbolik sumbangan sebesar USD 350,000 dari BAZNAS untuk mendukung program *Sustainable Development Goals* (SDGs). Pada bulan September lalu BAZNAS baru saja meresmikan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Desa Lubuk Bangkar, Kecamatan Batang Asai, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi. Program ini memberikan akses listrik pada 4.448 orang dari 803 rumah tangga.[42]

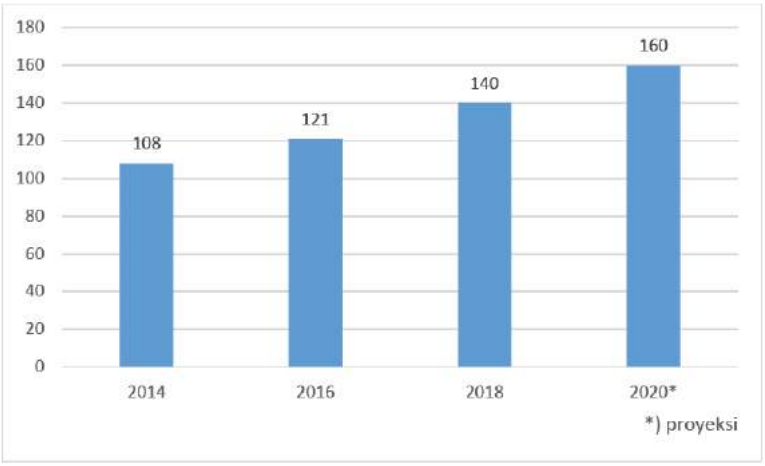
Hal ini menjadi sasaran yang perlu dicapai bagi sektor energi terbarukan untuk bersinergi dengan sektor keuangan syariah sebagai alternatif sumber pembiayaan dalam mendukung pencapaian target pemenuhan energi terbarukan di Indonesia. Adanya ahli di lembaga keuangan syariah maupun investor lain yang memahami industri energi terbarukan diperlukan untuk menilai risiko investasi sektor energi terbarukan. Tentu dengan nilai *capital expenditure* yang tinggi, marjin yang tidak besar, dan periode pembiayaan yang cukup panjang. Selanjutnya, dengan optimalnya pemanfaatan EBT di Indonesia, hasil energi tersebut menjadi pendukung untuk ujung tombak industri halal, di antaranya: pariwisata, industri makanan dan minuman, fesyen Muslim, farmasi dan kosmetik, serta media dan rekreasi. Terkhusus pada industri pariwisata halal, Indonesia dapat menyinergikan tempat produksi EBT menjadi salah satu destinasi pariwisata berbasis *green tourism*. Dengan semakin terintegrasinya kegiatan ekonomi secara global dan kemudahan akses informasi, sub-sektor pariwisata menjadi salah satu sub-sektor yang mengalami pertumbuhan, baik dalam segi volume transaksi maupun nilai tambah yang dihasilkan. Berdasarkan *Global Muslim Travel Index* (GMTI) 2019[43], jumlah wisatawan muslim dunia mencapai 140 juta orang pada tahun 2018 dan diprediksi akan bertambah menjadi 160 juta rang pada tahun 2020 (Grafik 2). Selain itu, Grafik 2 juga menunjukkan bahwa jumlah wisatawan muslim dunia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya, sehingga potensi pengembangannya masih sangat besar. Kondisi yang demikian membuat sub-sektor pariwisata dirasa dapat mendukung pertumbuhan perekonomian di suatu wilayah karena akan mendorong berkembangnya subsector yang lain, misalnya makanan dan minuman, transportasi, dan akomodasi.[44]

---

[42] Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas), " *Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia",* Cetakan Pertama (2018).

[43] Crescentrating.com. *Global Muslim Travel Index* 2019. https://www.crescentrating.com/reports/global-muslim-travel-index-2019.html, diakses pada tanggal 21 April 2021.

[44] PEBS FE UI. Indonesia Sharia Economic Outlook (ISEO) 2020. https://pebs-febui.org/download/indonesia-sharia-economic-outlook-iseo-2020/, diakses pada tanggal 21 April 2021.



Grafik 2. Jumlah Wisatawan Muslim di Dunia (2014-2020*)

Sumber: *Global Muslim Travel Index* (GMTI) 2019

Dalam sub-sektor pariwisata halal ini, Indonesia menempati peringkat ke-4 pada *Global Islamic Economic Indicator*[45] dengan nilai 52, di bawah Malaysia, UAE, dan Turki masing-masing dengan nilai 95,5; 72,7; dan 72 sebagaimana dapat dilihat pada Grafik 3. Selain itu, pada GMTI 2019, Indonesia bahkan menempati peringkat pertama sebagai daerah wisata halal terbaik, menempati peringkat yang sama dengan Malaysia (Grafik 4). Pada GMTI 2019 juga disebutkan bahwa Indonesia menduduki peringkat teratas dalam berkomunikasi dengan wisatawan Muslim, dimana indikatornya adalah dari segi kemudahan berkomunikasi, *digital presence* dan jangkauan (*outreach)*. Dalam hal ini, Indonesia mendapatkan nilai tertinggi dalam hal jangkauan (*outreach)*. Selain dalam hal komunikasi, Indonesia juga menjadi negara dengan peringkat teratas dalam hal tingkat pelayanan yang diberikan, di mana Indonesia mendapatkan nilai sempurna pada dua indikator yaitu bandara dan tempat ibadah.[46]

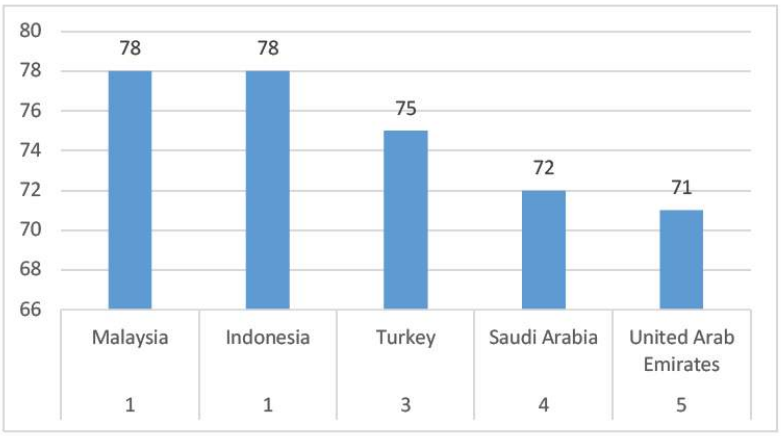


Grafik 3. Peringkat Pariwisata Halal Indonesia

Sumber: *State of Global Islamic Economy Report* 2018/19

[45] Dubai Islamic Economy Development Centre (DIEDC). State of the Global Islamic Economy Report 2018/19. http://www.iedcdubai.ae/wp-content/uploads/2019/02/SGIE-Report-2018-19_Eng_1540649428.pdf, diakses pada tanggal 21 April 2021.

[46] *Idem.*



Grafik 4. Perolehan Nilai dan Peringkat Destinasi Wisata Halal Negara OKI

Sumber: *Global Muslim Travel Index* (GMTI) 2019

Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, salah satu pengguna energi terbesar adalah dari sektor industri. Sinergi pemanfaatan energi terbarukan oleh sektor-sektor yang ada dalam ekosistem industri halal dapat mendukung peningkatan ekonomi yang berkelanjutan secara jangka panjang. Energi terbarukan dapat dimanfaatkan di antaranya oleh industri halal seperti: makanan dan minuman halal, fesyen muslim, pariwisata halal, farmasi dan kosmetik halal dan media dan rekreasi halal. Sebagai contoh, beberapa negara Eropa seperti Jerman dan Inggris telah mengintegrasikan sektor energi terbarukan dengan pariwisata. Hal ini dikenal dengan *green tourism*. Jerman melalui program Energiewende telah menerapkan integrasi sektor energi terbarukan dengan pariwisatanya.[47] Walaupun terdapat beberapa pihak yang keberatan dengan adanya program Energiewende, namun selain mampu memberikan energi terbarukan di Jerman, program tersebut mampu meluaskan fungsinya sebagai lokasi pariwisata tanpa menggangu fungsi utamanya untuk menghasilkan energi. Tidak dapat dipungkiri, penambahan fungsi dari sumber-sumber energi terbarukan akan meningkatkan kontribusi secara ekonomi di negara tersebut. Model lainnya terdapat di Inggris dengan nama Gladwinsfarm. Tempat wisata ini telah mendapatkan beberapa penghargaan salah satunya dalam kategori *green tourism*. Pariwisata ramah lingkungan di dalamnya memiliki konsep yang mirip dengan Energiewende. Kebijakan yang diterapkan oleh tempat wisata ini adalah pengurangan *carbon footprint*, *solar tracker panel* dan *biomass boiler*. Kelebihan dari Gladwinsfarm adalah fasilitas yang lebih lengkap sehingga aktivitas yang ditawarkan kepada para pengunjung lebih beragam untuk mempromosikan energi terbarukan dan *green tourism*.

[47]Clean Energy Wire, *Energy transition becomes a tourist attraction,* https://www.cleanenergywire.org/news/energy-transition-becomes-tourist-attraction#:~:text=%22Tourism%20and%20renewables%20are%20not,they%20can%20complement%20each%20other.%22, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Sinergi EBT dengan industri lain terjadi di Jerman dan Inggris yang telah memanfaatkan EBT untuk industri pariwisatanya. Saat ini hal tersebut belum dilakukan di Indonesia. Berdasarkan potensi yang ada di setiap daerah di Indonesia, salah satu yang dapat disinergikan adalah dengan melihat potensi pengembangan EBT dengan potensi pariwisata halal di setiap wilayah. Di Indonesia, Kementerian Pariwisata telah membuat destinasi wisata halal unggulan. 10 destinasi wisata tersebut meliputi Kepulauan Riau dan Sumatera, Bandung, Jakarta, Yogyakarta, Surabaya, Kepulauan Bali-Nusa Tenggara, Kalimantan, Sulawesi, serta Kepulauan Maluku dan Papua. Salah satu potensi pariwisata halal unggulan di area Great Bali adalah wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB).[48] Wilayah tersebut memiliki potensi energi laut dan tata surya. Potensi energi laut maupun energi tata surya di wilayah tersebut dapat menjadi salah satu potensi sinergi dengan pariwisata berkelanjutan (pariwisata halal) seperti yang sudah dilakukan oleh negara-negara di Eropa. Diperlukan riset dan kolaborasi bersama di antara pihak-pihak pemangku kebijakan serta yang dapat bersinergi antara sektor EBT dengan sektor pariwisata halal tersebut.

Dalam konteks pembiayaan EBT yang bersifat sosial keagamaan, Islam mengajarkan konsep *ta'awun*, yaitu tolong-menolong, gotong-royong, bantu-membantu dengan sesama manusia, seperti perintah Allah pada Surah al-Maidah ayat 2. Dalam hal ini, keuntungan yang diperoleh adalah sedekah jariah yang pahalanya akan mengalir terus. Program ini dapat dilakukan melalui urun dana (*crowd funding*) untuk memobilisasi potensi wakaf Indonesia sebesar Rp. 60 triliun untuk program-program sosial sekaligus pemberdayaan masyarakat, khususnya dalam aspek perlindungan lingkungan hidup. Sebagai contoh, wakaf pemasangan solar panel di masjid Salman ITB dan wakaf reaktor biogas telah dilakukan untuk pondok pesantren dan masjid Azzikra di Sentul, Bogor. Pembangunan fasilitas biogas ini tidak hanya untuk energi, namun juga untuk pengolahan limbah cair dari masjid yang sebelumnya di alirkan ke sungai Cikeas yang tentunya ini dilarang syariat Islam karena menimbulkan kemudharatan. Saat ini beberapa skema pembiayaan urun dana melalui wakaf sedang gencar dikembangkan oleh industri perbankan syariah dan Majelis Ulama Indonesia (MUI).[49]

Dalam rangka mengoptimalkan sinergitas antara program energi terbarukan dan ekonomi Syariah, beberapa langkah dan program *Quick Wins* yang dapat dilakukan adalah:

Pertama, kampanye terhadap keunggulan energi terbarukan untuk mencapai swasembada energi nasional. Salah satu permasalahan di sektor energi terbarukan ialah kurangnya kesadaran atau dukungan serta kepedulian masyarakat terhadap energi terbarukan. Kemudian masyarakat masih sangat bergantung pada energi fosil. Sebanyak 94 persen kebutuhan masih tergantung pada energi fosil. Semua kebutuhan

[48] Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas), "*Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia"*, Cetakan Pertama (2018).

[49] MUI-LPLHSDA, *Pembangunan dan Pembiayaan Syariah Energi Baru Dan Terbarukan Untuk Rumah Ibadah*, https://mui-lplhsda.org/pembangunan-dan-pembiayaan-syariah-energi-baru-dan-terbarukan-untuk-rumah-ibadah/, diakses pada tanggal 4 April 2021.

energi yang belum efisien dipenuhi energi fosil tersebut dan malah disubsidi pula. Hal yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan berkampanye atau menyosialisasikan keunggulan energi terbarukan dibandingkan dengan fosil, serta peningkatan kesadaran masyarakat akan potensi energi terbarukan ini dalam mencapai swasembada energi. Hal ini juga sejalan dengan strategi utama pada kerangka masterplan pengembangan ekonomi Syariah di Indonesia sebagai pusat ekonomi syariah dunia yaitu kampanye nasional gaya hidup halal.

Kedua, terciptanya kemudahan akses dan skema pembiayaan yang menarik untuk mendukung energi terbarukan. Masalah lain yang dihadapi oleh sektor energi terbarukan ialah sulitnya mendapatkan investasi dan pembiayaan untuk proyek pembangunanya. Sektor ini membutuhkan dana yang cukup besar. Hal ini sangat berkaitan dengan persepsi serta pemahaman masyarakat tentang energi terbarukan itu sendiri yang masih rendah. Persepsi mereka masih belum terlalu peduli dan sadar akan lingkungan ditambah dengan pemahaman masyarakat yang masih rendah tentang energi terbarukan. Hal ini menyebabkan masyarakat berpikir bahwa energi terbarukan merupakan bisnis yang tidak menguntungkan, sehingga proyek ini sulit mendapatkan pembiayaan. Pembiayaan syariah dapat menjadi salah opsi pembiayaan proyek energi terbarukan. Banyak instrumen keuangan syariah yang berpotensi untuk mendukung energi terbarukan, dari pembiayaan perbankan syariah, pasar modal syariah, sampai instrumen Zakat, Infak, Sedekah, dan Wakaf (ZISWAF). Hal ini juga sejalan dengan strategi utama dalam *masterplan* yaitu mendorong pendirian *national halal fund*.[50] Oleh karena itulah dibutuhkan skema pembiayaan syariah yang menarik sekaligus dukungan pemerintah dalam berbentuk insentif untuk mendukung proyek energi terbarukan secara finansial.

Ketiga, mengadakan riset dan publikasi mengenai energi terbarukan dan potensi kolaborasi dengan industri lain dalam rantai nilai halal yang dapat diapliksikan di Indonesia, terutama pariwisata halal. Riset dan inovasi sangat dibutuhkan dalam sektor energi terbarukan. Sumber energi dapat berasal dari berbagai macam. Sebagai contoh sudah ada pembangkit listrik yang berasal dari sampah dan kotoran hewan di Amerika Serikat. Hal ini sangatlah bermanfaat di satu sisi untuk mengurangi sampah dan kotoran dan menggunakanya sebagai sumber energi. Di Indonesia juga sudah ada beberapa penelitian mengenai sumber energi terbarukan dari cangkang kakao. Selain dari penelitian mengenai energi terbarukan itu sendiri, dibutuhkan juga riset mengenai potensi kolaborasi antara sektor energi terbarukan dengan sektor lain. Sebagai contoh, berbagai negara Eropa seperti di Jerman dan Inggris telah mengintegrasikan sektor energi terbarukan yang lebih dikenal sebagai *green tourism*. Jerman melalui program Energiewende (meski ada yang keberatan dengan program tersebut) dan Inggris melalui Gladwinsfarm nya, menambahkan fungsi dari sumber energi terbarukan tersebut sehingga meningkatkan kontribusi ekonomi. Hal ini juga sangat mungkin untuk direalisasikan di Indonesia, sehingga selain energi terbarukan dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk

[50] Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas), "*Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia"*, Cetakan Pertama (2018).

smendukung industri halal lainya. Hal ini juga sejalan dengan strategi utama dalam mewujudkan Indonesia yang mandiri, makmur, dan madani dengan menjadi pusat ekonomi syariah terkemuka dunia yaitu *pendirian halal hub*[51] untuk penguatan industri halal dalam negeri. Energi terbarukan juga dapat berkolaborasi dengan sektor lain untuk dapat memberi nilai tambahan pada perekonomian secara keseluruhan.

D. KESIMPULAN

Dalam rangka untuk mendukung tercapainya visi Indonesia yang mandiri, makmur dan madani dengan menjadi pusat ekonomi dan keuangan Syariah terkemuka dunia, klaster energi terbarukan dapat menjadi katalisator untuk penguatan halal rantai nilai (*halal value chains*). Kontribusinya terlihat dalam peningkatan kemandirian ekonomi melalui swasembada energi. Skema sinergitas di antara program energi terbarukan dan ekonomi/keuangan Syariah dapat digambarkan sebagai berikut:

Pertama, sektor keuangan Syariah dapat menjadi salah satu solusi bagi permasalahan minimnya ketersediaan instrumen pembiayaan yang sesuai dengan kebutuhan investasi EBT. Melalui berbagai pembiayaan berbasis syariah dengan berbagai skema, ekosistem industri keuangan Syariah dapat berkontribusi menjadi salah satu faktor pendukung pencapaian target EBT yang telah ditetapkan.

Kedua, dengan optimalnya pemanfaatan EBT di Indonesia, hasil energi tersebut menjadi pendukung dan ujung tombak industri halal, di antaranya: makanan dan minuman halal, fesyen muslim, pariwisata halal, farmasi dan kosmetik halal dan media dan rekreasi halal. Terkhusus pada industri pariwisata halal, Indonesia dapat menyinergikan tempat produksi EBT menjadi salah satu destinasi pariwisata berbasis *green tourism*. Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, salah satu pengguna energi terbesar adalah dari sektor industri. Sinergi pemanfaatan energi terbarukan oleh sektor-sektor yang ada dalam ekosistem industri halal dapat mendukung peningkatan ekonomi yang berkelanjutan secara jangka panjang.

Ketiga, dalam konteks pembiayaan EBT yang bersifat sosial keagamaan, EBT dapat dilakukan dengan konsep *ta'āwun* dan sedekaj jariah melalui urun dana (*crowd funding*) untuk memobilisasi potensi wakaf Indonesia sebesar Rp. 60 triliun untuk program-program sosial sekaligus pemberdayaan masyarakat, khususnya dalam aspek perlindungan lingkungan hidup.

Keempat, dalam rangka mengoptimalkan sinergitas antara program energi terbarukan dan ekonomi Syariah, beberapa langkah dan program *Quick Wins* yang dapat dilakukan adalah: (1) kampanye terhadap keunggulan energi terbarukan untuk mencapai swasembada energi nasional; (2) menciptakan kemudahan akses dan skema pembiayaan yang menarik untuk mendukung energi terbarukan; (3) mengadakan riset dan publikasi mengenai energi terbarukan dan potensi kolaborasi dengan industri lain

[51] *Idem.*

dalam rantai nilai halal yang dapat diapliksikan di Indonesia, terutama pariwisata halal.

REFERENSI:

Al-Zarkasyi, B. A. M. (1984). *Al-burhan fi 'ulum Al-Qur'an*. Kairo: Dar al-Turath.

Azhar, M., & Satriawan, D. A. (2018). Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Administrative Law and Governance Journal*, *1*(4), 398-412.

Aziz, R. M. (2020). Penanganan Energi Pada Krisis Ekonomi Akibat Covid-19 Sesuai Agama dan Sains. In *Seminar Nasional Teknologi Industri Hijau* (Vol. 2, No. 1, pp. 194-204).

BP.PLC. (2021). *Statistical Review of World Energy 2019*, https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html. Diakses pada tanggal 31 Maret 2021.

Clean Energy Wire. (2014). *Energy transition becomes a tourist attraction*, https://www.cleanenergywire.org/news/energy-transition-becomes-tourist-attraction#:~:text=%22Tourism%20and%20renewables%20are%20not,they%20can%20complement%20each%20other.%22, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Crescentrating.com. *Global Muslim Travel Index* 2019. https://www.crescentrating.com/reports/global-muslim-travel-index-2019.html, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Creswell, John W. (2012) . *Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan Mixed*, terj. Achmad Fawaid. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Dubai Islamic Economy Development Centre (DIEDC). (2018). State of the Global Islamic Economy Report 2018/19. http://www.iedcdubai.ae/wp-content/uploads/2019/02/SGIE-Report-2018-19_Eng_1540649428.pdf, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Eri Hariyanto, E. (2021). *Green Financing, Sukuk Negara Dan Pembangunan Berkelanjutan*, https://www.djppr.kemenkeu.go.id/page/load/2269/green-financing-sukuk-negara-dan-pembangunan-berkelanjutan, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Fauzia, I. Y. (2016). Urgensi Implementasi *Green Economy* Perspektif Pendekatan Dharuriyah Dalam Maqashid Al-Sharia. *Jurnal Ekonomi dan Bisnis Islam 2* (1), 87-104.

Hamdi, M., Ismaryati, S. (2019). *Materi Pokok Metodologi Penelitian Administrasi; 1-12; MAPU5103/4 SKS.* Tangerang Selatan: Universitas Terbuka.

Haryanto, S. (2017). Pendekatan Historis Dalam Studi Islam. *Manarul Qur'an: Jurnal Ilmiah Studi Islam* 17 (1), 127-135.

Ibn Hayyan, M. (1993). *Tafsir al-bahr al-muhit*. Beirut: Dar al-Kutub al-'Ilmiyyat.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Iskandar, A., Aqbar, K. (2019). Green Economy Indonesia Dalam Perspektif Maqashid Syari'ah. *Al-Mashrafiyah: Jurnal Ekonomi, Keuangan, dan Perbankan Syariah 3* (2), 83-94.

Jaelani, A. (2015). Public financial management in Indonesia: Review of Islamic public finance. *MPRA Paper*, 72340.

Jaelani, A. (2017). Kebijakan Energi Baru Terbarukan di Indonesia: Isyarat Ilmiah Al-Qur'an dan Implementasinya dalam Ekonomi Islam. *MPRA (83314)*.

Jaelani, A. (2017). Renewable Energi Policy in Indonesia: Scientific signs of the Qur'an and Implementation in Islamic Economic. *MPRA Paper*, 83314.

Jonathan, S. (2006). *Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif*. Jakarta: Graha Ilmu.

Juwito, A. F., Pramonohadi, S., & Haryono, T. (2015). Optimalisasi energi terbarukan pada pembangkit tenaga listrik dalam menghadapi desa mandiri energi di Margajaya. *Semesta Teknika*, *15*(1).

Kementerian Keuangan. (2021). Ekonomi Hijau Untuk Masa Depan Peradaban. *Majalah Media Keuangan XIV*, no. 163.

Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). (2018). *Masterplan Ekonomi Syariah Indonesia 2019-2024; Hasil Kajian Analisis Ekonomi Syariah di Indonesia*, Cetakan Pertama.

Keuangan-Kontan.Co.Id. (2021). *BNI Syariah salurkan pembiayaan Rp 400 miliar ke Medco Power*, https://keuangan.kontan.co.id/news/bni-syariah-salurkan-pembiayaan-rp-400-miliar-ke-medco-power. Diakses pada tanggal 4 April 2021.

Makmun, M. (2011). Green Economy: Konsep, Impelentasi dan Peran Kementerian Keuangan. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan* 19(2), 1-15.

Mardliyah, W., Sunardi, S., & Agung, L. (2018). Peran Manusia Sebagai Khalifah Allah di Muka Bumi: Perspektif Ekologis dalam Ajaran Islam. *Jurnal Penelitian*, *12*(2), 355-378.

Muhammad, H. S. (1999). *Economic Guidelines in the Quran*, Vol. 21. International Institute of Islamic Thought (IIIT).

MUI-LPLHSDA. (2021). *Pembangunan dan Pembiayaan Syariah Energi Baru Dan Terbarukan Untuk Rumah Ibadah* https://mui-lplhsda.org/pembangunan-dan-pembiayaan-syariah-energi-baru-dan-terbarukan-untuk-rumah-ibadah/. Diakses pada tanggal 4 April 2021.

Ngada.Org. (2017). *Database Peraturan*. https://ngada.org/ps22-2017.htm#:~:text=1.Rencana%20Umum%20Energi%20Nasional,mencapai%20sasaran%20Kebijakan%20Energi%20Nasional , diakses pada tanggal 21 April 2021.

PEBS FE UI. (2020). *Indonesia Sharia Economic Outlook (ISEO) 2020*. https://pebs-febui.org/download/indonesia-sharia-economic-outlook-iseo-2020/, diakses pada tanggal 21 April 2021.

Peraturan Otoritas Jasa Keuangan No. 51/POJK.03/2017 tanggal 18 Juli 2017 tentang Penerapan Keuangan Berkelanjutan.

Ramli, S., Murad, S. Z. A., Husin, A. F. H. (2014). Biodiesel in holy Quran: among the review of the Arabic lexicography and modern science. *Mediterranean Journal of Social Sciences* 5(19), 336-336.

Schreier, Margrit. (2012). *Qualitative content analysis in practice*. Sage publications.

Suprayogi, M. (2016). *Jurnal Energi 2*. Jakarta: Kementerian ESDM.

The International Renewable Energy Agency (IRENA). (2016). *Renewable Energy Outlook For ASEAN*", https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_REmap_ASEAN_2016_report.pdf. Diakses pada tanggal 31 Maret 2021.

UNEP. (2011). *Environmental Management Accounting Procedures & Principles.* Newyork.

Vaghefi, N., Siwar, C., dan Aziz, S. A. A. G. (2015). Green economy: issues, approach and challenges in muslim countries. *Theoretical Economics Letters* 5(1), 28.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSBN : 978-602-71928-1-2

ENERGI TERBARUKAN DARI SAMPAH PLASTIK DI TPA PUUWATU DENGAN MEMANFAATKAN TEKNOLOGI PIROLISIS GUNA MENDUKUNG MASYARAKAT MANDIRI ENERGI DI KOTA KENDARI

Yuspian Gunawan[1], La Karimuna[1], Ridway Balaka[1], Budiman Sudia[1], La Ode Magribi[2], Lukas Kano Mangalla[2], kadir[2], abd kadir[2], Nasrul[2]
[1]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo
[2]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo
Kampus Hijau Bumi Tridharma
Email : yuspiangunawanstmt@gmail.com

ABSTRAK
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa banyak minyak pirolisis yang dihasilkan dari jumlah sampah anorganik (plastik) Kota Kendari yang diproduksi. Jenis plastik yang digunakan atau yang menjadi objek peneletian adalah PET (Polyethylene Terephthalete), HDPE (High Density Polyethylene), LDPE (Low Density Polyethylene), dan PP (Poly Propylene). Metode yang dilakukan adalah pirolisis dengan suhu pembakaran 400^0C. plastik jenis PP dipilih kantong kresek, jenis HDPE dpilih botol oli, jenis PET dipilih botol aqua, jenis LDPE dipilih plastik kemasan untuk tempat makanan. Masing-masing jenis plastik digunakan 500 gram untuk tiap pembakaran. Tiap jenis plastik dilakukan 3 kali percobaan. Panas pembakaran memanfaatkan gas methan dari pengolahan sampah organic. Hasil penelitian menunjukan jumlah minyak pirolisis yang dihasilkan dari sampah plastik (empat jenis plastik) adalah jenis PP tiap 500 gram menghasilkan 470 mili liter, jenis HDPE menghasilkan 412 mili liter tiap 500 gramnya, Jenis PET menghasilkan 436 mili liter per 500 gram sampah plastik, LDPE menghasilkan 375 mili liter tiap 500 gram sampah plastik yang telah dicacah.

Kata Kunci : Sampah Plastik, Minyak Pirolisis, PP, HDPE, PET, LDPE

1. Latar Belakang

Penduduk Kota kendari pada tahun 2017 mencapai 370.728 jiwa, (Berdasarkan data Badan Puasat Statistik2017)/ (BPS). Jumlah ini akan menghasilkan timbulan sampah dengan volume yang tidak sedikit. Dengan jumlah penduduk tersebut timbulan sampah Kota Kendari dapat diasumsikan dengan menggunakan faktor pendekatan teoritis yakni sebanyak 763.326 m^3 per hari dengan berat sampah dihasilkan 150.000,15 kg sampah/hari atau sama dengan 150 ton sampah per hari. Dari volume timbulan sampah tersebut sekitar 50% sampai 75% merupakan sampah organik (sampah basah) dan sisanya merupakan sampah anorganik (sampah kering) yang apabila dikelola dengan baik dapat didaur ulang atau dimanfaatkan kembali sebagai energi alternatif salah satunya dengan menggunakan proses pirolisis sampah plastik untuk menghasilkan minyak pirolisis. *(yuspian gunawan dkk, 2018, The Potential of Plastic Waste for Utilizing into pyrolysis oil have to support independent energy communities in Kendari City).*

Upaya mengantisipasi masalah sampah terutama masalah kebersihan dan lingkungan hidup akibat belum tertata dan terbinanya penanganan sampah mulai dari tingkat rumah tangga dan lingkungan sampai ke TPA (Tempat Pembuangan Akhir), diperlukan suatu perencanaan pengelolaan persampahan Kota Kendari yang nantinya akan tertuang dalam bentuk Rencana Induk Pengelolaan Sampah (*Masterplan Persampahan Kota Kendari). (yuspian gunawan dkk, 2018, The Potential of Plastic Waste for Utilizing into pyrolysis oil have to support independent energy communities in Kendari City).*

PERPUSTAKAAN NASIONAL

ISSBN : 978-602-71928-1-2

Energi merupakan permasalahan yang sangat penting untuk semua negara. Berbagai cara dilakukan oleh para peneliti untuk mendapatkan sumber energi terbarukan, pengganti energi dari minyak bumi yang kian menipis. Salah satu sumber energi alternatif adalah mengolah sampah plastik menjadi minyak pirolisis yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk membangkitkan listrik. *(yuspian gunawan dkk, 2018, The Potential of Plastic Waste for Utilizing into pyrolysis oil have to support independent energy communities in Kendari City).*

Hingga saat ini, TPA Puuwatu telah memanfaatkan sampah untuk diolah menjadi gas methan yang dapat digunakan oleh masyarakat setempat untuk mendapatkan listrik. Di lain pihak, potensi pemanfaatan sampah untuk menjadi energi terbarukan belum terjadi secara optimal.

Rumusan Masalah

Sesuai kondisi latar belakang tersebut maka peneliti dapat merumuskan masalah yang dapat diangkat dalam penelitian ini, yaitu :

Bagaimana pengaruh jenis sampah plastik terhadap jumlah minyak pirolisis yang dihasilkan dalam proses pirolisis.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang diharapkan di dalam penelitian ini adalah un tuk mengetahui pengaruh jenis sampah plastik terhadap jumlah minyak pirolisis yang dihasilkan.

LANDASAN TEORITIS

Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah sumber-sumberenergi yang bisa habis secara alamiah. Energi terbarukan berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar,misal: matahari, angin, sungai, tumbuhan dsb.Energi terbarukan merupakan sumber energipaling bersih yang tersedia di planet ini.Ada beragam jenis energi terbarukan, namuntidak semuanya bisa digunakan di daerah-daerahterpencil dan perdesaan.Tenaga Surya, Tenaga Angin, Biomassa danTenaga Air adalah teknologi yang palingsesuai untuk menyediakan energi di daerah-daerahterpencil dan perdesaan. Energiterbarukan lainnya termasuk Panas Bumi danEnergi Pasang Surut adalah teknologi yangtidak bisa dilakukan di semua tempat.Indonesia memiliki sumber panas bumi yangmelimpah; yakni

PERPUSTAKAAN NASIONAL

ISSBN : 978-602-71928-1-2

sekitar 40% dari sumbertotal dunia. Akan tetapi sumber-sumber iniberada di tempat-tempat yang spesifik dantidak tersebar luas. Teknologi energiterbarukan lainnya adalah tenaga ombak,yang masih dalam tahap pengembangan (Buku Panduan PNPM Mandiri Energi yang Terbarukan, Contaned Energi Indonesia).

Sampah

Sampah adalah suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari sumber hasil aktifitas manusia maupun alam yang belum memiliki nilai ekonomis. Adapun definisi sampah yaitu sampah merupakan material sisa yang tidak diinginkan setelah berakhirnya suatu proses. Sampah merupakan konsep buatan manusia, dalam proses-proses alam tidak ada sampah, yang ada hanya produk-produk yang tak bergerak. Sampah dapat berada pada setiap fase materi : padat, cair, atau gas. Ketika dilepaskan dalam dua fase yang disebutkan terakhir, terutama gas, sampah dapat dikatakan sebagai emisi. Emisi biasa dikaitkan dengan polusi. Dalam kehidupan manusia, sampah dalam jumlah besar datang dari aktivitas industri (dikenal juga dengan sebutan limbah), misalnya pertambangan, manufactur, dan konsumsi. Hampir semua produk industri akan menjadi sampah pada suatu waktu, dengan jumlah sampah yang kira-kira mirip dengan jumlah konsumsi.

Sampah Berdasarkan SumbernyaRumah tangga, Pertanian, Perkantoran, Perusahaan, Rumah sakit, Pasar, dan lain-lainSampah Berdasarkan SifatnyaSampah Alam, Sampah yang diproduksi di kehidupan liar diintegrasikan melalui proses daur ulang alami, seperti halnya daun-daun kering di hutan yang terurai menjadi tanah. Di luar kehidupan liar, sampah-sampah ini dapat menjadi masalah, misalnya daun-daun kering di lingkungan pemukiman. Sampah Manusia, Sampah manusia (Inggris: human waste) adalah istilah yang biasa digunakan terhadap hasil-hasil pencernaan manusia, seperti feses dan urin. Sampah manusia dapat menjadi bahaya serius bagi kesehatan karena dapat digunakan sebagai vaktor (sarana perkembangan) penyakit yang disebabkan virus dan bakteri. Salah satu perkembangan utama pada dialektika manusia adalah pengurangan penularan penyakit melalui sampah manusia dengan cara hidup yang higienis dan sanitasi. Termasuk di dalamnya adalah perkembangan teori penyaluran pipa (plumbing). Sampah manusia dapat dikurangi dan dipakai ulang misalnya melalui sistem urinoir tanpa air.

PERPUSTAKAAN NASIONAL

ISSBN : 978-602-71928-1-2

Sampah Konsumsi, Sampah konsumsi merupakan sampah yang dihasilkan oleh (manusia) pengguna barang, dengan kata lain adalah sampah-sampah yang dibuang ketempat sampah. Ini adalah sampah yang umum dipikirkan manusia. Meskipun demikian, jumlah sampah kategori ini pun masih jauh lebih kecil dibandingkan sampah-sampah yang dihasilkan dari proses pertambangan dan industri. *(yuspian gunawan dkk, 2018, The Potential of Plastic Waste for Utilizing into pyrolysis oil have to support independent energy communities in Kendari City).*

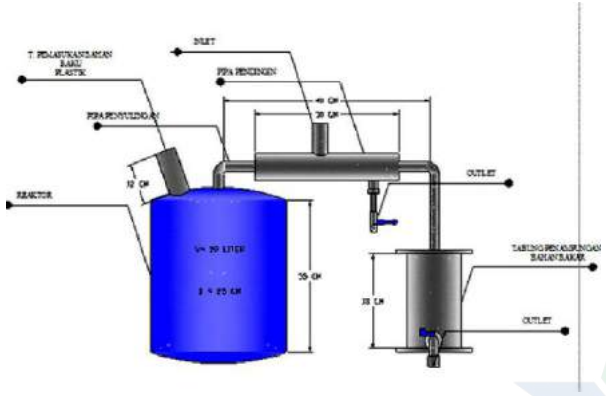
METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang dibutuhkan dalam peneltian ini adalah limbah plastik jenis PET (Polyethylene Terephthalete), HDPE (High Density Polyethylene), LDPE (Low Density Polyethylene), dan PP (Poly Propylene).

Metode

Metode yang dilakukan adalah pirolisis dengan suhu pembakaran 400^0C. plastik jenis PP dipilih kantong kresek, jenis HDPE dpilih botol oli, jenis PET dipilih botol aqua, jenis LDPE dipilih plastik kemasan untuk tempat makanan. Masing-masing jenis plastik digunakan 500 gram untuk tiap pembakaran. Tiap jenis plastik dilakukan 3 kali percobaan. Peralatan pirolisis yang digunakan sesuai dengan spesifikasi peralatan pirolisis yang digunakan oleh Kadir dalam penelitiannya (Kadir, 2012, kajian pemanfaatan sampah plastik sebagai sumber bahan bakar cair, DINAMIKA Jurnal ilmiah teknik mesin) , yaitu sebagai berikut :



PERPUSTAKAAN NASIONAL

ISSBN : 978-602-71928-1-2

Gambar Instalasi: Pengolahan Limbah Plastik (kadir, 2012, Kajian Pemanfaatan Sampah Plastik Sebagai Sumber Bahan Bakar Cair)

2. Hasil Penelitian

No.	Bahan Sampah Plastik	Massa (Kg)	Minyak Pirolisis Yang dihasilkan (Mili liter)
1.	PP (Kantong Kresek)	500	470
2.	HDPE (Botol Oli)	500	412
3.	PET (Botol Aqua)	500	436
4.	LDPE (Plastik kemasan Makanan)	500	375

Hasil penelitian menunjukan jumlah minyak pirolisis yang dihasilkan dari sampah plastik (empat jenis plastik) adalah jenis PP tiap 500 gram menghasilkan 470 mili liter, jenis HDPE menghasilkan 412 mili liter tiap 500 gramnya, Jenis PET menghasilkan 436 mili liter per 500 gram sampah plastik, LDPE menghasilkan 375 mili liter tiap 500 gram sampah plastik yang telah dicacah.

DAFTAR PUSTAKA

(JICA), Kementerian Negara Lingkungan Hidup RI dan Japan International Cooperation Agency. 2008. *Panduan Praktis Pemilihan SAmpah.* Jakarta-Indonesia.

A. Amrullah, Y. Ristianingsih, A. Mursadin, C. Abdi. 2015. "Study Eksperimental Bio-Oil Berbahan Baku Limbah Sisa Makanan Dengan Variasi Temperatur Pirolisis." *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV) Banjarmasin.*

A.S.Ginting, A.H. Tambunan, R. Setiawan. 2015. "Karakteristik Gas-Gas Hasil Pirolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit." *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 158-163.

Abd Johar, M. Hasyim. 2016. "Studi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTAs) Puuwatu Dengan Teknologi Sanitary Landfill Pada Tempat Pengolahan Akhir Sampah (TPAS) Puuwatu Kota Kendari ." *Prosiding Seminar Nasional Teknik Energi dan Ketenagalistrikan-SNTEK.*

Aisyah. 2013. "Pengolahan Sampah Rumah Tangga Berbasis Masyarakat di RT.50 Kelurahan Sungai Pinang Dalam Kecamatan Samarinda Utara." *Jurnal Beraja Niti, ISSN: 2337-4608 Volume 2 No.12.*

Anggraeni, W. 2015. "Manajemen Pengelolaan Sampah di Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Pontianak." *Jurnal Ilmu Administrasi Negara Volume 4 No.3.*

PERPUSTAKAAN NASIONAL

ISSBN : 978-602-71928-1-2

Anthonia E., Eseyin, Emad M., El-Giar. 2015. "Low-Temperature Catalitic Pyrolisis of Corn Stalks-A Novel Route to the Production of Bio-Oil and Valuable Chemical Feedstock ." *International Journal of Science and Technology Volume 4 No.3.*

Aulia Rahman, Syaiful Bahri, Khairat. 2016. "Pirolisis Katalitik Kayu Akasia (Acacia Mangium) Menjadi Bio-Oil dengan Katalis Mo/Lempung." *Jurnal Jom F.Teknik Volume 3 No.1.*

D. A. Himawanto, Indarto, H. Saptoadi, T. A. Rohmat. 2015. "Pengaruh Heating Rate Pada Proses Slow Pyrolisis Sampah Bambu dan Sampah Daun Pisang." *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses ISSN : 1411-4216.*

D. Mustofa, Fuad Zainuri. 2014. "Pirolisis Sampah Plastik Hingga Suhu 900 Derajat C Sebagai Upaya Menghasilkan Bahan Bakar Ramah Lingkungan." *Simposium Nasional RAPI XIII-2014 FT UMS ISSN 1412-9612.*

D.C. Kumara, W. Wijayanti, D. Widhiyanuriyawan. 2015. "Pengaruh Penggunaan Katalis (Zeolit) Terhadap Kinetic Rate Tar Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni (Switenia Macropylla)." *Jurnal Rekayasa Mesin Vol.6 No.1 ISSN 2477-6041* 19-25.

Damanhuri, Padmi. 2010. *Pengolahan Sampah (Diktat Kuliah Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung (ITB)* . Bandung.

E. Erawati, M. Syahab, E. Budiyati, W. B. Sediawan, P. Mulyono. 2015. "Pengaruh Waktu dan Kecepatan Pengadukan Pada Distilasi Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Gergaji Kayu Jati." *Seminar Nasional Teknologi Kimia, Industri, dan Informasi.*

Endang K., Mukhtar G., Abed Nego, F. X. Angga Sugiana. 2016. "Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak." *Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam* . Indonesia-Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" ISSN : 1693-4393.

Energi Terbarukan. 2011. *Buku Panduan Disusun dengan Pendanaan dari Kedutaan Besar Kerajaan Denmark.*

Faizah. 2008. *Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Berbasis Masyarakat.* Indonesia-Semarang: Tesis Program Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana UNDIP .

G., Iman. 2016. "Studi Pengolahan Sampah Plastik Kota Surabaya Secara Pirolisis." Surabaya: ADLN-Perpustakaan Universitas Airlangga.

Hambali E., Mujdalifah S., Tambunan A.H., Pattiwiri A.W., Hendroko R. 2007. *Teknologi Buo-Energi.* Jakarta: Agro Media Pustaka.

Haryadi, S. 2015. *Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin Pada Kondensor Terhadap Hasil Pengembunan Proses Pirolisis Limbah Plastik.* Indonesia-Semarang: Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

Hendra Prasetyo, Rudhiyanto, Ilham Eka Fitriyanto . 2014. "Mesin Pengolah Limbah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Alternatif." *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Fakultas teknik Universitas Negeri Semarang.*

J. M. Enciner, J. F. Gonzales, G. Martinez, R. Roman. 2009. "Catalitic Pyrolysis of Exhausted Olive Oil Waste ." *Journal of Analytical and Aplication Pyrolysis ELSEVIER Vol.85.*

K. Ridhuan, J. Suranto. 2016. "Perbandingan Pembakaran Pirolisis dan Karbonisasi Pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori." *Jurnal Teknik mesin Universitas Muhammadiyah Metro URL, TURBO, Vol.5 No.1 ISSN : 2301-6663.*

PERPUSTAKAAN NASIONAL

ISSBN : 978-602-71928-1-2

Kadir. 2012. "Kajian Pemanfaatan Sampah Plastik Sebagai Sumber Bahan Bakar Cair ." *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin DINAMIKA ISSN :2085-8817 Vol.3 No.2.*

L. Ginayati, M. Faisal, Suhendrayatna. 2015. "Pemanfaatan Asap cair Dari Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengawet Alami Tahu." *Jurnal Teknik Kimia USU Vol.4 No.3.*

M. Firman, S. Bahri, Khairat. 2016. "Pirolisis Biomassa Kayu Pinus (wood pine) Dengan Katalis Mo/Lempung Menjadi Bio-Oil." *Jom FTEKNIK Volume 3 No. 1.*

Mahendra Fajri Nugraha, Arifuddin Wahyudi, Ignatius Gunardi. 2013. "Pembuatan Fuel dari Liquid Hasil Pirolisis Plastik Polipropilen Melalui Proses Reforming dengan Katalis Mo/Lempung Menjadi Bio-Oil." *Jurnal Teknik POMITS Vol.2 No.2 ISSN : 2337-3539.*

Mohammed J. Kabir, Ashfaque Ahmed Chowdhury, Mohammad G. Rasul. 2015. "Pyrolysis of Municipal Green Waste : A Modelling, Simulation and Experimental Analysis." *Journal Energies ISSN : 1996-1073* 7522-7541.

Muhammad Hanif, Virinne Varischa, Gurum Ahmad Pauzi, Edwin Azwar. 2016. "Pengaruh Dolomit Terkalnisasi Pada Karakteristik Produk Cair Pirolisis Limbah Plastik Jenis Polistirene dan Polipropilene." *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika Vol. 04 No. 02.*

N. K. Caturwati, Endang Suhendi, Eko Prasetyo. 2015. "Alat Pirolisis Tempurung Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Briket Biomassa." *Flywheel Jurnal Teknik Mesin Untirta Volume 1 No. 1.*

Paranna, Karunia. 2013. *Analisis Aspek Akuntasi dan CSR atas Pengolahan Sampah di Kota Kendari.* Indonesia-Makassar: Jurusan Akuntasi fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Hasanuddin.

Pokja Sanitasi Kota Kendari. 2013. *Memorandum Program Sanitasi Kota Kendari.* Indonesia-Kendari.

PPSP Kota KEndari. 2011. *Buku Putih Sanitasi.* Kota Kendari.

Praditya, O. 2012. "Studi Kualitatif Manajemen Pengelolaan Sampah Di Kelurahan Sekaran Kota Semarang." *Unnes Public Health Journal.*

Q. Rachmawati, W. Herumurti. 2015. "Pengolahan Sampah Secara Pirolisis Dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik." *Jurnal Teknik ITS Vol. 4 No. 1 ISSN : 2337-3539.*

R. Wulandari, E. Noryadi, D. Safitri. 2014. "Manajemen Pengelolaan Sampah Di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) Ganet Pada Kantor Dinas Tata Kota Kebersihan Pertamanan dan Pemakaman Kota Tanjungpinang." *Naskah Publikasi Mahasiswa Ilmu Administrasi Negara, Fakultas Ilmu Sosial dan Politik Universitas Maritim Raja Ali Haji.*

Ratnasari, F. 2011. *Pengolahan Cangkang Kelapa Sawit Dengan Teknik Pirolisis Untuk Produksi Bio-Oil.* Indonesia-Semarang: Skripsi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Riko Pamori, Raswen Efendi, Fajar Restuhadi. 2015. "Karakteristik Asap Cair dari Proses Pirolisis Limbah Sabut Kelapa Muda." *Jurnal SAGU ISSN : 1412-4424.*

S. R. Juliastuti, Nuniek Hendrianie, Arief Febrianto, Diki Dinar Ramadhika. 2015. "Pengolahan Limbah Plastik Kemasan Multilayer LDPE (Low Density Poly Ethilene) Dengan Menggunakan Metode Pirolisis Microwave." *Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia Yogyakarta* . Indonesia-Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia KEJUANGAN ISSN : 1693-4393.

PERPUSTAKAAN NASIONAL

ISSBN : 978-602-71928-1-2

Santoso, J. 2010. *Uji Sifat Minyak Pirolisis dan Uji dan Uji Performasi Kompor Berbahan Bakar Minyak Pirolisis dari Sampah Plastik.* Indonesia-Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Sudarmanto, B. 2010. "Penerapam Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatannya Dalam Pengelolaan Sampah." *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.*

Sumarni, A. Purwanti. 2008. "Kinetika Reaksi Pirolisis Plastik Low Density Poliethilene (LDPE)." *Jurnal Teknologi, Volume 1 No. 2* 135-140.

Surdia T., Saito S. 2005. *Pengetahuan Bahan Teknik.* Jakarta: PT. Pradnya Pramita.

Surono, U. B. 2013. "Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak." *Jurnal Teknik Vol. 3 No. 1 ISSN : 2088-3676.*

Susilo, G. B. 2016. "Pembuatan Bahan Bakar dari Pirolisis Limbah Plastik Jenis Polietilen, Polistiren, dan Other." *Journal Teknologi Technoscientia ISSN : 1979-8415 Vol.8 No.2* .

Syamsiro, M. 2015. "Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik." *Jurnal Teknik Vol. 5 No. 1 ISSN : 2008-3676.*

V. Chhabra, Y.Shastri, S. Bhattacarya. 2015. "Kinetics of Pyrolysis of Mixed Municipal Solid Waste- A Review ." *International Conference on Solid Waste Management, 51conWM, Jurnal ELSEVIER.*

W. W. Raharjo, A. Himawanto. 2013. *Karakteristik Proses Pirolisis Tiga Jenis Limbah Pertanian.* Indonesia-Surakarta: Simposium Nasional RAPI XII-2013 FT UMS.

Wicaksana, E. 2016. *Pengaruh Suhu Pirolisis dan Jumlah Katalis Silika Gel Terhadap Yield dan Kualitas Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Jenis Polypropilena.* Indonesia-Sumatra Utara: Skripsi Departemen Teknik KImia Fakultas Teknik USU.

Yebi Yuriandala, Siti Syamsiah, Harwin Saptoadi. 2016. "Pirolisis Campuran Sampah Plastik Polistirene dengan Sampah Plastik Berlapisan Aluminium Foil (Multilayer)." *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan, Volume 8 No.1* 10-20.

Yuspian Gunawan dkk, 2018, The Potential of Plastic Waste for Utilizing into pyrolysis oil have to support independent energy communities in Kendari City), ICMID

Zahid Husain, Khalid Mohammed Khan, Zhahnas Pervee, Khadim Husain, Wolfgang Voelter. 2012. "The Conversion of Waste Polystyrene into useful Hydrocarbons by Microwave-Metal Interaction Pyrilysis."

Zuo Gang GUO, Shu-Rong WANG, Ying ying Zhu, Zhong-Yang LUO, Ke-Fa CEN. 2009. "Separation of Acid Compounds for Refining Biomass Pyrolysis Oil."

PERPUSTAKAAN NASIONAL

ISSBN : 978-602-71928-1-2

PERPUSTAKAAN NASIONAL

PLN vs Energi Terbarukan: Peraturan Menteri ESDM Terkait Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap

Suci Modjo[1]

Abstrak

Mengingat keadaan iklim tanpa musim yang menyediakan sinar matahari sepanjang tahun dan tipe perumahan yang umumnya melekat dengan tanah, penggunaan panel surya atap sebagai sumber energi alternatif harusnya digalakkan di Indonesia. Di antara pelbagai cara pemberian insentif penggunaan panel surya adalah melalui pengurangan halangan peraturan dalam tahap instalasi, dan pembelian kelebihan tenaga oleh Pemerintah dengan harga yang diunggulkan. Tulisan ini membahas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral terkait Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). Peraturan ini memberi kewenangan yang luas kepada PLN, dari izin instalasi hingga pembelian kelebihan tenaga dengan potongan harga, yang secara praktis menempatkan masyarakat dan kelestarian lingkungan hidup pada posisi yang lebih lemah dibanding dengan pembangkit listrik komersial. Pemberian kewenangan yang luas kepada PLN tersebut merupakan pelanggaran konstitusi, bertentangan dengan komitmen Pemerintah untuk meningkatkan diversifikasi sumber listrik, dan secara umum kontra-produktif terhadap upaya pengurangan emisi dari pembangkit listrik.

Kata kunci: PLN, ESDM, PLTS

Abstract

Considering its non-seasonal climate providing year-round sunshine and the widespread use of landed properties, the use of rooftop solar panels as an alternative source of energy should be strongly encouraged in Indonesia. Amongst the ways to incentivise the use of solar panels are to lower regulatory barriers to installing them, and to guarantee the purchase of excess electricity by the Government at preferable rates. This paper discusses the Minister of Energy and Mineral Resources Regulation related to The Use of Rooftop Solar Power Producer by PT Perusahaan Listrik Negara. This regulation gives PLN a wide authority, from licencing installation to purchasing excess power at a discount, practically putting community and environmental sustainability at a disadvantage compared to commercial power producers. Providing such sweeping authority to PLN is unconstitutional, contrary to the commitment by the Government to diversify power sources, and generally counter-productive towards the effort to reduce emission from power plants.

***Keywords**: PLN, PLTS, MEMR*

[1] Penulis merupakan advokat di bidang energi dan infrastruktur.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

I. Pendahuluan

Tenaga surya merupakan sumber energi terbarukan yang sungguh ramah lingkungan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan model paling sederhana dibangun dengan melekatkan panel *fotovoltaik* pada atap rumah dan bangunan, yang menangkap paparan sinar matahari sepanjang hari dan menggunakannya untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah atau bangunan yang bersangkutan, menjadikan PLTS sebagai sumber energi yang efisien dan ramah lingkungan. Namun demikian, pengembangan PLTS sebagai sumber energi untuk kepentingan umum belum jamak dilakukan baik oleh Pemerintah (melalui PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) ataupun swasta (IPP) dengan alasan mahalnya nilai investasi yang dibutuhkan menjadikan daya saing PLTS sangat lemah dibandingkan pembangkit bertenaga lain. Sayangnya, kebijakan terkait tidak mendukung keekonomian PLTS yang diinisiasi masyarakat dan kalangan bisnis dan malah semakin mengurangi potensi daya saing PLTS.

Penggunaan panel surya fotovoltaik sudah populer di berbagai kalangan seperti perumahan (sejak penggunaan awalnya sebagai pemanas air), gedung pemerintah dan fasilitas umum[2], hingga bangunan milik swasta yang mengejar penghematan rekening listrik dan sertifikasi sebagai green building[3]. Potensi penggunaan tenaga surya sebagai sumber pembangkit listrik di Indonesia sangatlah besar mengingat letak geografis kepulauan di garis khatulistiwa yang menjamin sinar matahari sepanjang tahun.[4] Dibandingkan dengan Jerman, misalnya, salah satu negara di Eropa dengan iklim empat musim yang membatasi paparan surya mereka, Indonesia berpotensi menghasilkan 10 kali lipat tenaga listrik berbasis surya.[5] Ditambah lagi dengan tipe perumahan Indonesia yang umumnya melekat dengan tanah

---

[2] MTH, "Pasang PLTS Atap, Tagihan Listrik Lebih Hemat," https://kominfo.go.id/index.php/content/detail/20547/pasang-plts-atap-tagihan-listrik-lebih-hemat/0/artikel_gpr, diakses tanggal 31 Agustus 2019.

[3] Sertifikasi *green building* diberikan oleh lembaga profesional untuk bangunan dengan desain eksterior dan interior (berikut rencana penggunaan energi) yang ramah lingkungan. Saat ini terdapat wacana untuk memberikan insentif khusus pada pemilik bangunan bersertifikat *green building*. Pamudji/FER, "Konsep Bangunan Hijau Butuh Insentif Pemerintah," https://www.beritasatu.com/interior/154113-konsep-bangunan-hijau-butuh-insentif-pemerintah.html, diakses tanggal 31 Agustus 2019.

[4] Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional menyatakan bahwa tenaga surya merupakan sumber energi dengan potensi kedua terbesar di Indonesia (diprediksi bisa menghasilkan 207.898MW), di bawah penggunaan arus laut (dengan potensi teoretis sebesar 287.822MW). Indonesia, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2019 Sampai Dengan 2038*, Keputusan No. 143 K/20/MEM/2019 Tahun 2019 (RUKN), Lampiran I, hlm. 228.

[5] Septian Denny, "Potensi Energi Tenaga Surya RI 10 Kali Lebih Besar dari Jerman," https://www.liputan6.com/bisnis/read/2493191/potensi-energi-tenaga-surya-ri-10-kali-lebih-besar-dari-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

menjadikan pemasangan panel surya atap berikut perawatannya lebih mudah dan potensi akses masyarakat pada teknologi PLTS Atap relatif tinggi karena instalasi panel surya tidak memerlukan investasi tambahan untuk peletakannya.

II. Kebijakan Energi Indonesia

A. Instrumen Internasional dan Undang-undang Ketenagalistrikan

Pada tataran internasional, Indonesia telah menunjukkan sikap proaktif dalam menentukan langkah-langkah penanggulangan dampak pemanasan global. *Paris Agreement*[6] sebagai instrumen hukum internasional terbaru dalam bidang lingkungan yang diadopsi oleh Indonesia[7] menentukan panduan kuantitatif bagi tiap negara anggota dalam hal pengurangan jumlah emisi, dengan jalan konversi dari energi berbasis fosil dan langkah lainnya, demi tercapainya target pengurangan pemanasan global ke tingkat yang aman.

Undang-undang Ketenagalistrikan menetapkan keutamaan penggunaan energi baru dan terbarukan.[8] Namun, amanat undang-undang ini belum dilaksanakan dengan maksimal, mengingat: (1) kenyataan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dan dokumen turunannya yang masih menganggarkan penggunaan energi terbarukan dalam porsi bauran kurang dari 25% pada 2025, serta (2) kenyataan realisasi proyek-proyek pembangunan pembangkit listrik bertenaga terbarukan yang masih di bawah 10% dari jumlah seluruh pembangkit listrik untuk kepentingan umum. Dari sini terlihat bahwa Pemerintah belum memprioritaskan penggunaan energi terbarukan.

Sebagai ilustrasi, kapasitas terencana PLTS dengan baterai dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) hanya ditargetkan sebesar 200

jerman?utm_expid=.9Z4i5ypGQeGiS7w9arwTvQ.0&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.liputan6.com%2Fbisnis%2Fread%2F2493191%2Fpotensi-energi-tenaga-surya-ri-10-kali-lebih-besar-dari-jerman, diakses tanggal 14 Agustus 2019.

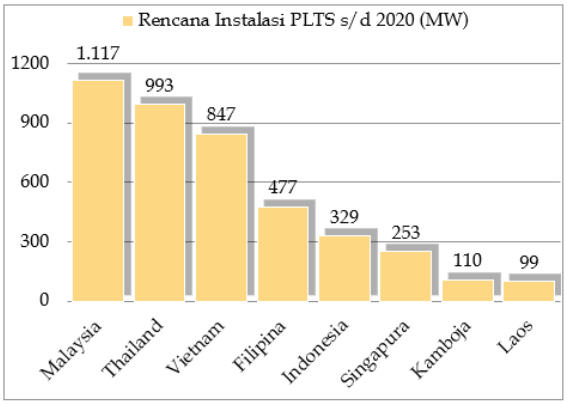
[6] *Paris Climate Change Accord* (Kesepakatan Paris) 2015 yang diadopsi oleh 195 negara pada *6th Annual Sustainable Innovation Forum* (SIF15) di Paris, Perancis. Indonesia menandatangani Kesepakatan Paris pada 22 April 2016, dan meratifikasinya melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016.

[7] Berbagai instrumen internasional lain yang telah ditandatangani Indonesia termasuk *Copenhagen Accord* (Kesepakatan Kopenhagen) 2009 yang meskipun tidak mengikat secara hukum memiliki arti penting bagi perkembangan kerja sama internasional dalam pengurangan emisi, dan *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Protokol Kyoto) yang diratifikasi melalui Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2004 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca yang dinilai tidak berhasil karena kurangnya mekanisme akuntabilitas bagi negara anggota pelanggar komitmen sukarela.

[8] Indonesia, *Undang-Undang Ketenagalistrikan,* UU No. 32 Tahun 2009, LN No. 133 Tahun 2009. TLN No. 5052, Pasal 6: "*(2) Pemanfaatan sumber energi primer sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus dilaksanakan dengan mengutamakan sumber energi baru dan energi terbarukan*." (Penekanan frasa oleh Penulis.)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

MW (dari kebutuhan total sebesar 127 GW) pada 2025.[9] Dengan demikian dapat dipahami bahwa target PLN untuk meningkatkan bauran energi dari PLTS di dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) sebesar 3.200 MW pada 2025-2028 utamanya mengandalkan konsumen yang memasang panel surya dan bukan dari rencana nasional untuk pengembangan PLTS komersial.[10] Hal ini sangat disayangkan, mengingat data Kementerian ESDM mengindikasikan potensi penggunaan energi baru dan terbarukan sebesar 442 *Gigawatt Peak* (GWp), dengan harapan PLTS dapat berkontribusi sebesar 207,8 GWp sedangkan realisasi pemanfaatan baru sebesar 0,092 GWp.[11] Rasio itu menunjukkan ketertinggalan pemanfaatan potensi PLTS, bahkan ketika dibandingkan dengan negara-negara lain di Asia Tenggara dengan industri energi yang tidak semaju Indonesia:[12]



Gambar 2. Rencana Instalasi PLTS s/d 2020 (MW)[13]

B. Dokumen Perencanaan

Komitmen internasional dan amanat undang-undang yang diejawantahkan dalam kebijakan energi Indonesia tertuang di berbagai dokumen perencanaan pembangunan bidang energi dari yang bersifat pedoman seperti Kebijakan Energi Nasional (KEN), RUEN, RUKN dan Rencana Umum Ketenagalistrikan Daerah (RUKD) hingga bersifat praktis dan dijadikan panduan bagi kalangan pelaku

[9] Indonesia, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2019 Sampai Dengan 2038*, Keputusan No. 143 K/20/MEM/2019, hlm. 119.

[10] Indonesia, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2019 Sampai Dengan 2028*, Keputusan No. 39 K/20/MEM/2019, hlm. V-64. PLTS yang direncanakan dalam RUPTL PLN sejatinya tidak termasuk fasilitas swadaya yang dibangun oleh masyarakat atau pelaku usaha untuk memenuhi kepentingannya sendiri. Rujuk penjelasan mengenai perbedaan pembangkit listrik untuk kepentingan umum dan untuk kepentingan sendiri pada bagian *II.C.Pembangkit Listrik Tenaga Surya dalam Kerangka Kebijakan Energi*.

[11] IDZ/BIR, "Energi Terbarukan Bisa Bikin Pemerintah Hemat Puluhan Triliun," https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20190424095301-85-389098/energi-terbarukan-bisa-bikin-pemerintah-hemat-puluhan-triliun, diakses tanggal 14 Agustus 2019.

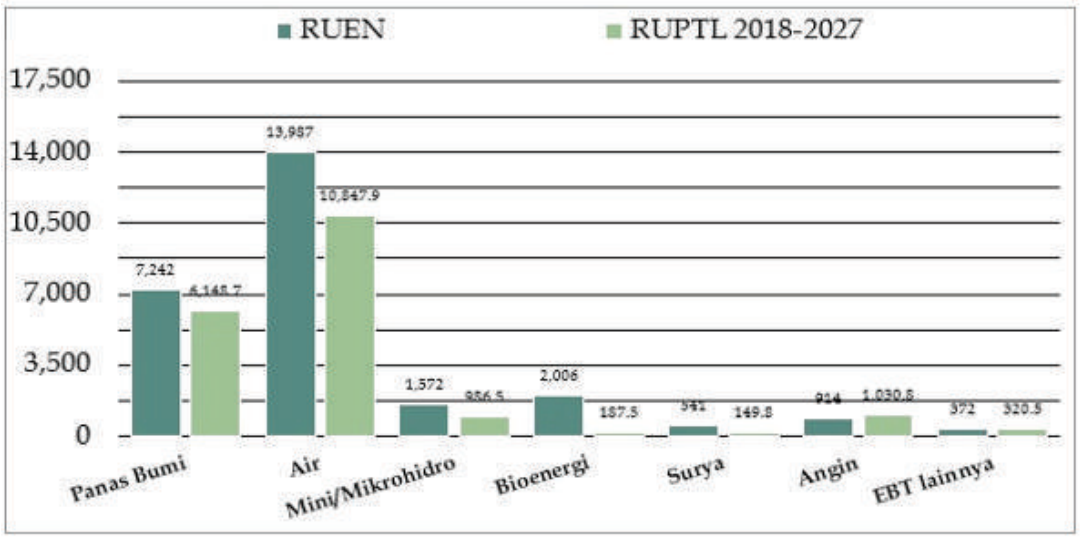
[12] Jason Thomas, "Indonesian Dull Solar Sector," https://theaseanpost.com/article/indonesias-dull-solar-sector, diakses tanggal 14 Agustus 2019.

[13] Stefan Robertsson, "Southeast Asian Solar: Market Outlook and Policy Overview," The Lantau Group, 31 Agustus 2017, https://www.lantaugroup.com/files/ppt_pgen17_sr.pdf., diakses tanggal 15 Agustus 2019.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

usaha: RUPTL. Tatanan kebijakan yang sedemikian sistematis sepatutnya mencerminkan keseriusan pemerintah dalam memenuhi komitmen internasionalnya dalam berbagai instrumen lingkungan yang telah diratifikasi dan menjadi bagian hukum Indonesia. Pada kenyataannya, kualitas hidup penduduk Indonesia terdampak negatif dengan pola pembangunan yang tidak berwawasan lingkungan seperti penyakit yang ditimbulkan akibat tingkat polusi yang semakin tinggi, baik di perkotaan maupun pelosok yang terpapar emisi industri.[14] Belum lagi hilangnya habitat alami yang mengancam kepunahan berbagai flora dan fauna. Dampak lingkungan semestinya menjadi komponen pertimbangan penting dalam perencanaan pembangunan energi di Indonesia. Namun, itikad baik dan kebijakan umum belum tercermin dalam dokumen-dokumen perencanaan tersebut.

Gambar di bawah memperlihatkan ketimpangan antara rencana pembangunan pembangkit energi terbarukan berdasarkan komitmen yang diutarakan Pemerintah dalam RUEN dan kenyataan RUPTL saat ini:[15]



Gambar 3. Perbandingan Rencana Instalasi EBT (MW)[16]

[14] Lalu Rahadian, "Ini 10 PLTU yang Berpotensi Sumbang Polusi Udara Jakarta," https://jakarta.bisnis.com/read/20190716/77/1124981/ini-10-pltu-yang-berpotensi-sumbang-polusi-udara-jakarta, diakses tanggal 17 Agustus 2019. Mengutip Dwi Saung, peneliti lingkungan hidup dari Wahana Lingkungan Hidup Indonesia (Walhi), artikel menyebut PLTU dan industri berbahan bakar batubara menyumbang setidaknya 20-30% polusi udara di DKI Jakarta.

[15] Grita Anindarini Widyaningsih, "Membedah Kebijakan Perencanaan Ketenagalistrikan di Indonesia," *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, Vol. 5 No. 1 (2018), hlm. 117-136, https://icel.or.id/wp-content/uploads/JHLI-5.1-FINAL-compressed.pdf.

[16] *Ibid*. Penulis mengolah data yang disampaikan dalam bentuk tabel pada halaman 131-132 dari artikel tersebut menjadi gambar.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Selisih tersebut tidaklah mengherankan mengingat:

1. KEN secara eksplisit masih menyebut keutamaan penggunaan batubara untuk memenuhi target rasio elektrifikasi;[17]
2. Tidak terdapat mekanisme yang jelas untuk memastikan bahwa kebijakan pelaksana yang tingkatnya lebih rendah dari KEN tunduk terhadap instrumen hukum induknya, khususnya dalam menentukan jumlah tenaga yang direncanakan untuk tiap koridor;[18]
3. Melebihi pertimbangan lain kelestarian lingkungan hidup, RUPTL disusun sebagai strategi usaha PLN yang berpedoman pada perolehan manfaat ekonomi;[19] dan
4. Visi PLN tidak memperhitungkan potensi EBT[20]

C. Pembangkit Listrik Tenaga Surya dalam Kerangka Kebijakan Energi

Seperti halnya pembangkit dengan sumber tenaga lain, RUPTL hanya mengatur PLTS yang dibangun untuk kepentingan umum. PLTS yang dimaksud adalah proyek berskala besar yang dibangun sebagai industri penjualan tenaga listrik kepada transmisi PLN untuk kemudian didistribusikan kepada pelanggan umum. PLTS Atap tidak termasuk dalam kapasitas yang direncanakan dalam RUPTL karena sifatnya yang swasembada dan mengikuti kebutuhan dan kemampuan si pemilik.

---

[17] *Ibid*., hlm. 122.

[18] *Ibid*., hlm. 133. RUEN mengidentifikasi potensi suplai tenaga listrik dari PLTS sebesar 207GW atau sekitar 1035 kali dari rencana yang dituangkan dalam RUKN.

[19] Indonesia, *Op. Cit*., RUPTL PLN 2019-2028, hlm. II-2 - II.11, *2.2. Strategi Pengembangan Kapasitas Pembangkit*, PLN secara gamblang menyebut prinsip pengadaan adalah dengan biaya penyediaan listrik terendah (*least cost*). Pembangkit EBT "*..'didorong' namun dengan tetap mempertimbangkan keekonomian (efisiensi harga)*..". Khususnya untuk PLTS, PLN mengutip kebijakan ESDM pada Peraturan Menteri ESDM Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik yang menetapkan pagu 85% dari Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan (BPP) setempat oleh pembangkit PLN untuk tarif pembelian listrik dari PLTSA. Secara efektif, ESDM memastikan PLTSA tidak dapat bersaing secara ekonomis dengan PLN. Hal ini konsisten dengan kebijakan RUPTL yang menekankan penghindaran kenaikan BPP akibat harga listrik dari energi terbarukan (hlm. III.15) yang dikhawatirkan dapat menyebabkan penurunan *demand* listrik pelanggan PLN (hlm. II-1).

[20] *Ibid*., hlm. II-30 - II-31, *2.7. Strategi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)*. Meskipun PLN menyatakan dirinya sebagai 'bagian dari' komitmen Pemerintah dalam *Paris Agreement*, tidak terlihat upaya nyata dari PLN untuk melakukan pengurangan GRK secara signifikan mengingat (a) strategi PLN masih mengandalkan teknologi PLTU Batubara yang 'ramah lingkungan', dan (b) pengutamaan pengembangan EBT pada bagian perencanaan dalam RUPTL yang bersangkutan (misal: RUPTL hlm. III-14, *Tabel 3.2 Rencana Pengembangan Pembangkit EBT (MW)*, yang menempatkan target pembangunan pembangkit EBT pada laju yang sangat rendah dibandingkan dengan potensinya seperti ditunjukkan pada *Tabel 3.1 Potensi Energi Baru dan Terbarukan*.) Untuk ulasan lebih jauh mengenai disparitas perencanaan pembangkit EBT vs fosil lihat: Grita, *Op. Cit*., hlm. 129-133.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pembangkit listrik untuk kepentingan sendiri lazim ditemukan pada perusahaan pertambangan atau manufaktur yang membutuhkan energi listrik yang besar. Alasan keekonomian atau lokasi pertambangan yang terpencil, belum tersedianya listrik dari PLN, terkadang memberikan inisiatif kepada perusahaan-perusahaan tersebut untuk membangun sendiri pembangkit listriknya dan memasang sendiri instalasi penyaluran tenaga sesuai rancangan fasilitas yang bersangkutan. Pemerintah (ESDM), gubernur atau bupati memberi izin sebelum pembangunan pembangkit yang bersangkutan dapat dilakukan[21] berdasarkan kelengkapan persyaratan seperti kelaikan desain dan studi dampak lingkungan. Seringkali pembangkit listrik untuk kepentingan sendiri menghasilkan tenaga listrik yang melebihi kapasitas yang dibutuhkan untuk menjalankan operasional industri yang bersangkutan (*excess power*). Demi menyokong rasio elektrifikasi terhadap masyarakat luas, Pemerintah memperbolehkan produsen *captive power* untuk menjual kelebihan tenaga tersebut dan dimanfaatkan bagi kepentingan umum dengan persetujuan sebelumnya dari Kementerian ESDM atau kepala daerah.[22] Dalam hal pembangkit menggunakan energi terbarukan, ESDM mengharuskan PLN untuk membeli kelebihan tenaga tersebut dengan memperhatikan kebijakan energi nasional dan rencana umum ketenagalistrikan.[23]

III. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral terkait Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT PLN

A. Kebijakan Baru yang Memberatkan

Peraturan ESDM No. 49 Tahun 2018, sebagaimana diubah dalam Peraturan ESDM No. 13 Tahun 2019 (Permen ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN) diterbitkan sebagai implementasi mandat Pemerintah bagi PLN untuk membeli *excess power* dari PLTS Atap milik pelanggan PLN. Dalam bagian pertimbangan dari

[21] Kewenangan Bupati dalam memberikan izin pembangunan berdasarkan Undang-Undang Ketenagalistrikan secara implisit dicabut dengan Indonesia, *Undang-Undang Pemerintahan Daerah*, UU No. 23 Tahun 2014, LN No. 244 Tahun 2014, TLN No. 5587 tidak lagi menempatkan kewenangan tersebut pada level Kabupaten. Rujuk penjelasan pada catatan kaki 33 dan 38 mengenai kewenangan Bupati dalam memberi izin pembangkit listrik pasca diundangkannya Undang-Undang Pemerintahan Daerah.

[22] Indonesia, *Op. Cit.*, Undang-Undang Ketenagalistrikan, Ps. 23 (3).
Indonesia, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik*, Peraturan No. 50 Tahun 2017, BN No. 1107 Tahun 2017, Pasal. 2.

[23] Indonesia, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)*, Peraturan No. 49 Tahun 2018 (Peraturan ESDM No. 49 Tahun 2018, sebagaimana diubah dalam Peraturan Menteri ESDM No. 13 Tahun 2019), BN No. 1525 Tahun 2018, Pertimbangan (a).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

peraturan yang bersangkutan,[24] dan paparan ESDM,[25] tujuan instalasi PLTS Atap adalah untuk penghematan biaya rekening pelanggan PLN. Pemerintah menentukan sejumlah norma baru bagi instalasi dan pembelian *excess power* dari PLTS Atap:

1. Kewajiban memperoleh izin instalasi dari PLN;
2. Kapasitas maksimal ditentukan sebesar 100% dari daya tersambung PLN;
3. Besaran *excess power* yang dibeli oleh PLN dari PLTS Atap adalah 65% dari nilai nyata kelebihan tenaga yang tercatat pada meteran PLN; dan
4. Kewajiban bagi pelanggan PLN kategori industri yang hendak menggunakan PLTS Atap untuk membayar biaya kapasitas (*capacity charge*).

Ditinjau dari kebijakan yang berlaku terhadap PLTS Atap sebelum peraturan ini berlaku, tampaknya Pemerintah melupakan amanat undang-undang Ketenagalistrikan untuk memberi pengutamaan terhadap sumber energi baru dan terbarukan. Diskriminasi terhadap perlakuan pembelian *excess power* dari PLTS Atap dibanding dengan pembangkit lain termasuk yang berbahan bakar fosil terlihat secara gamblang dari pembatasan kapasitas terpasang dan besaran pembelian, serta pengenaan biaya tambahan. Keseluruhan ketentuan tersebut baru diperkenalkan dalam Permen ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN. Sebelumnya, pelanggan *on-grid* hanya cukup mendapatkan sertifikat laik operasi dari PLN sebelum pengoperasian. Dengan berbagai aturan baru ini, pelanggan PLN yang hendak memasang PLTS Atap menjadi sangat dirugikan. Asosiasi pelanggan dan produsen komersial telah menyatakan keberatannya terhadap aturan-aturan tersebut, dan beberapa PLTS Atap rumahan memutuskan untuk tidak lagi menjadi

[24] Peraturan Menteri ESDM ini telah diubah melalui: (i) Indonesia, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Perubahan atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), Peraturan No. 13 Tahun 2019, BN No. 1020 Tahun 2019, yang mengubah batas kapasitas produksi listrik yang wajib memperoleh sertifikat laik operasi mengikuti ketentuan Peraturan ESDM lainnya (Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 12 Tahun 2019 tentang Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik untuk Kepentingan Sendiri yang Dilaksanakan berdasarkan Izin Operasi); dan (ii) Indonesia, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), Peraturan No. 16 Tahun 2019, BN No. 1179 Tahun 2019, yang mengganti besaran pengali biaya kapasitas (*capacity charge*) dan meniadakan pengenaan biaya pembelian energi listrik darurat (*emergency charge*) bagi konsumen PLN kelas industri.

[25] Tim Komunikasi ESDM, "Narasi Tunggal: Pasang PLTS Atap, Tagihan Listrik Lebih Hemat," https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/narasi-tunggal-pasang-plts-atap-tagihan-listrik-lebih-hemat, diakses tanggal 31 Agustus 2019.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pelanggan PLN (*off-grid*) dengan membeli baterai penyimpan kelebihan tenaga untuk memenuhi kebutuhan *intermittent* listriknya. Biaya instalasi PLTS Atap dengan baterai dilaporkan mencapai 50% lebih mahal dari biaya instalasi normal.[26] Perizinan administratif yang harus diajukan sebelum instalasi dengan melibatkan sejumlah institusi ketenagalistrikan terdaftar memberatkan pelanggan dan berpotensi meningkatkan lagi harga instalasi. Dengan disinsentif demikian, makin sedikit jumlah konsumen yang mampu beralih ke PLTS Atap.

B. Permasalahan Hukum dalam Peraturan Menteri ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN

1. Kedudukan dan Fungsi PLN sebagai Pemberi Izin

Pertanyaan pertama yang timbul dari Permen ESDM tersebut adalah mengenai kedudukan PLN ditinjau dari kewenangan pemberian izin pembangunan PLTS Atap yang diwajibkan Pasal 10 ayat (1). Monopoli Negara terhadap bidang usaha yang menguasai hajat hidup orang banyak sesuai dengan Pasal 33 Undang-undang Dasar (UUD) tidak dapat diterjemahkan untuk dinikmati secara otomatis oleh PLN. Dalam bidang penyediaan tenaga listrik, Undang-undang Ketenagalistrikan memastikan kedudukan usaha penyediaan tenaga listrik sebagai salah satu cabang usaha sebagaimana dimaksud Pasal 33 UUD, dan menekankan kewenangan penyelenggaraan Pemerintah untuk usaha penyediaan tersebut.[27]

Kewenangan penyelenggaraan penyediaan tenaga listrik Pemerintah secara garis besar melingkupi kewenangan penetapan kebijakan, pengaturan, pengawasan, dan melaksanakan usaha penyediaan tenaga listrik.[28] Kewenangan penetapan kebijakan, pengaturan dan

---

[26] Stefanno Reinard Sulaiman, "New solar panel regulation discourages public use," https://www.thejakartapost.com/news/2019/02/22/new-solar-panel-regulation-discourages-public-use.html, diakses tanggal 16 Agustus 2019.

[27] Indonesia, Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia, Pasal 33 mengenai Kesejahteraan Sosial menyatakan bahwa: *(1) Perekonomian disusun sebagai usaha bersama berdasar atas asas kekeluargaan. (2) Cabang-cabang produksi yang penting bagi negara dan yang menguasai hajat hidup orang banyak dikuasai oleh negara. (3) Bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung didalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat.*

Indonesia, *Op. Cit.*, Undang-Undang Ketenagalistrikan, Penjelasan Umum Paragraf 2: "*Mengingat arti penting tenaga listrik bagi negara dalam mewujudkan kesejahteraan masyarakat dalam segala bidang dan sejalan dengan ketentuan dalam Pasal 33 ayat (2) Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945, Undang-Undang ini menyatakan bahwa usaha penyediaan tenaga listrik dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat yang penyelenggaraannya dilakukan oleh Pemerintah dan pemerintah daerah.*"

[28] *Ibid*, Pasal. 3(2).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pengawasan penyediaan ketenagalistrikan tetap dipegang oleh Pemerintah dan pemerintah daerah yang pada praktiknya meliputi:

a. penetapan izin usaha penyediaan tenaga listrik (bagi pemilik pembangkit untuk kepentingan umum);
b. penetapan izin operasi (bagi pemilik pembangkit untuk kepentingan sendiri); dan
c. penetapan persetujuan penjualan kelebihan tenaga listrik dari pemegang izin operasi.[29]

Sedangkan, pelimpahan kewenangan kepada PLN (atau BUMD yang dapat ditunjuk Pemerintah Daerah) hanyalah pada bidang pelaksanaan usaha tenaga listrik.[30] Sesuai dengan Pasal 10 ayat (1) Undang-undang Ketenagalistrikan, lingkup usaha PLN sebagai BUMN yang ditunjuk oleh Pemerintah sebagai penyelenggara penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum hanyalah meliputi:

a. pembangkitan tenaga listrik;
b. transmisi tenaga listrik;
c. distribusi tenaga listrik; dan/atau
d. penjualan tenaga listrik.

Dengan demikian, dapat terlihat dalam Undang-undang Ketenagalistrikan bahwa penugasan PLN tidak termasuk pemberian perizinan sebagaimana diatur oleh Permen ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN Sebaliknya, Undang-undang Ketenagalistrikan tidak mengizinkan Pemerintah untuk memberikan kewenangan tersebut kepada PLN karena batasan lingkup kewenangan PLN pada Pasal 4 ayat (1) hanya meliputi "pelaksanaan kegiatan usaha" dan sifat kegiatannya sangat spesifik untuk pengusahaan seperti yang telah dijabarkan Pasal 10 tersebut. Wewenang lain Pemerintah berupa "penetapan kebijakan", "pengaturan", dan "pengawasan" tidak turut didelegasikan dalam undang-undang Ketenagalistrikan. Konsekuensinya, Pemerintah tidak berwenang untuk menugaskan PLN melaksanakan fungsi-fungsi tersebut meskipun penugasan dilakukan melalui Permen ESDM tersebut. Secara teori peraturan perundang-undangan, Permen ESDM tersebut melanggar dasar hukum penerbitannya karena penugasan tersebut tidak diizinkan UUD dan Undang-undang Ketenagalistrikan yang secara tegas membatasi lingkup fungsi badan usaha sebagai pelaksana penyediaan tenaga listrik.[31]

---

[29] *Ibid*, Pasal. 5.

[30] *Ibid*, Pasal. 4(1): "*Pelaksanaan usaha penyediaan tenaga listrik oleh Pemerintah dan pemerintah daerah dilakukan oleh badan usaha milik negara dan badan usaha milik daerah.*"

[31] Zaka Firma Aditya dan M. Reza Winata, "Rekonstruksi Hierarki Peraturan Perundang-undangan di Indonesia", *Negara Hukum: Membangun Hukum untuk Keadilan dan Kesejahteraan*, Vol. 9, No. 1 (2018),

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2. Pengenalan Rezim Perizinan Baru tanpa Dasar Hukum

Ditinjau dari sifat perizinan yang disyaratkan Permen ESDM sebagaimana disebut di atas, ESDM juga tampak telah menciptakan kategori perizinan baru yang tidak didasarkan pada Undang-undang Ketenagalistrikan. Peraturan Menteri tidak diperkenankan untuk bertentangan dengan peraturan landasannya. Bahkan, UU Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan menjelaskan bahwa kekuatan mengikat dari peraturan menteri hanya sepanjang diperintahkan oleh Peraturan Perundang-undangan yang lebih tinggi atau dibentuk berdasarkan kewenangan.[32]

Dalam Undang-undang Ketenagalistrikan dan PP Nomor 14 Tahun 2012 tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik, hanya dikenal dua macam izin pembangunan fasilitas pembangkit listrik, yaitu Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL) yang ditujukan bagi pembangkit listrik untuk kepentingan umum, dan Izin Operasi (IO) untuk pembangkit listrik untuk kepentingan sendiri dengan kapasitas tertentu. Kedua izin tersebut disyaratkan sebelum pembangunan pembangkit dapat dilakukan, hingga sifatnya mirip dengan izin PLTS Atap yang disyaratkan Pasal 10 ayat (1) Permen ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN.

Ketentuan umum yang berlaku terhadap segala jenis pembangkit listrik untuk kepentingan sendiri dengan kapasitas sampai dengan 500 kVA[33] adalah bahwa pemilik tidak perlu mendapatkan IO ataupun SLO, dan hanya perlu menyampaikan laporan kepada Kementeri-

---

hlm. 81. Mengutip Retno Saraswati dalam "Perkembangan Pengaturan Sumber Hukum dan Tata Urutan Perundang-undangan di Indonesia", *Media Hukum*, Vol. IX, No. 2, April-Juni 2009, hlm. 1, antara lain menyebut bahwa tata urutan atau hierarki peraturan perundang-undangan memiliki makna bahwa: "*(a) Peraturan hukum atasan merupakan dasar hukum pembentukan peraturan hukum bawahan, (b) Peraturan hukum bawahan merupakan pelaksanaan peraturan hukum atasan, oleh karena itu kedudukannya lebih rendah dan materi muatannya tidak boleh bertentangan*."

[32] Indonesia, *Undang-Undang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan,* UU No. 12 Tahun 2011, LN No. 82 Tahun 2011, TLN No. 5234, sebagaimana diubah dengan Indonesia, *Undang-Undang tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan*, UU No. 15 Tahun 2019, LN No. 183 Tahun 2019, TLN No. 6398, Pasal 8(2). Selanjutnya, menurut Penjelasan Pasal 8(2):

"*Yang dimaksud 'berdasarkan kewenangan' berarti penyelenggaraan urusan tertentu pemerintahan sesuai dengan ketentuan Peraturan Perundang-undangan*."

Sekali lagi, peraturan menteri tidak dibenarkan untuk melakukan fungsi pengaturan (*beleid*) tanpa adanya dasar pemberian kewenangan untuk melakukan hal tersebut seperti mandat Undang-Undang. Lihat: Zaka Firma Aditya dan M. Reza Winata, *Op. Cit.,* hlm. 95.

[33] Kapasitas pembangkit untuk kepentingan sendiri yang wajib memperoleh IO dan SLO baru saja dinaikkan dengan Peraturan ESDM No. 13 Tahun 2019, sedangkan sebelumnya pembangkit untuk kepentingan sendiri yang berkapasitas >200 kVA wajib memperoleh IO dan SLO.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

an ESDM cq. Direktur Jenderal Ketenagalistrikan atau Gubernur. Sedangkan untuk pembangkit dengan kapasitas >500 kVA pemilik diwajibkan memperoleh IO, baik dari Kementerian ESDM atau Pemerintah Daerah.[34]

IO diberikan kepada pembangkit untuk kepentingan sendiri dengan persyaratan yang lebih rendah dari IUPTL untuk kepentingan umum. Di samping persyaratan dasar yang berlaku untuk IO maupun IUPTL seperti data administratif, kajian teknis dan lingkungan, IUPTL untuk pembangkit listrik yang diberikan kepada pembangkit milik swasta (IPP) mensyaratkan adanya studi kelayakan usaha untuk IPP yang bersangkutan, perjanjian pembelian tenaga listrik (*power purchase agreement* - PPA) yang telah ditandatangani antara IPP dengan pembeli tenaga listrik (*off-taker* - dapat berupa PLN atau perusahaan lain yang memerlukan suplai eksklusif dari pembangkit), dan terlebih lagi diperlukan adanya sinergi antara pembangkit dengan RUPTL sehingga diperlukan kajian khusus untuk menentukan kapasitas penyediaan oleh PLN dan rencana penyambungan kepada jaringan distribusi PLN.[35]

Di samping IUPTL dan IO, "izin" yang berlaku umum terhadap seluruh instalasi ketenagalistrikan (termasuk jaringan transmisi, distribusi, dan instalasi listrik konsumen) adalah Sertifikat Laik Operasi (SLO) yang berlaku termasuk untuk PLTS Atap demi menjamin keamanan fasilitas yang bersangkutan. Sebelum pemberlakuan Permen ESDM tersebut, tidak dikenal konsep izin tersendiri yang harus diterbitkan sebelum perorangan maupun pelaku usaha dapat memasang PLTS Atap. SLO, yang masih diwajibkan dalam Peraturan tersebut, diterbitkan setelah instalasi rampung dan dapat diuji coba.

Patut digarisbawahi bahwa tidak satu pun dari IUPTL atau IO dapat diterbitkan oleh PLN. Kewenangan untuk menerbitkan izin tetap ada pada Pemerintah Pusat yang dalam hal ini adalah Kementerian ESDM ataupun Pemerintah Daerah, sedangkan kedudukan PLN dalam Undang-undang Ketenagalistrikan dan Peraturan Pemerintah tentang Penyediaan Tenaga Listrik sangat jelas hanya semata sebagai subjek pemegang IUPTL. SLO sendiri diberikan ESDM, gubernur atau bupati/walikota setelah dilakukan pemeriksaan dan pengujian

[34] Indonesia, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, *Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Sendiri Yang Dilaksanakan Berdasarkan Izin Operasi*, Peraturan No. 29 Tahun 2012, BN No. 1255 Tahun 2012, Pasal 2 (1).

[35] Indonesia, *Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik*, Peraturan Pemerintah No. 14 Tahun 2012, LN No. 28 Tahun 2012, TLN 5281, Bab II Bagian Kedua (Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Umum) dan Bagian Ketiga (Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Sendiri).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

oleh lembaga inspeksi teknis yang terakreditasi oleh ESDM.[36]

3. Kewenangan ESDM dalam Pemberian Penugasan

Permasalahan hukum pun muncul berkaitan dengan penugasan terhadap PLN dari ESDM untuk memberi izin PLTS Atap. Wewenang Pemerintah Pusat (ESDM) menurut Undang-undang Ketenagalistrikan yang dapat dilimpahkan kepada PLN terbatas pada fasilitas ketenagalistrikan tertentu saja. Seperti penjabaran Pasal 5 ayat (1) Undang-undang Ketenagalistrikan, Pemerintah (ESDM) berwenang memberi IUPTL dan IO dalam hal:

a. Badan usaha merupakan BUMN atau wilayah usahanya lintas provinsi;
b. Pembangkit terhubung dengan jaringan lintas provinsi;
c. Pembangkit merupakan usaha penanaman modal asing; atau
d. Pembangkit menjual kelebihan tenaga kepada jaringan nasional.

Potensi cakupan wewenang pemerintah daerah sangatlah luas dalam PLTS Atap mengingat sifatnya yang swasembada dan pada umumnya dipergunakan untuk kepentingan sendiri atau, kalaupun diusahakan, pengusahaannya yang berskala relatif kecil dan tidak dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional. [37]

Prinsip otonomi daerah menjamin kewenangan pemerintah daerah untuk menentukan arah kebijakan pengusahaan dalam batasan wilayah administratifnya.[38] Otonomi ini diperlukan untuk

[36] *Ibid.*, Pasal 46.

[37] Menjadi pertanyaan terpisah apakah pemberian izin dalam hal PLTS Atap dalam area kabupaten menjadi kewenangan Bupati karena adanya konflik antara Undang-Undang Ketenagalistrikan dengan Undang-Undang Pemerintah Daerah yang tidak lagi memberikan kewenangan pemberian izin pembangkit kepada Bupati (meskipun pembagian tersebut tidak spesifik diberlakukan terhadap PLTS Atap). Mahkamah Konstitusi dalam Putusan Nomor 11/PUU-XIV/2016 mengenai kewenangan pemberian izin pemanfaatan panas bumi (Pemerintah Provinsi Jawa Timur vs Pemerintah Republik Indonesia) memutuskan bahwa sifat energi panas bumi yang tidak bisa secara mudah didelineasi ke dalam batasan wilayah administratif membenarkan pemusatan kewenangan perizinan kepada Pemerintah RI berdasarkan Undang-Undang Pemerintah Daerah, meskipun Undang-Undang Panas Bumi No. 21 Tahun 2014 (sebagaimana Undang-Undang Ketenagalistrikan) memberikan kewenangan perizinan kepada Pemerintah Provinsi. Akan sulit membenarkan posisi tersebut (menarik kuasa perizinan dari pemerintah daerah ke Pemerintah Pusat dan, sebagai konsekuensi, membenarkan pemberian penugasan melalui Peraturan ESDM kepada PLN untuk memberikan izin dalam segala skenario pembangunan PLTS Atap) dalam kasus PLTS Atap karena (1) energi surya tidak mengenal batas ketersediaan dalam satu wilayah dan tidak memerlukan ekstraksi sehingga membutuhkan koordinasi khusus oleh Pemerintah Pusat seperti dalam kasus panas bumi, dan (2) Penarikan wewenang dalam skenario ini dilakukan hanya melalui level peraturan menteri karena Undang-Undang Ketenagalistrikan tidak mengenal perizinan untuk PLTS Atap (rujuk *Bagian III.C.2. Pengenalan Rezim Perizinan Baru tanpa Dasar Hukum* diatas).

[38] Hal ini juga ditegaskan oleh Undang-Undang Ketenagalistrikan yang dalam Penjelasan Umum Paragraf 3 menjelaskan: "*Sesuai dengan prinsip otonomi daerah, Pemerintah atau pemerintah daerah sesuai dengan kewenangannya menetapkan izin usaha penyediaan tenaga listrik.*"

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

menjamin terselenggaranya pemerintahan daerah yang kebijakannya memenuhi kebutuhan masyarakat setempat dan menghormati kearifan lokal dan tidak semata-mata menjalankan kebijakan Pemerintah pusat.

Dengan demikian, sebagaimana dijamin oleh UUD[38] serta asas pembentukan peraturan perundang-undangan yang baik[39], kepala pemerintahan daerah sendirilah yang berwenang untuk menugaskan badan usaha atau instansi lainnya untuk menjalankan fungsinya. Prinsip ini juga tertuang secara tegas dalam Undang-undang Ketenagalistrikan yang memisahkan kewenangan penyelenggaraan penyediaan tenaga listrik kepada tiap-tiap unit Pemerintahan Pusat, Provinsi, dan Kabupaten/Kota setara sesuai dengan luasan pengusahaan dan ketersambungan pembangkit dengan jaringan. Pelaksanaan fungi pemerintahan melalui penugasan kepada instansi usaha milik pemerintah lazim dilakukan secara mandiri oleh Pemerintah Daerah melalui peraturan gubernur atau peraturan bupati seperti yang dilakukan oleh Gubernur DKI Jakarta kepada Perusahaan Daerah untuk penyelenggaraan fasilitas pengolahan sampah antara di dalam kota.[40]

Untuk merealisasikan kewenangan PLN dalam memberi izin PLTS Atap seperti diinginkan Pasal 10 ayat (1) Permen ESDM tersebut, seyogyanya (a) satu per satu Gubernur dan Bupati harus menerbitkan peraturan yang menunjuk PLN untuk melaksanakan kewenangan perizinan mereka berdasarkan Undang-undang Ketenagalistrikan, atau (b) Undang-undang Ketenagalistrikan menciptakan kewenangan perizinan baru untuk pembangunan PLTS Atap dan menetapkan Pemerintah Pusat sebagai

[38] Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia (sebagaimana diamandemen) Pasal 18 (5) mengatakan hanya undang-undang yang dapat menetapkan urusan pemerintahan sebagai urusan Pemerintah Pusat.

[39] Sebagaimana diatur dalam Pasal 5 Undang-Undang No. 12 Tahun 2011 yang dalam penjelasannya mensyaratkan peraturan perundang-undangan untuk dibentuk dengan memperhatikan asas kelembagaan atau pejabat pembentuk yang tepat dan asas kesesuaian antara jenis, hierarki, dan materi muatan:

"Huruf b

Yang dimaksud dengan "asas kelembagaan atau pejabat pembentuk yang tepat" adalah bahwa setiap jenis Peraturan Perundang-undangan harus dibuat oleh lembaga negara atau pejabat Pembentuk Peraturan Perundang-undangan yang berwenang. Peraturan Perundang-undangan tersebut dapat dibatalkan atau batal demi hukum apabila dibuat oleh lembaga negara atau pejabat yang tidak berwenang.

Huruf c

Yang dimaksud dengan "asas kesesuaian antara jenis, hierarki, dan materi muatan" adalah bahwa dalam Pembentukan Peraturan Perundang-undangan harus benar-benar memperhatikan materi muatan yang tepat sesuai dengan jenis dan hierarki Peraturan Perundang-undangan."

[40] Daerah Khusus Ibukota Jakarta, *Penugasan kepada Perseroan Terbatas Jakarta Propertindo (Perusahaan Daerah) dalam Penyelenggaraan Fasilitas Pengolahan Sampah Antara di Dalam Kota*, Peraturan Nomor 65 Tahun 2019, Berita Daerah Nomor 73004 Tahun 2019.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pihak yang berwenang. Oleh karena itu, dengan memberi kewenangan umum kepada PLN untuk memberi izin instalasi PLTS Atap, ESDM melanggar lingkup kewenangannya dalam Undang-undang Ketenagalistrikan dan melanggar Undang-undang Dasar yang menjamin wewenang pemerintah daerah untuk melaksanakan fungsi pengaturan dalam wilayah administratifnya.

C. Insentif Persaingan Tidak Sehat

1. Lingkup Monopoli Ketenagalistrikan

Pembatasan kewenangan bagi PLN konsisten dengan transformasi bentuk BUMN-nya yang tadinya merupakan Perusahaan Umum (Perum) dengan misi pelayanan masyarakat menjadi Perusahaan Perseroan[41] dengan tujuan utamanya mendapatkan laba sebagaimana layaknya perseroan lain, meskipun sahamnya dimiliki oleh Negara. Sejak saat itu, PLN diperlakukan sebagai korporasi biasa dengan pengecualian bahwa PLN menerima penugasan dari Pemerintah (ESDM) untuk menyelenggarakan pengusahaan tenaga listrik untuk kepentingan umum.[42] Namun demikian, penugasan berdasarkan Undang-Undang Ketenagalistrikan tidak menutup kemungkinan adanya penyedia tenaga listrik swasta seperti terlihat dengan maraknya skema IPP yang kemudian menjual tenaga listrik yang dihasilkan ke PLN. Undang-Undang Ketenagalistrikan Pasal 4 ayat (2) secara jelas membuka kemungkinan tersebut, seperti ditegaskan kembali dalam Putusan Mahkamah Konstitusi Republik Indonesia Nomor 111/PUU-XIII/2015 bahwa pelaksanaan kegiatan usaha penyediaan tenaga listrik dapat dilakukan oleh swasta sepanjang tidak diartikan adanya erosi terhadap monopoli Negara terhadap bidang usaha penyediaan tenaga listrik.[43]

Monopoli ini diatur dengan Undang-undang dan dapat diselenggarakan oleh Pemerintah yang dapat menunjuk Badan Usaha Milik Negara yang bidang usaha-

---

[41] Indonesia, *Pengalihan Bentuk Perusahaan Umum (Perum) Listrik Negara Menjadi Perusahaan Perseroan (Persero)*, Peraturan Pemerintah No. 23 Tahun 1994, LN No. 34 Tahun 1999, Pasal 2 (penekanan frasa oleh penulis):

"Maksud dan tujuan Perusahaan Perseroan (PERSERO) sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 adalah:

Menyediakan tenaga listrik bagi kepentingan umum dan sekaligus memupuk keuntungan berdasarkan prinsip pengelolaan Perusahaan;"

[42] Rujuk pada bagian *III.B.1. Kedudukan dan Fungsi PLN sebagai Pemberi Izin* di atas.

[43] Dalam pertimbangannya, Mahkamah mengutip putusannya terdahulu (Putusan Nomor 001-021-022/PUU-I/2003) dalam membenarkan akses kepada swasta dalam pengusahaan ketenagalistrikan yang pendapatnya antara lain berbunyi sebagai berikut:

"*Dengan demikian, Mahkamah berpendapat, ketentuan Pasal 33 UUD 1945 tidaklah menolak privatisasi, sepanjang privatisasi itu tidak meniadakan penguasaan oleh negara c.q. Pemerintah sebagai penentu utama kebijakan usaha dalam cabang produksi yang penting bagi negara dan/atau menguasai hajat hidup orang banyak. Pasal 33 UUD 1945 juga tidak menolak ide kompetisi di antara para pelaku usaha, sepanjang kompetisi itu tidak*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

nya sesuai.[44] Namun demikian, berdasarkan penjelasan Pasal 51 Undang-undang Nomor 5 Tahun 1999 Tentang Larangan Praktik Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat (Undang-undang Persaingan Usaha), pengecualian terhadap BUMN dari larangan monopoli tidak dimaksudkan untuk melarang adanya kompetisi dari kalangan swasta, bahkan pelaku usaha asing, melainkan untuk memastikan terpenuhinya kebutuhan pokok bagi seluruh masyarakat. Pengecualian terhadap larangan monopoli yang diberikan kepada negara untuk dilaksanakan oleh BUMN harus dilakukan secara efisien serta tidak mengakibatkan praktik monopoli dan atau persaingan usaha tidak sehat.[45]

2. *Entry Barrier* bagi PLTS Atap dan Kewenangan PLN

Permen ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN telah melanggar prinsip anti monopoli karena peraturan tersebut secara efektif memberlakukan larangan masuk (*entry barrier*) bagi usaha swasta - termasuk kecil dan menengah - dalam pengadaan PLTS Atap dengan mengharuskan adanya perizinan dari PLN. Pun diizinkan oleh PLN, kapasitas terpasang PLTS Atap tidak boleh melebihi kapasitas terpasang PLN pada fasilitas pelanggan yang bersangkutan.[46] Tidak terdapat alasan teknis mengapa larangan ini diberlakukan karena prinsip dari prosumen (produsen-konsumen sebagaimana dijelaskan sebagai visi Listrik 4.0 Pemerintah dalam RUKN 2019-2038)[47] memang menghendaki adanya prinsip jual beli tenaga listrik antar konsumen.

PLTS Atap pada umumnya dibangun untuk kepentingan sendiri. Asumsi bahwa PLTS Atap yang terhubung kepada jaringan distribusi (*grid*) PLN akan

---

*meniadakan penguasaan oleh negara yang mencakup kekuasaan mengatur (*regelendaad*), mengurus (*bertuursdaad*), mengelola (*beheersdaad*), dan mengawasi (*toezichthoudensdaad*) cabang-cabang produksi yang penting bagi negara dan/atau yang menguasai hajat hidup orang banyak untuk tujuan sebesar-besarnya kemakmuran rakyat."*

[44] Indonesia, Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat, UU No. 5 Tahun 1999, LN No. 3 Tahun 1999, TLN No. 3817, Pasal 51*:*

"Monopoli dan atau pemusatan kegiatan yang berkaitan dengan produksi dan atau pemasaran barang dan atau jasa yang menguasai hajat hidup orang banyak serta cabang-cabang produksi yang penting bagi negara diatur dengan Undang-undang dan diselenggarakan oleh Badan Usaha Milik Negara dan atau badan atau lembaga yang dibentuk atau ditunjuk oleh Pemerintah."

[45] Indonesia, Komisi Pengawas Persaingan Usaha, Pedoman Pelaksanaan Ketentuan Pasal 51 Undang-Undang No. 5 Tahun 1999 Tentang Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat, Peraturan No. 3 Tahun 2010. Praktik monopoli sendiri diartikan oleh Undang-Undang Persaingan Usaha sebagai pemusatan kekuatan ekonomi oleh satu atau lebih pelaku usaha yang mengakibatkan dikuasainya produksi dan atau pemasaran atas barang dan atau jasa tertentu sehingga menimbulkan persaingan usaha tidak sehat dan dapat merugikan kepentingan umum. Indonesia, *Op. Cit.*, Undang-Undang Persaingan Usaha, Pasal 1.2.

[46] Peraturan ESDM No. 49 Tahun 2018, sebagaimana diubah, *Op. Cit.*, Pasal 5(1).

[47] RUKN, *Op. Cit.*, hlm. 88-89.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

diperuntukkan bagi penjualan *excess power* kepada PLN adalah tidak berdasar. Sebelum Peraturan ESDM No. 49 Tahun 2018, sebagaimana diubah, PLTS Atap bahkan tidak diperbolehkan untuk menjual kelebihan tenaga kepada PLN karena tarifnya belum ditentukan; yang umum terjadi adalah pemilik pembangkit mempergunakan panel surya untuk kepentingan sendiri tanpa perlu meminta izin instalasi. Peran Pemerintah hanya terbatas pada pemberian SLO untuk memastikan kelaikan teknis pembangkit yang bersangkutan dalam hubungannya dengan jaringan PLN yang akan menyuplai cadangan listrik dalam hal *intermittent supply* (ketidakstabilan tenaga listrik untuk penggunaan konsumen karena PLTS Atap tidak menghasilkan energi secara terus-menerus (*continuous supply*).[48] Usaha kemandirian energi ini terancam kelangsungannya karena pemilik harus memperoleh izin sebelum instalasi PLTS Atap apabila masih mau terhubung dengan *grid* PLN.[49] Terlebih lagi, ESDM tidak mempertimbangkan konsep PLTS Atap yang bisa menyimpan kelebihan energi seperti dengan sistem penyimpanan dalam baterai untuk kemudian dipergunakan sebagai cadangan saat terjadi *intermittent supply* atau *down time* yang artinya PLTS Atap tersebut tidak menghendaki penjualan kelebihan tenaga kepada *grid* PLN. Ditinjau secara keseluruhan, pemasangan PLTS Atap membawa beragam kesulitan bagi pemiliknya dan mengurangi potensi keekonomian dari investasi besar yang harus dilakukan di muka mengingat harga panel surya dan biaya instalasinya di Indonesia yang masih terbilang mahal.

Apabila dibenarkan adanya *entry barrier*, Undang-Undang Persaingan Usaha mengharuskan penugasan terhadap BUMN dilakukan secara jelas melalui Undang-undang.[50] Ditinjau dari Undang-undang Ketenagalistrikan[51], nyata adanya bahwa penugasan terhadap PLN tidak meliputi pemberian izin untuk PLTS Atap atau pembangkit lain secara

[48] PT PLN (Persero), *Pedoman Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Ke Sistem Distribusi PLN,* Keputusan Direksi No. 0357.K/DIR/2014, Tanggal 22 Juli 2014.

[49] Peraturan ESDM No. 49 Tahun 2018, sebagaimana diubah dalam Peraturan ESDM Nomor 13 Tahun 2019 juga menetapkan persyaratan baru kepada pemilik PLTS Atap yang tidak terkoneksi dengan PLN (*off-grid*) untuk menyampaikan laporan kepada Dirjen EBTKE (Pasal 15(2). Pemilik PLTS Atap sektor industri yang terhubung dengan PLN akan dikenakan pembayaran khusus berupa *capacity charge* bagi pemakaian listrik PLN untuk menutupi defisit tenaga listrik, terlepas apakah fasilitas yang bersangkutan hendak menjual *excess power*-nya kepada PLN (Pasal 14(2).

[50] Indonesia, Komisi Pengawas Persaingan Usaha, *Op. Cit.*, Bab II Unsur-Unsur Dalam Pasal 51 UU Nomor 5 Tahun 199 dan Penjabarannya, unsur (4) Diatur dengan Undang-undang, yang antara lain menyatakan bahwa monopoli dalam konteks Pasal 51 Undang-Undang Persaingan Usaha "*…hanya dapat dilakukan setelah diatur terlebih dahulu dalam bentuk undang-undang (bukan peraturan perundang-undangan di bawah undang-undang*)." (Penekanan frasa oleh penulis.)

[51] Rujuk pada bagian *III.B.1. Kedudukan dan Fungsi PLN sebagai Pemberi Izin* diatas.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

umum sehingga perlu dipertanyakan apakah pengecualian dari penerapan prinsip anti monopoli berdasarkan Pasal 51 Undang-undang Persaingan Usaha dapat dibenarkan dalam konteks ini dan apakah Undang-undang Persaingan Usaha membenarkan adanya penugasan dalam bidang perizinan karena wewenang ini tidak termasuk lingkup pengusahaan sebagaimana dimaksudkan Pasal 51 Undang-undang Persaingan Usaha.

3. Konflik Kepentingan PLN dan Diskriminasi Tarif

Absen adanya pengecualian yang sah dari larangan anti monopoli dalam lingkup Pasal 51 Undang-undang Persaingan Usaha, wewenang PLN dalam Peraturan ESDM tersebut dapat ditafsirkan sebagai konflik kepentingan. Di satu sisi, PLN adalah pelaku usaha penyediaan tenaga listrik yang memegang IUPTL sebagaimana layaknya usaha pembangkit lain yang mencari laba, namun di lain pihak PLN diberi wewenang untuk memutuskan apakah pihak lain dibolehkan untuk membangun PLTS Atap yang berpotensi mengurangi pendapatan PLN. Tidaklah sulit membayangkan suatu skenario, di mana PLN yang tujuan utamanya mendapat laba, tidak memberi izin pendirian PLTS Atap kepada kalangan usaha swasta atau individu karena akan mengurangi porsi penerimaan tarif listrik PLN yang merupakan sumber utama pendapatannya.[52] Tendensi atas skenario tersebut tampak dalam bagian pertimbangan Permen ESDM tersebut yang menyatakan bahwa tujuan utama PLTS Atap adalah untuk penghematan pembayaran tenaga listrik bagi konsumen PLN. Betapa tidak lazimnya bahwa ESDM dapat berpraduga motivasi individu atau pelaku usaha dalam memutuskan untuk memiliki PLTS Atap; khususnya praduga ini menyampingkan motivasi pelestarian lingkungan yang sejatinya utama dalam pengembangan PLTS.[53] Dengan demikian PLN dalam mempertimbangkan permohonan izin akan bias terhadap segi keekonomian dari PLTS Atap, termasuk apakah PLTS yang bersangkutan akan menggantikan kebutuhan konsumen tersebut terhadap listrik PLN. Hal ini tidak saja bertentangan dengan prinsip Undang-undang Persaingan Usaha namun juga Undang-undang Ketenagalistrikan yang tidak menghendaki PLN menjadi satu-satunya pelaku usaha pengadaan listrik.[54]

---

[52] PT PLN (Persero), *Laporan Keuangan Konsolidasian Untuk Tahun-tahun yang Berakhir pada Tanggal 31 Desember 2018 dan 2017*, hlm. 4 menyatakan bahwa ~96% pendapatan PLN berasal dari pembayaran tarif listrik pelanggan. PLTS Atap yang di-swasembadakan oleh pelanggan PLN tentunya akan mengurangi ketergantungan terhadap listrik yang disediakan oleh PLN dan pada akhirnya juga mengurangi porsi pendapatan tersebut.

[53] Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2018, *Op. Cit.*, Pasal 2.

[54] Undang-Undang Ketenagalistrikan, *Op. Cit.*, Pasal 4 (2). Indonesia, Komisi Pengawas Persaingan Usaha, *Op. Cit.*, Bab III Simulasi Kasus Yang Terkait Dengan Pasal 51 UU Nomor 5 Tahun 1999, B. Kasus

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Selanjutnya dapat dilihat bahwa diskriminasi terhadap PLTS Atap juga tampak dalam aspek komersial pemasangan PLTS Atap. Pertama, penentuan besaran *excess power* yang diterima oleh PLN dan tarif bagi PLTS Atap dalam Peraturan ESDM tersebut. PLN hanya akan memperhitungkan 65% dari nilai kWh ekspor yang dihasilkan PLTS Atap sebagai *excess power*, yang kemudian selisihnya dengan penggunaan listrik dari PLN oleh pelanggan yang bersangkutan (kWh impor) yang akan dibeli oleh PLN. Kemudian bagi PLTS Atap yang dipasang oleh konsumen level industri, pengenaan *capacity charge* juga akan menjadi beban khusus bagi pelanggan. Lagi-lagi pertimbangan yang diberikan adalah karena PLTS Atap hanya digunakan untuk menghemat pembayaran rekening pelanggan. Ironis bahwa kebijakan ini bertentangan dengan perintah khusus Undang-undang Ketenagalistrikan yang mengharuskan keutamaan penggunaan energi terbarukan.

IV. Penutup

Dalam usaha memenuhi target Pemerintah untuk meningkatkan level bauran energi terbarukan, khususnya tenaga surya yang tersedia secara masif dan gratis, kebijakan yang terkandung dalam Permen ESDM terkait Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN harus ditinjau ulang. Insentif, atau setidaknya perlakuan yang non-diskriminatif, harus diberikan kepada pihak yang hendak beralih ke PLTS Atap dan berkontribusi pada keberlangsungan tenaga ramah lingkungan.

Bentuk dan isi peraturan yang diterbitkan juga harus memperhatikan kaidah pembentukan peraturan perundang-undangan untuk menghindari pertentangan dengan instrumen hukum lain, termasuk peraturan yang tingkatnya lebih tinggi, baik dalam kandungan materi yang sesuai ataupun pencabutan wewenang khusus bagi pemerintah daerah berdasarkan Undang-undang dan Konstitusi. Keberadaan PLN hanya sebagai BUMN penerima mandat usaha penyelenggaraan ketenagalistrikan tidak bisa diartikan melebihi wewenangnya dan lantas diberikan kuasa perizinan dan menimbulkan berbagai potensi perilaku persaingan usaha tidak sehat.

Monopoli yang mengarah pada Praktek Monopoli dan atau Persaingan Usaha Tidak Sehat yang membahas penunjukan langsung oleh BUMN menyatakan bahwa tindakan yang dilakukan oleh pemegang hak monopoli yang bertentangan dengan prinsip-prinsip persaingan usaha yang sehat tidak dikecualikan, termasuk ketika terjadi potensi tindakan yang menghambat persaingan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 19 Undang-Undang Persaingan Usaha (mengenai penguasaan pasar).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DAFTAR PUSTAKA

Peraturan Perundang-Undangan

Indonesia. Undang-Undang Dasar Negara 1945.

_____. *Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat*, UU No. 5 Tahun 1999, LN No. 3 Tahun 1999, TLN No. 3817.

_____. Komisi Pengawas Persaingan Usaha, Peraturan tentang Pedoman Pelaksanaan Ketentuan Pasal 51 Undang-Undang No. 5 Tahun 1999 Tentang Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat, No. 3 Tahun 2010.

_____. *Undang-Undang Ketenagalistrikan,* UU No. 30 Tahun 2009, LN No. 133 Tahun 2009, TLN No. 5052.

_____. *Undang-Undang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan*, UU No. 12 Tahun 2011, LN No. 82 Tahun 2011, TLN No. 5234.

_____. *Undang-Undang tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan*, UU No. 15 Tahun 2019, LN No. 183 Tahun 2019, TLN No. 6398.

_____. *Undang-Undang Pemerintahan Daerah*, UU No. 23 Tahun 2014, LN No. 244 Tahun 2014, TLN No. 5587.

_____. *Pengalihan Bentuk Perusahaan Umum (Perum) Listrik Negara Menjadi Perusahaan Perseroan (Persero)*, PP No. 23 Tahun 1994, LN No. 34 Tahun 1999.

_____. *Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik*, PP No. 14 Tahun 2012, LN No. 28 Tahun 2012, TLN 5281.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Peraturan tentang Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Sendiri Yang Dilaksanakan Berdasarkan Izin Operasi, No. 29 Tahun 2012, BN No. 1255 Tahun 2012.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik, No. 50 Tahun 2017, BN No. 1107 Tahun 2017.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), Peraturan No. 49 Tahun 2018, BN No. 1525 Tahun 2018.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), Peraturan No. 13 Tahun 2019, BN No. 1020 Tahun 2019.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Peraturan Menteri Energi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dan Sumber Daya Mineral tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), Peraturan No. 16 Tahun 2019, BN No. 1179 Tahun 2019.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2019 Sampai Dengan 2028, No. 39 K/20/MEM/2019.

_____. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2019 Sampai Dengan 2038, No. 143 K/20/MEM/2019 Tahun 2019.

Daerah Khusus Ibukota Jakarta. *Penugasan kepada Perseroan Terbatas Jakarta Propertindo (Perusahaan Daerah) dalam Penyelenggaraan Fasilitas Pengolahan Sampah Antara di Dalam Kota*, Peraturan No. 65 Tahun 2019, Berita Daerah Nomor 73004 Tahun 2019.

Putusan pengadilan

Mahkamah Konstitusi, Putusan No. 111/PUU-XIII/2015.

Mahkamah Konstitusi, Putusan No. 11/PUU-XIV/2016.

Artikel Jurnal/Media Massa

Aditya, Zaka Firma dan M. Reza Winata. Rekonstruksi Hierarki Peraturan Perundang-undangan di Indonesia, *Negara Hukum Membangun Hukum untuk Keadilan dan Kesejahteraan*, Vol. 9, No. 1, Juni 2018.

Denny, Septian. "Potensi Energi Tenaga Surya RI 10 Kali Lebih Besar dari Jerman," https://www.liputan6.com/bisnis/read/2493191/potensi-energi-tenaga-surya-ri-10-kali-lebih-besar-dari-jerman?utm_expid=.9Z4i5ypGQeGiS7w9arwTvQ.0&utm_referrer=http-s%3A%2F%2Fwww.liputan6.com%2Fbisnis%2Fread%2F2493191%2Fpotensi-energi-tenaga-surya-ri-10-kali-lebih-besar-dari-jerman, diakses tanggal 14 Agustus 2019.

IDZ/BIR. "Energi Terbarukan Bisa Bikin Pemerintah Hemat Puluhan Triliun," https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20190424095301-85-389098/energi-terbarukan-bisa-bikin-pemerintah-hemat-puluhan-triliun, diakses tanggal 14 Agustus 2019.

MTH. "Pasang PLTS Atap, Tagihan Listrik Lebih Hemat," https://kominfo.go.id/index.php/content/detail/20547/pasang-plts-atap-tagihan-listrik-lebih-hemat/0/artikel_gpr, diakses tanggal 31 Agustus 2019.

Pamudji/FER. "Konsep Bangunan Hijau Butuh Insentif Pemerintah," https://www.beritasatu.com/interi-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

or/154113-konsep-bangunan-hijau-butuh-insentif-pemerintah.html, diakses tanggal 31 Agustus 2019.

Rahadian, Lalu. "Ini 10 PLTU yang Berpotensi Sumbang Polusi Udara Jakarta," https://jakarta.bisnis.com/read/20190716/77/1124981/ini-10-pltu-yang-berpotensi-sumbang-polusi-udara-jakarta, diakses tanggal 17 Agustus 2019.

Sulaiman, Stefanno Reinard. "New solar panel regulation discourages public use," https://www.thejakartapost.com/news/2019/02/22/new-solar-panel-regulation-discourages-public-use.html, diakses tanggal 16 Agustus 2019.

Tim Komunikasi ESDM. "Narasi Tunggal: Pasang PLTS Atap, Tagihan Listrik Lebih Hemat," https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/narasi-tunggal-pasang-plts-atap-tagihan-listrik-lebih-hemat, diakses tanggal 31 Agustus 2019.

Thomas, Jason. "Indonesian Dull Solar Sector," https://theaseanpost.com/article/indonesias-dull-solar-sector, diakses tanggal 14 Agustus 2019.

Widyaningsih, Grita Anindarini. "Membedah Kebijakan Perencanaan Ketenagalistrikan di Indonesia," *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, Vol. 5, No. 1, Oktober 2018.

Lain-Lain

PT PLN (Persero). "Laporan Keuangan Konsolidasian Untuk Tahun-tahun yang Berakhir pada Tanggal 31 Desember 2018 dan 2017".

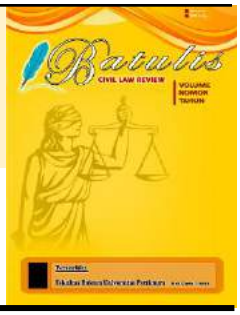
PT PLN (Persero). "Pedoman Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Ke Sistem Distribusi PLN," Keputusan Direksi No. 0357.K/DIR/2014, Tanggal 22 Juli 2014.

PT PLN (Persero). "Statistik PLN 2017," *Sekretariat Perusahaan PLN*, https://www.pln.co.id/statics/uploads/2018/06/Laporan-Statistik-PLN-2017-Indonesia.pdf, diakses pada 25 Agustus 2019.

Robertsson, Stefan. "Southeast Asian Solar: Market Outlook and Policy Overview," *The Lantau Group*, 31 Agustus 2017, https://www.lantaugroup.com/files/ppt_pgen17_sr.pdf, diakses tanggal 15 Agustus 2019.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Batulis CIVIL LAW REVIEW
Volume 3 Nomor 2, November 2022: h. 187 - 207
P-ISSN: 2722-4465, E-ISSN: 2746-8151
Lisensi Creative Commons Atribusi-NonCommercial 4.0 Internasional



Hambatan Penerapan Kebijakan Energi Terbarukan di Indonesia

Sahid Yudhakusuma Kalpikajati[1], Sapto Hermawan[2]

[1, 2,] Fakultas Hukum Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia
E-mail: kalpikajatisahid@gmail.com

Dikirim: 28/06/2022 Direvisi: 30/07/2022 Dipublikasi: 26/08/2022

Info Artikel

Keywords:
Energy Resources; Renewable Energy; Juridical; Social.

Kata Kunci:
Sumber Energi; Energi Terbarukan; Yuridis; Sosial.

DOI:
10.47268/ballrev.v3i2.1012

Abstract

Indonesia is a country with a lot of undeniable wealth. Besides the wealth of social and culture, Indonesia also gifted with very abundant natural resources. Which also include those potential renewable energy sources which can be found in every corner of the country. With this kind of wealth, Indonesia should be able to have resilience, independence, and energy sovereignty that sufficient the needs of its people. Unfortunately, currently Indonesia still relies on non-renewable energy sources to support the development and economic activities of its people. By using the literature method through primary and secondary data sources, this study aims to identify any obstacles in implementing renewable energy policies in Indonesia. The results of this research is that there are two main obstacles on implementing renewable energy sources; both of them are juridical obstacle and social obstacle.

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan yang tak dapat diragukan lagi. Selain kekayaan berupa hasil budaya, Indonesia juga begitu diliputi akan kekayaan sumber daya alam yang sangat melimpah. Kelimpahan sumber daya alam tersebut juga mencakup sumber energi terbarukan yang dapat ditemukan di setiap sudut nusantara. Dengan kekayaan sumber energi yang melimpah ini, Indonesia seharusnya dapat memiliki ketahanan, kemandirian, dan kedaulatan energi yang dapat memenuhi kebuutuhan masyarakatnnya. Sayangnya, saat ini Indonesia masih bergantung pada sumber energi tak terbarukan dalam menyokong pembangunan dan aktivitas ekonomi masyarakatnya. Dengan dilakukan menggunakan metode kepustakan melalui sumber data primer dan sekunder, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi hambatan apa saja dalam menerapkan kebijakan energi terbarukan di Indonesia. Berdasarkan penelitian ini, ditemukan dua hambatan utama dalam penerapan kebijakan energi terbarukan di Indonesia, yaitu permasalahan sosial dan permasalahan yuridis.

1. Pendahuluan

Selama puluhan dekade, bangsa Indonesia begitu mengandalkan sumber energi fosil untuk melaksanakan aktivitas sehari-hari. Selama itu pula bangsa Indonesia memalingkan diri dari sumber energi terbarukan yang memiliki berbagai potensi dan dampak positif. Sumber energi terbarukan dibiarkan terdiam lesu menunggu untuk digali potensinya. Di waktu yang sama, konsumsi energi fosil justru kian marak terjadi dan bahkan semakin besar dari waktu ke waktu. Kini, penggunaan energi fosil yang semakin besar berimplikasi pada menipisnya cadangan energi fosil bagi Indonesia. Hal ini dapat menimbulkan efek domino serius yang merugikan masyarakat Indonesia yang pada puncaknya dapat berpengaruh pada stabilitas negara. Oleh karena itu, tidak mengherankan apabila perlu dilakukan transisi energi dari penggunaan energi fosil menuju energi terbarukan dalam waktu dekat.

Bicara mengenai praktik pengelolaan dan industri energi terbarukan, berbagai literatur telah menjelaskan betapa peraturan perundang-undangan atau instrumen hukum menjadi faktor yang sangat berpengaruh di dalam mengembangkan energi terbarukan. Industri energi terbarukan sangatlah bersandar pada kebijakan hukum yang diberikan serta berikatan pula dengan dukungan politis yang ada. Sebagai contoh, studi dari 12 negara membuktikan bahwa kombinasi dari dukungan langsung (*direct support*) seperti pendanaan dan insentif pajak serta skema dukungan tidak langsung (*indirect support scheme*) seperti pemberian target capaian dari pemerintah sangatlah diperlukan dalam membangun industri energi terbarukan yang kompetitif (Rialp-Criado et al., 2020). Hal ini telah disadari oleh Uni Eropa sejak puluhan dekade lalu. Bahkan sejak tahun 1980-an, negara-negara Uni Eropa telah mulai memberikan berbagai dukungan yang diperlukan dalam upaya pengelolaan dan pengembangan teknologi energi terbarukan. Dengan tiap-tiap negara memiliki cara uniknya masing-masing dalam membentuk kebijakan, mekanisme/skema, dan memberikan dana insentif untuk menyokong produksi energi terbarukan. Kini, sebagian besar kebutuhan listrik di negara-negara Uni Eropa telah terpenuhi melalui pembangkit energi surya berbasis fotovoltanik (Brown, 2013).

Tak hanya kebijakan, negara-negara Uni Eropa juga memiliki targetnya masing-masing menyoal capaian konsumsi energi terbarukan untuk tahun 2020. Hal dijelaskan lebih lanjut oleh Westerman, dkk (2020). Kendati memiliki target yang berbeda, negara-negara Uni Eropa telah memulai pengelolaan dan pengembangan energi terbarukan dengan berbagai skema pendanaan, mulai dari skema *feed-in tariff*, *market premium*, hingga *green certificate*. Adanya perbedaan skema dan faktor-faktor fundamental lainnya memicu terjadinya perbedaaan laju transisi dari tiap negara di Uni Eropa. Pada tahun 2015, Britania Raya (kala itu masih tergabung dalam Uni Eropa) mengalami ketertinggalan dari capaian target konsumsi energi terbarukan menuju tahun 2020. Di sisi lain, Perancis dan Belanda masih memerlukan suntikan investasi untuk mencapai target capaiannya; hal ini berdampak pada perusahaan dan pihak swasta di negara tersebut yang harus beradaptasi kembali dan lebih fokus mengembangkan sektor energi terbarukan yang juga berimplikasi pada pengesahan kebijakan atau instrumen hukum baru yang dibutuhkan untuk mempercepat laju

investasi dan pendanaan. Sementara itu, negara-negara skandinavia seperti Swedia, Norwegia, dan Finlandia masuk ke dalam jajaran negara-negara terbaik dalam pengelolaan energi terbarukan di Uni Eropa; 30% dari bauran energi nasional di negara-negara tersebut telah menggunakan sumber energi terbarukan (Westerman et al., 2020).

Hingga saat ini masih menjadi pertanyaan mengapa negara dengan potensi energi terbarukan yang melimpah seperti Indonesia belum dapat mengelola sumber energi terbarukan yang dimilikinya supaya dapat menghadirkan kemandirian dan ketahanan energi bagi masyarakatnya. Merangkum informasi dari berbagai artikel ilmiah dan media cetak/elektronik, dapat dipahami bahwa potensi energi terbarukan di Indonesia tidaklah main-main. Mulai dari potensi akumulatif energi terbarukan di Indonesia yang mencapai 441,7 GW (Kompas.com, 2022), ditambah lagi kondisi geografi dan geologi Indonesia yang begitu menjanjikan bagi pengembangan energi surya, energi angin, energi air, dan bioenergi, hingga potensi pasar energi terbarukan di Indonesia khususnya di sektor komersial dan industri yang sangat besar (Kontan.id, 2022).

Menyadari urgensi serta potensi yang dimiliki, pemerintah Indonesia telah menyusun beberapa instrumen hukum, skema, dan kebijakan dalam pengelolaan energi terbarukan. Akan tetapi, dalam praktiknya upaya dari pemerintah masih menemui berbagai hambatan yang begitu kompleks. Beberapa di antaranya sangat struktural. Untuk mencapai percepatan transisi energi, perlu dilakukan penguraian terhadap hambatan-hambatan tersebut. Oleh karena permasalahannya yang begitu kompleks dan struktural, penguraian yang ada harus dilakukan secara inklusif dan bertahap. Tak hanya itu, para pihak yang terlibat perlu memahami permasalahan yang bersemayam dalam hambatan-hambatan tersebut. Sejalan dengan urgensi tersebut, artikel yang terdiri dari Pendahuluan, Metodologi Penelitian, Hasil Dan Pembahasan, dan Kesimpulan ini dilakukan untuk mengetahui hambatan-hambatan apa saja yang dihadapi dalam penerapaan energi terbarukan di Indonesia, sekaligus menguraikan masalah-masalah yang ada di dalamnya.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan bersumber dari data primer dan sekunder untuk mendukung argumentasi dalam artikel ini. Teknik pengumpulan data menggunakan studi kepustakaan dengan pengumpulkan data melalui buku, artikel, peraturan perundang-undangan, atau literatur hukum lainnya dan situs online yang relevan dengan permasalahan yang ditulis. Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik analisis data deskriptif, artinya memberikan gambaran tentang data yang dikumpulkan melalui penguraian kalimat dengan tujuan memberikan penjelasan tentang data yang diteliti dan mendapatkan kesimpulan tentang jawaban dari permasalahan yang ada.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Potensi dan Urgensi Penggunaan Energi Terbarukan di Indonesia

Energi dapat dikelompokkan sebagai aspek fundamental bagi kehidupan bermasyarakat. Tanpanya, setiap individu akan kesulitan menjalankan aktivitas sehari-hari yang juga akan berdampak pada keadaan makro suatu negara. Energi dibutuhkan untuk menjalankan aktivitas-aktivitas rumah tangga, menggerakkan transportasi, hingga menghidupkan roda perekonomian dari segala sektor maupun skala. Kini, seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, kehadiran energi semakin mutlak dibutuhkan. Manusia kian lekat dan tak dapat dipisahkan dari kebutuhan digital yang tersedia saat ini. Imbas dari beraneka ragamnya kebutuhan digital seperti internet, media sosial, hingga *e-commerce* adalah diperlukannya suplai energi dalam jumlah yang tidak sedikit.

Terdapat tiga jenis energi yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan energi dalam menjalankan aktivitas. Adapun pengelompokkan ke dalam tiga jenis ini dilakukan berdasarkan sumber energi tersebut diperoleh. *Pertama*, jenis energi yang berasal sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui seperti energi fosil yang meliputi minyak bumi, batubara, dan gas alam; energi ini dinamakan Energi Tak Terbarukan. *Kedua*, jenis energi yang berasal dari sumber daya alam yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui seperti energi surya, energi air, panas bumi, dan bioenergi; energi ini dinamakan Energi Terbarukan. Energi Tak Terbarukan sangat bergantung pada cadangan sumber energi fosil yang mengendap di dalam bumi. Oleh karena bergantung pada cadangan, berarti energi tersebut pasti akan habis apabila dieksploitasi secara terus menerus. Adapun Energi Terbarukan berasal dari sumber energi yang tidak bergantung pada cadangan energi dan secara alamiah memiliki sifat berkelanjutan sebab memiliki siklus yang akan terus berulang dan memperbarui dirinya. Adapun jenis energi ketiga *ketiga*, yang berasal dari pengolahan sumber energi tak terbarukan dan sumber energi terbarukan seperti energi nuklir dan batu bara tercairkan (*liquefied cool bed*); energi ini dinamakan Energi Baru.

Bukanlah hal yang sulit untuk menemukan ketiga jenis energi tersebut di Indonesia. Dengan karunia melimpah yang membentang dari tepi timur Merauke sampai tepi barat Sabang, dari tepi utara Miangas sampai tepi selatan Pulau Rote, tersebar beraneka ragam sumber energi dengan potensi yang tidak main-main. Tak terkecuali, energi terbarukan.

Dalam proses pemerataan pembangunan dan ekonomi, diperlukan jumlah energi yang sangat besar. Hal tersebut agaknya sulit tercapai apabila mengandalkan sumber energi tak terbarukan. Karena selain jumlahnya yang terbatas akan habis dalam jangka waktu tertentu, penggunaan energi tak terbarukan seperti bahan bakar fosil dan uap juga memiliki potensi pencemaran lingkungan yang begitu besar. Tak hanya itu, energi fosil dan uap juga menyebabkan beberapa dampak buruk mulai dari persoalan konsumsi energi, polusi, dan kesehatan makhluk hidup. Sedangkan, Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat melimpah. Apabila dimanfaatkan dengan tepat dan profesional, maka akses energi yang merata dapat tercipta dengan aman, bersih, dan berkelanjutan. Ditambah lagi penggunaan energi terbarukan adalah salah satu wujud pengupayaan dekarbonisasi. Dekarbonisasi sendiri merupakan proses mereduksi emisi karbon yang dihasilkan oleh

pembakaran energi fosil untuk mencapai titik terendah terentu. Singkatnya, dekarbonasisasi merupakan proses pengalihan bahan bakar dengan energi fosil mennuju bahan bakar ramah lingkungan, salah satunya melalui energi terbarukan.

Sumber energi terbarukan dapat memberikan berbagai manfaat dalam penggunaannya. Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi bersih yang memberikan lebih sedikit dampak negatif dibanding bahan bakar fosil. Selain itu, karena jumlah yang tak terbatas, pemanfaatan dan penggunaannya dapat dilakukan secara berkelanjutan. Ditambah, karena jumlahnya yang tak berbatas, energi terbarukan masih dapat dimanfaatkan hingga puluhan bahkan ratusan tahun mendatang (Alrikabi, 2014).

Dengan memperhatikan kekayaan alam yang dimiliki Indonesia, setidaknya terdapat lima sumber energi terbarukan yang dapat berpengaruh besar dalam pemasokan kebutuhan dan kemandirian energi Indonesia. Antara lain:

a. Energi surya

Energi surya merupakan energi yang diperolah dari pengolahan panas matahari. Energi surya dapat menjadi alternatif pembangkit energi selain batu bara dan minyak bumi (Yandri, 2012). Sifatnya yang tidak polutif dan tidak dapat habis, mengantarkan energi surya menjadi jenis energi yang dapat diandalkan. Lebih lanjut, Yandri (2012) menyebutkan bahwa secara garis besar terdapat dua cara pengaplikasian energi yang mudah dilakukan, yaitu aplikasi secara Termal dan Fotovoltaik.

Selama ini, masyarakat Indonesia telah memanfaatkan energi surya secara tradisional dalam proses pengeringan hasil panen petani dan hasil tangkapan nelayan secara langsung. Ini merupakan salah satu bentuk pengolahan energi surya secara termal (Widayana, 2012). Secara garis besar, konsep teknologi energi surya termal adalah dengan mengumpulkan energi radiasi dari penyinaran matahari menjadi energi panas. Oleh karena itu, penggunaan energi surya dalam pengeringan dalam proses pertanian maupun perikanan dapat dikelompokkan sebagai model teknologi energi surya termal yang paling sederhana. Seiring dengan perkembangan teknologi, telah ditemukan berbagai teknologi modern yang mengaplikasikan konsep energi surya termal baik dalam skala sederhana hingga madya. Beberapa di antaranya adalah pemanas air (*solar water heater*), alat pendingin (*solar cooling*), penyuling air (distilasi), dan pembangkit listrik (*solar thermal power plant*). Teknologi energi surya termal dapat digunakan di banyak sektor masyarakat dalam berbagai skala sehingga teknologi ini tergolong memiliki prospek yang cukup besar. Energi surya termal dapat digunakan dalam skala kecil untuk keperluan rumah tangga seperti pemanas air atau agro-industri di pedesaan seperti pengeringan komoditas perkebunan, perikanan, peternakan, dan pertanian pasca-panen.

Teknologi energi surya fotovoltaik merupakan salah satu bentuk modernisasi pengolahan energi surya yang telah siap untuk diterapkan secara massal. Secara umum teknologi ini lebih dikenal dengan nama Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF). Berbeda dengan teknologi energi surya termal yang pengumpulan energi panas, cara kerja teknologi fotovoltaik secara garis besar ialah secara langsung

mengubah radiasi dari penyinaran matahari menjadi energi listrik. Tidak seperti pengolahan energi surya secara konvensional dan/atau termal, SESF memang lebih rumit. Akan tetapi memberikan dampak positif yang menjanjikan. Selain sistem pengoperasiannya yang mudah, SESF juga tergolong andal dan tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang besar. Tak hanya itu, SESF merupakan teknologi yang bersih dan tidak bersifat polutif atau mencemari lingkungan. Hal ini menjadikan SESF sebagai teknologi yang sangat cocok digunakan di wilayah desa terpencil, wilayah transmigrasi, dan perkebunan. SESF merupakan alternatif yang menjanjikan untuk digunakan dalam memasok listrik bagi penerangan rumah dan fasilitas umum (Widayana, 2012). Bahkan seiring dengan perkembangan zaman, SESF telah digunakan oleh negara-negara maju untuk menyuplai kebutuhan energi listrik di perkotaan besar.

Sebagai negara tropis, potensi energi surya di Indonesia tidaklah dapat diragukan lagi. Indonesia bahkan disebut sebagai sebagai salah satu "gudang" energi surya terbesar di dunia. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI menyebutkan bahwa potensi energi surya di Indonesia telah mencapai 207,8 gigawatt. Akan tetapi dengan potensi sedahsyat itu, pembangkit listrik tenaga surya yang tersedia di Indonesia yang tersedia saat ini adalah kurang dari 1% (IESR, 2021)

b. Energi air

Pada dasarnya, konsep penggunaan energi air adalah dengan memanfaatkan energi kinetik yang dihasilkan oleh aliran air dari hulu atau penampungan seperti danau atau bendungan dengan ketinggian tertentu. Banyaknya wilayah dengan topografi bergunung nan berbukit serta dialiri oleh banyak sungai mengantar Indonesia menjadi negara dengan potensi energi air yang besar, dalam pemanfaatannya, energi air yang dimiliki Indonesia dapat diolah menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) (Taufiqurrahman & Windarta, 2020). Potensi energi air yang dimiliki Indonesia adalah sekitar 94,4 MW. Dengan 75,09 dapat dimanfaatkan sebagai PLTA dan sisanya, 19,34 MW dapat dimanfaatkan sebagai PLTMH.

PLTA atau Pembangkit Listrik Tenaga Air merupakan sebuah sistem yang mengolah energi kinetik yang dihasilkan oleh air dalam daya/kapasitas lebih dari 5.000 KW. Secara umum, komponen-komponen yang terdapat dalam PLTA terdiri dari waduk (*reservoir*), bendungan (dam), gerbang kontrol, *penstock*, turbin air, generator, serta jaringan listrik pendukung lainnya. PLTA memiliki berbagai nilai plus yang tidak dimiliki oleh pembangkit listrik dari sumber energi lain. *Pertama*, tidak seperti sistem pembangkit lain, sistem hidro (air) yang diterapkan dalam PLTA relatif berumur panjang karena mendapat tekanan yang relatif rendah nan stabil sehingga tidak mengherankan apabila PLTA masih dapat beroperasi secara efisien bahkan setelah 50 tahun penggunaan. *Kedua*, salah satu komponen yang menyusun PLTA adalah bendungan dan waduk; dengan kata lain, selain memiliki fungsi sebagai pembangkit listrik, PLTA juga dapat dimanfaatkan sebagai irigasi dan cadangan air untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat sekitar atau untuk pengairan sektor pertanian. *Ketiga*, wilayahnya yang luas menjadikan PLTA dapat

pula digunakan sebagai sarana wisata dan edukasi. Maka, apabila dibangun dengan sistem dan konsep yang terintegrasi, PLTA dapat memberikan dampak positif bagi sektor ekonomi dan kesejahteraan sosial.S

Sejalan dengan itu, Imam Kholiq (2015) menyebutkan bahwa PLTA merupakan salah satu teknologi pemanfaatan sumber energi air yang terbukti (*proven*) tidak merusak lingkungan, mampu menyokong diversifikasi energi, serta dapat membantu laju percepatan program pengurangan BBM (Bahan Bakar Minyak) (Kholiq, 2015). Dalam pemanfaatannya sebagai PLTA, Papua menjadi wilayah dengan potensi energi air terbesar di Indonesia (22,37 MW), kemudian secara berurutan disusul oleh Kalimantan Selatan, Tengah, dan Timur (16,68 MW), Sulawesi Selatan dan Tenggara (6,34 MW), Aceh (5,06 MW) dan Kalimantan Barat (4,73 MW).

Adapun PLTMH merupakan salah satu bentuk terobosan dalam pemanfaatan energi air. Apabila diartikan secara etimologis, mikro bermakna kecil sementara hidro bermakna air. Sehingga secara sederhana mikrohidro merupakan PLTA dalam skala yang lebih kecil yang memanfaatkan aliran sungai sebagai sumber penggerak turbin yang akan menghasilkan energi kinetik yang memutar generator dan menghasilkan energi listrik. Berbeda dengan PLTA yang memiliki kapasitas 5000 KW, kapasitas yang dmiliki oleh PLTMH hanya berada di bawah 500 KW saja. Kendati memiliki kapasitas yang kecil, PLTMH dapat memberikan peluang baru dalam pengelolaan sumber energi air bagi pasar yang berbeda. Dengan ukurannya yang relatif kecil, PLTMH sangat cocok digunakan untuk masyarakat wilayah pedesaaan. Hal ini disebabkan oleh faktor ekonomi, di mana biayanya yang dikeluarkan relatif murah, mudah dibuat, dan dapat menjadi alternatif dalam mendapatkan akses listrik.

Penelitian yang dilakukan oleh Rendi dkk pada tahun 2020 menunjukkan potensi mikrohidro yang menjanjikan di wilayah Kalimantan Selatan. Secara geografis, wilayah Kalimantan Selatan terdiri dari berbagai macam topografi, mulai dari wilayah dataran rendah, perbukitan, hingga pegunungan (Rendi et al., 2015). Di mana topografi semacam ini merupakan pasangan sempurna bagi pengelolaan sumber energi air. Penelitian yang dilakukan pada Bulan Januari, April, dan Juli ini menemukan potensi pemanfaatan eenrgi air melalui mikrohidro yang variatif di Kalimantan Selatan. Dilakukan di dua lokasi yaitu Sungai Pintab di Kabupaten Balangan dan Sungai Amandit di Kabupaten Kandangan menunjukkan potensi sebesar 419,7 KW dan 619 KW.

c. Energi Angin

Satu lagi sumber energi terbarukan yang memiliki potensi menjanjikan dan dapat dijumpai banyak wilatah di Indonesia adalah energi angin. Sama seperti energi angin, konsep pemanfaatan energi angin adalah melalui konversi energi kinetik yang didapat dari kincir angin yang kemudian menghasilkan energi listrik. Sumber energi angin mentah akan dikonversi menjadi energi listrik menggunakan PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) yang juga merupakan jenis pembangkit listrik dengan efisiensi kerja yang baik nan ramah lingkungan. Tak hanya itu, sistem PLTB dapat dilakukan secara *on grid* (berpadu dengan jaringan PLN) atau secara *off grid*

(berdiri sendiri dan terpisah dari PLN). Lebih lanjut, Prasetyo dkk (2019) menyebutkan potensi energi angin yang dimiliki Indonesia secara kumulatif telah mencapai angka 978 MW dengan potensi terbesar berasal dari wilayah Sidrap dan Jeneponto yang masing-masingnya memiliki potensi sebesar 200 MW (Prasetyo et al., 2019). Dilansir dari CNBC Indonesia, wilayah-wilayah lain yang memiliki potensi energi angin cukup besar adalah Sukabumi (170 MW), Garut (150 MW), Lebak dan Pandeglang (150 MW), serta Lombok (100 MW) (CNN Indonesia, 2018). Pemanfaatan energi angin di Indonesia merupakan dapat menjadi alternatif yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat Indonesia. Hal ini disebabkan potensi energi angin di Indonesia yang cukup besar dengan didukung kondisi geografis di mana banyak wilayah Indonesia memiliki garis pantai yang relatif panjang dan topografi pegunungan sehingga menjadi lumbung energi angin yang dapat diandalkan (Abdullah et al, 2016). Hal ini dibuktikan dengan deretan wilayah potensial yang sebelumnya telah disebutkan di mana secara geografis merupakan wilayah yang berada di pinggir laut. Sidrap dan Jeneponto di pesisir selatan Sulawesi Selatan, Sukabumi dan Garut di pesisir selatan Jawa Barat, Lebak dan Pandeglang di pesisir selatan dan barat Banten, serta Lombok di Provinsi Nusa Tenggara Barat yang kelilingi oleh laut.

Secara historis, pemanfaatan energi angin Indonesia secara langsung pertama kali dilakukan pada tahun 1992 di wilayah Jepara, Jawa Tengah. Tepatnya di Desa Bulak, Kecamatan Kedung. Kala itu dilakukan instalasi tiga unit turbin angin kecil. Meski memiliki potensi yang menjanjikan, pengelolaan energi angina di Indonesia masih tergolong belum optimal. Outlook Energi Indonesia tahun 2016 menunjukkan bahwa pada tahun 2004, potensi energi angin di Indonesia telah mencapai angka 929 MW. Akan tetapi dari seluruh potensi yang ada, pemanfaatan tenaga angin yang ada pada waktu itu hanya mencapai 0,5 MW.

d. Bioenergi

Sumber energi terbarukan satu ini merupakan yang paling unik namun juga sangat potensial: bioenergi. Secara sederhana, bioenergi merupakan energi yang dihasilkan dari pengolahan material atau sumder daya alam hayati yang berasal dari hewan dan tanaman (biomassa). Energi yang dihasilkan nantinya dapat digunakan untuk memproduksi bahan bakar kendaraan, listrik. Yang menjadikan bioenergi unik adalah peluang dan potensi yang tersedia sangatlah luas nan menjanjikan. Bagaimana tidak? Pengolahan bioenergi dapat menyulap limbah dari sektor industri (seperti makanan dan serpihan kayu), limbah sektor pertanian (seperti sisa hasil panen dan sekam padi), hingga limbah sektor kehutanan (seperti dedaunan kering, biji buah, dan kayu kering) menjadi energi listrik dan energi panas (Sari, 2013). Tak hanya itu, biomassa juga dapat diolah menjadi bahan bakar kendaraan. Dengan memperhatikan banyaknya jenis energi yang dapat dihasilkan melalui bioenergi, tidak mengherankan apabila predikat energi terbarukan yang paling lengkap melekat pada bioenergi.

Dalam pemanfaatannya sebagai bahan bakar, biomassa bertransformasi menjadi biofuel. Di mana konsep pemanfaatan biomassa dalam menghasilkan energi

paling sederhana adalah penggunaan kayu yang dibakar untuk menghangatkan tempat sekitar. Ketika diolah menjadi energi, bahan-bahan biomassa melepaskan gas CO_2 atau karbon dioksida dengan siklus yang lebih pendek dari CO_2 yang dihasilkan oleh pembakaran energi fosil.

e. Panas bumi

Dari sumber energi terbarukan yang tersebar di permukaan bumi, waktunya beralih menuju sumber energi terbarukan yang tersimpan di dalam perut bumi. Sumber energi terbarukan kali ini merupakan salah satu amunisi terbesar Indonesia dalam mencapai ketahanan energi. Sumber energi tersebut bernama panas bumi atau geotermal. Disebut sebagai amunisi terbesar karena besarnya cadangan panas bumi yang dimiliki Indonesia.

Hal ini tidak terlepas dari posisi Indonesia yang berada dipertemuan tiga lempeng aktif maka secara geologis Indonesia berada di daerah yang dinamakan *ring of fire* atau deretan gunung api sehingga menyimpan potensi panas bumi yang melimpah (Ahluriza & Harmoko, 2021) Deretan gunung api tersebut terhampar mulai dari ujung barat Pulau Sumatra yang terus bersambung menuju Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, hingga Kepulauan Maluku. Meruahnya gunung api di Indonesia berbanding lurus dengan besarnya potensi panas bumi Indonesia. Bahkan potensi tersebut telah mencakup 40% dari potensi panas bumi global secara kumulatif. Yakni sekitar 28,91 GW dengan lokasi persebaran potensi panas bumi di 285 titik lokasi (Adistia et al, 2022). Tiga wilyah dengan potensi panas bumi terbesar yang dimiliki Indonesia adalah Pulau Sumatera (5,846 MW) di urutan pertama, disusul Pulau Jawa (5.652 MW) di urutan kedua, dan Pulau Sulawesi (1.3141 MW) di urutan ketiga. Tak hanya itu, daerah-daerah di luar jalur *ring of fire* atau biasa disebut dengan daerah Busur Belakang (*Back Arc*) seperti Bangka Belitung, Kalimantan Barat, Kalimantan Utara, Kalimantan Timur, dan Papua Barat juga memiliki potensi panas bumi juga. Hal ini disebabkan daerah *Back Arc* merupakan daerah bekas gunung api purba yang di dalamnya masih tersimpan sisa-sisa panas bumi (Ahluriza & Harmoko, 2021). Secara global, potensi energi panas bumi Indonesia menapaki peringkat kedua di bawah Amerika Serikat (30 GW).

Berkenaan dengan itu, dengan potensi panas bumi yang tinggi, Indonesia memiliki peluang dekarbonisasi yang tinggi pula. Pemanfaatan energi panas bumi melalui Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) diproyeksikan dapat menjadi pembangkit beban dasar atau *base-load* yang menggantikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) untuk menyuplai minimum energi listrik yang diperlukan dalam jangka waktu 24 jam (CNBC Indonesia, 2022). Hal ini disebabkan kondisi panas bumi yang tidak terkendala intermitensi dengan kata lain, produksi listrik yang dihasilkan oleh pengelolaan panas bumi tidaklah terkendali cuaca sama sekali. Dengan kata lain, proses dekarbonisasi melalui pemanfaatan panas bumi dapat terus berlangsung secara kontinuu tanpa harus mengkhawatirkan adanya pengaruh kondisi cuaca.

Sangat disayangkan, dengan kelimpahan sumber energi terbarukan yang dimiliki, Indonesia masih mengandalkan energi fosil untuk melakukan pemerataan

pembangunan dan ekonomi. Hal ini cukup mengkhawatirkan, sebab dari opsi energi fosil yang tersedia, minyak bumi merupakan energi fosil yang paling berpengaruh bagi kestabilan perekonomian dan geopolitik global sehinngga posisinya begitu riskan. Tak dapat dipungkiri, mayoritas negara secara global masih menempatkan minyak bumi sebagai "tulang punggung" penggerak aktivitas di berbagai sektor; tak terkecuali negara maju. Sebagai contoh, konsumsi minyak bumi di Amerika Serikat pada tahun 2021 adalah sekitar 19.78 juta barrel per hari (bph) atau apabila dikumulasikan adalah sekitar 7,22 milyar barrel minyak bumi. EIA (*US Energy Information Administration*) menyebutkan angka tersebut telah mengalami eskalasi sebesar 1,6 juta bph dari tahun sebelumnya sebagai dampak dari pemulihan ekonomi pasca pandemi COVID-19 (EIA, 2022). Tak berbeda jauh dengan Amerika Serikat, konsumsi minyak oleh Tiongkok juga menunjukkan angka yang tinggi. Bahkan data dari CEIC menunjukkan terjadinya eskalasi secara berkala setiap tahnnya.. Pada tahun 2020, konsumsi minyak oleh Tiongkok telah mencapai 14,22 bph. Terjadi eskalasi di mana pada tahun sebeleumnya, konsumsi minyak adalah sebesar 14,01 bph (CEIC, 2021).

Kendati telah memulai konservasi dan pengelolaan energi terbarukan, minyak bumi masih menjadi opsi utama bagi negara-negara maju untuk menggerakkan aktivitas masyarakatnya. Hal ini kuatkan lagi dengan data dari EIA yang menunjukkan tingginya konsumsi minyak bagi negara-negara maju. Berdasarkan data yang dirilis pada 10 Mei 2022 tersebut, negara dengan konsumsi minyak tertinggi adalah Amerika Serikat (20,54 juta bph), diikuti oleh Tiongkok di urutan kedua (14,01 juta bph), India di urutan ketiga (4,92 juta bph), Jepang di urutan keempat (3,74 juta bph), dan Rusia di urutan kelima (3,70 juta bph) (EIA, 2022).

Dalam beberapa tahun terakhir, harga minyak bumi memang mengalami pergerakan fluktuatif yang tidak tanggung-tanggung. Posisinya yang notabene merupakan sumber energi tak terbarukan menjadikannya diburu oleh seluruh negara atau dengan kata lain, seluruh negara memiliki kepentingan yang besar dalam memperebutkan sumber energi yang satu ini. Sehingga sedikit saja terjadi "goncangan" baik itu dalam taraf nasional atau multinasional, dapat menciptakan efek berantai yang berimplikasi pada harga minyak bumi –yang nantinya juga berpengaruh jua pada harga kebutuhan barang-barang pokok. Keadaan ekonomi yang tidak stabil semacam ini bahkan mengkhawatirkan negara Kanada yang terkenal akan keamanan dan stabilitas ekonominya. Bahkan, berdasarkan laporan dari *Statistics Canada*, posisi PDB (Produk Domestik Bruto) Kanada tengah mengalami penurunan untuk pertama kalinya sejak 2011 (Derbali et al., 2020).

Minyak bumi ibarat pisau yang begitu tajam, dalam situasi yang kondusif, ia dapat memudahkan berbagai aktivitas. Tetapi sedikit saja goncangan dapat menyebabkan dampak negatif yang sangat merugikan. Memperhatikan potensi yang dimiliki serta membandingkannya dengan situasi pergolakan energi fosil saat ini, transisi menuju penggunaan energi terbarukan adalah suatu keniscayaan. Akan tetapi, laju percepatan transisi tersebut adalah hal yang harus diupayakan. Langkah pertama adalah dengan mengidentifikasi serta menguraikan hal-hal apa saja yang menjadi penghambat pengelolaan energi terbarukan.

Penulisan bagian Hasil dan Pembahasan memuat hasil-hasil atau temuan penelitian (*scientific finding*) yang diikuti dengan pembahasannya secara ilmiah. Uraian pembahasan pada bab Hasil dan Pembahasan bersifat deskriptif, analitis dan kritis. Uraian pembahasan harus disesuaikan dengan urutan permasalahan hukum yang menjadi unsur utama dalam kajian. Teori-teori yang dimasukkan dalam kerangka teori harus dikutip dalam bab ini. *State of art* yang dicantumkan dalam Bagian Pendahuluan juga kembali dikaji dan dielaborasi dapada Bagian Hasil dan Pembahasan. Analisis pada bagian Hasil dan Pembahasan dapat didukung dengan Tabel yang disajikan secara horizontal. Penyajian Tabel dilengkapi dengan "Judul Tabel" dan "Sumber Tabel." Setiap Tabel diikuti dengan kajian serta komentar penulis sebagai bagian dari analisis terhadap Tabel yang disajikan. Selain tabel, ketentuan Undang-Undang atau peraturan lainnya yang disajikan dilengkapi dengan kajian dan pendapat penulis dalam memperkuat dan mempertajam analisis artikel yang diajukan untuk dipublikasikan.

3.2 Hambatan Penerapan Energi Terbarukan di Indonesia

Memerhatikan berbagai kekayaan serta potensi energi terbarukan yang dimiliki Indonesia, agaknya wajar apabila ekspektasi akan hadirnya pemerataan energi yang aman dan bersih cukup tinggi. Tidak ada lagi kesulitan listrik di daerah terpencil karena telah teratasi dengan hadirnya PLTMH secara optimal, tidak ada lagi kepayahan mengantri minyak goreng karena telah teratasi dengan hadirnya bioenergi yang ramah lingkungan, tidak ada lagi pencemaran bau yang disebabkan oleh tumpukan sampah karena pengelolaan yang baik telah mengubah sampah menjadi biogas.

Akan tetapi mimpi indah tentang pemanfaatan energi terbarukan tersebut sepertinya masih akan datang dalam waktu yang lama. Pasalnya, masih terdapat banyak hambatan dalam pelaksanaan kebijakan energi terbarukan di Indonesia. Terlebih lagi, hambatan tersebut hadir dalam lingkup yang begitu kompleks dan struktural. Bentuknya pun bermacam-macam. Mulai dari permasalahan sosial seperti ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar fosil yang berdampak pada rendahnya kesadaran akan penggunaan energi terbarukan sampai dengan permasalahan yuridis dengan belum adanya payung hukum yang jelas dalam memfasilitasi permasalahan energi terbarukan ini.

a. Permasalahan Yuridis

Dewasa kini, permasalahan energi telah menjadi perhatian bagi banyak negara maju. Negara-negara eropa kini menempatkan pemenuhan kebutuhan energi sebagai sektor prioritas. Sumber daya alam di wilayah negara-negara eropa kini mulai menurun, di tambah lagi secara geografis wilayah tersebut bukan merupakan wilayah strategis untuk mengandalkan sumber energi fosil. Oleh karenanya banyak negara-negara eropa kini mulai mendorong berbagai kebijakan dan menerbitkan instrumen yuridis untuk dapat mendorong pemanfaatan energi terbarukan dan memudahkan transisi dari penggunaan sumber energi fosil. Sebagai contoh, *2020 Programme* milik Uni Eropa tengah mendorong negara-negara anggota untuk mengandalkan sumber energi terbarukan dalam hal pemenuhan kebutuhan energi

di masing-masing negara sebesar 20% hingga akhir tahun 2020 (Rialp-Criado et al, 2020).

Instrumen yuridis bisa disebut sebagai salah satu sarana terpenting apabila ingin mewujudkan pengolahan energi terbarukan yang mumpuni. Dengan kata lain, pengaruh dari instrument yuridis dalam hal pengolahan energi terbarukan sangatlah tinggi. Oleh karenanya pemerintah dan legislatif –selaku dua entitas yang memiliki wewenang merumuskan peraturan perundang-undangan memiliki peranan penting dalam menjamin perwujudan terssebut. Bukti konkrit akan pengaruh instrumen yuridis ini dapat dilihat dari salah satu negara adidaya dari tanah Eropa, Jerman.

Jerman saat ini telah merancang pelbagai kebijakan publik dan instrumen yuridis yang sifatnya *advanced* dan terintegrasi. Dua di antaranya adalah *StrEG* dan *Erneuerbare-Energien-Gesetz* (EEG) atau Undang-Undang Energi Terbarukan, merupakan peraturan berbentuk *feed-in tariff* atau undang-undang yang memudahkan pelaksanaan investasi dalam sektor energi terbarukan. Bagi Jerman, instrumen hukum yang terintegrasi dan konsisten merupakan faktor penting yang melatarbelakangi keberhasilan dalam mendongkrak pengolahan sumber energi terbarukan. Peraturan perundang-undangan yang konsisten dan teringrasi ini lantas mengantar Jerman menjadi negara tercepat dan tersukses di sektor pengolahan sumber energi angin. Saat ini setidaknya 40% warga Jerman telah menggunakan energi angin dalam memasok kebutuhan energinya.

Instrumen hukum memang terbukti menjadi elemen pendukung yang begitu efektif dalam mengantisipasi resiko dalam pengolahan sumber energi terbarukan yang juga sangat berdampak erat pada praktik-praktik turunan di lapangan. Berkaitan dengan hal ini, sejatinya konstitusi Indonesia telah memberikan kerangka atau konstruksi dalam penggunaan dan pemanfaatan energi terbarukan. Salah satunya terdapat dalam Pasal 33 ayat (3) UUD 1945 yang berbunyi: "Bumi, air, dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan sebsar-besarnya untuk kemakmuran rakyat". Adanya pasal tersebut secara tidak langsung berperan sebagai akses bagi pembuat undang-undang untuk dapat merumuskan peraturan perundang-undangan yang mengatur perihal energi terbarukan.

Berdasar pada Pasal 33 ayat (3) UUD 1945, saat ini telah berlaku beberapa undang-undang yang mengatur perihal pengelolaan sumber energi terbarukan. Mulai dari persoalan energi yang diatur dalam UU No. 30 Tahun, persoalan ketenagalistrikan yang diatur dalam UU No. 30 Tahun 2009, hingga persoalan panas bumi yang diatur UU No. 21 Tahun 2014. Tak hanya itu, telah diterbitkan berbagai aturan pelaksana dalam upaya mengembangkan program pengelolaan energi terbarukan. Beberapa peraturan pelaksana yang telah diterbitkan antara lain: Peraturan Pemerintah (PP) No. 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi, Peraturan Presiden No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, Peraturan Menteri ESDM No. 39 Tahun 2007 tentang Pelaksanaan Kegiatan Fisik Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan serta Konservasi Energi, dan Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional.

Saat ini dari begitu banyak instrumen hukum yang ada, upaya pengoptimalan penggunaan energi terbarukan Indonesia baru terlihat dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. PP tersebut telah memberikan gambaran kasar perihal bagaimana visi pemerintah dalam pengelolaan energi terbarukan. Beberapa niatan pemerintah yang termaktub dalam PP tersebut antara lain:

1) Pasal 9 huruf f; menyebutkan bahwa pada tahun 2025, prosentase penggunaan energi baru dan terbarukan ditargetkan mencapai angka 23%, kemudian bertambah menjadi 31% pada tahun 2050. Diikuti dengan pemangkasan peranan energi fosil, seperti minyak bumi, batubara, dan gas bumi secara perlahan dari tahun ke tahun.
2) Pasal 11 ayat (2); menyebutkan perihal pemaksimalan dan pengoptimalan penggunaan energi terbarukan diikuti peminimalan penggunaan minyak bumi dalam upaya pengembangan energi nasional.
3) Pasal 20 ayat (4) huruf c; menyebutkan bahwa penetapan harga jual energi terbarukan akan menggunakan mekanisme *feed-in tariff* sebagaimana telah dipraktikan di Jerman.

Ditetapkannya kebijakan dalam PP tersebut bertujuan untuk tercapainya ketahanan, kemandirian, dan kedaulatan energi nasional dengan peran dari energi terbarukan. Dalam hal ini, peran energi terbarukan berada di posisi yang begitu penting dalam laju percepatan ketersediaan dan pemerataan energi nasional. Terpenuhinya kemandirian, ketahanan, dan kedaulatan energi adalah berbanding lurus dengan terpenuhinya akses masyarakat Indonesia dalam melaksanakan aktivitasnya, terkhusus bagi daerah-daerah terluar Indonesia.

Sayangnya pengaturan-pemgaturan tersebut masih terpisah dan tersebar ke dalam berbagai undang-undang. Sementara itu, belum ada undang-undang yang secara spesifik dan tersistem mengatur perihal energi terbarukan. Visi pemerintah dalam mengelola energi terbarukan belum tertuang dalam bentuk undang-undang. Dengan kata lain, masih diperlukan sebuah payung hukum berkekuatan undang-undang yang memberikan pengaturan secara khusus mengenai energi terbarukan yang komprehensif dan nantinya menjadi landasan hukum dan acuan terhadap peraturan perundang-undangan turunannya. Hal ini menjadi sebuah urgensi seperti telah disebutkan sebelumnya terdapat berbagai instrumen hukum yang kini resmi berlaku dan tersebar mulai dari Undang-Undang, Peraturan Pemerintah, hingga Peraturan Menteri yang secara simultan menyinggung pengelolaan energi terbarukan. Keadaan tersebut menjadikan munculnya keadaan tumpang tindih yang dalam praktiknya akan memperlambat laju percepatan pengelolaan energi terbarukan. Ini mengantar pada permasalahan yuridis pertama, yaitu kekosongan undang-undang.

Kini, permasalahan pertama tersebut tengah dijawab oleh pemerintah bersama dengan DPR dengan merumuskan Rancangan Undang-Undang Energi Baru dan Terbarukan (RUU EBT) yang masuk dalam prolegnas tahun 2022 bersama dengan 40 RUU lainnya. Tujuannya jelas; sebagai wujud aktualisasi hak penguasaan negara

demi kemakmuran dan kesejahteraan rakyat melalui energi terbarukan dengan berlandaskan kepada Pasal 20, Pasal 21, dan Pasal 33 UUD 1945. Harapannya adalah optimalisasi pemanfaatan besarnya potensi sumber energi terbarukan sehingga dapat memberikan implikasi positif bagi pembangunan nasional yang merata. Secara yuridis, RUU tersebut nantinya dapat menjadi payung hukum dalam pengelolaan sumber energi terbarukan sekaligus landasan hukum dalam penerbitan peraturan pelaksana yang lebih teknis mengatur perihal pelaksanaan eksplorasi dan pengelolaan sumber energi terbarukan di lapangan.

Menjadi payung hukum berarti sebuah undang-undang harus dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan dan di saat yang sama dapat memberikan pengaturan secara komprehensif terkait dengan pengelolaan energi terbarukan di Indonesia. Dalam hal ini, RUU EBT belum bisa menjadi keduanya. Sebab di dalamnya masih terdapat berbagai kelemahan yang mendegradasi kemaslahatan yang dibawa oleh RUU EBT. Ini merupakan permasalahan yuridis yang kedua yaitu masih ditemukannya kelemahan dalam naskah RUU EBT, antara lain:

1) Belum memerhatikan konsep *trilemma* energi

Pada tahun 2010, *World Energy Council* memperkenalkan sebuah konsep unik guna menganalisa performa sistem dan penggunaan energi di berbagai negara. Konsep ini dinamakan "*Trilemma Energy*". Secara singkat, konsep trilemma energi memaparkan bahwa pemenuhan dan pemerataan energi dari suatu negara energi harus dapat memiliki keseimbangan antara tiga aspek energi, antara lain: (1) *Energy Security* atau keamanan energi, (2) *Energy Access* atau akses energi, dan (3) *Environmental Sustainability* atau Keberlanjutan Lingkungan (Weiss et al., 2021).

Aspek pertama, *Energy Security* adalah tentang seberapa jauh energi yang tersedia mampu memenuhi kebutuhan masyarakat baik untuk masa kini atau masa mendatang. Aspek kedua, *Energy Access* yang bicara mengenai keterjangkauan energi bagi seluruh lapisan masyarakat. Keterjangkauan di sini tidak hanya dilihat dari segi fisik (*accessibility*) dari sumber energi terkait, melainkan juga dari sisi harga (*affordability*). Terakhir, aspek ketiga, *Environmental Sustainability* adalah perihal bagaimana pengelolaan energi mampu berdampak baik bagi lingkungan termasuk pula mencegah dan memberikan mitigasi potensi kerusakan lingkungan sehingga pengelolaan dapat dilakukan secara terus menerus atau kontinuu.

Sayangnya, RUU EBT belum mampu mengakomodir ketiga aspek tersebut secara seimbang. Faktanya, RUU tersebut masih berfokus pada paradigma *Energy Security* semata. RUU EBT masih begitu bersandar pada penyediaan energi terbarukan dan seakan mengesampingkan dua aspek lainnya. Sebagai contoh, dalam Bab VI tentang Penyediaan dan Pemanfaatan yang mencakup Pasal 20 sampai dengan Pasal 26 menunjukkan betapa RUU ini begitu mendorong penyediaan energi terbarukan dengan memaksimalkan peran dari Badan Usaha. Dalam pasal lain tidak dijelaskan secara komprehensif perihal bagaimana akses masyarakat terhadap energi dan/atau sumber energi terkait dari segi fisik. Bicara dari keterjangkauan harga, tidak terlihat dengan jelas skema yang ditawarkan agar masyarakat dapat menikmati energi terbarukan dengan biaya atau ongkos yang terjangkau. Pengaturan dalam Bab

IX tentang Harga Energi Baru dan Terbarukan hanya memberikan indikator-indikator yang harus diperhatikan dalam menentukan harga energi terbarukan untuk dapat dikonsumsi masyarakat.

Uniknya keadaan berkebalikan justru terjadi di negara-negara eropa. Šprajc dkk (2019) menjelaskan berdasarkan indeks *trilemma* energi pada tahun 2017 dan 2018, keterjangkauan energi dan keberlanjutan lingkungan di negara-negara eropa menunjukkan performa yang sangat signifikan. Dengan kata lain, negara-negara eropa telah memenuhi dua dari tiga aspek *trilemma* energi. Adalah ketahanan energi yang masih menjadi tantangan tersendiri bagi negara-negara (Šprajc et al., 2019). Hal ini cukup miris mengingat sebagai negara dengan potensi energi terbarukan yang begitu melimpah, harusnya Indonesia memiliki ketahanan energi yang bersumber dari energi terbarukan yang kemudian diikuti dengan keterjangkauan dan keberlanjutan lingkungan yang baik. Namun fakta menunjukkan sebaliknya.

2) Ambiguitas prioritas energi

RUU Energi Baru dan Terbarukan seharusnya menjadi angin segar dalam upaya pemaksimalan potensi sumber energi terbarukan di Indonesia. RUU yang disinyalir menjadi wujud dari niat baik pemerintah dalam mengimplementasi Paris Agreement ini diharapkan mengawali transisi paradigma dan penggunaan energi bagi masyarakat Indonesia, yang semula dan masih berfokus pada energi fosil menuju sumber energi yang ramah lingkungan.

Upaya pembangunan dan pemerataan energi tidak dapat berjalan bilamana masih bersandar pada penggunaan energi fosil semata. Melainkan transisi menuju penggunaan energi terbarukan harus segera dimulai. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan peran energi terbarukan dalam bauran energi nasional secara bertahap namun pasti. Dengan kata lain, energi terbarukan seharusnya menjadi prioritas utama untuk dikembangkan. Akan tetapi pengaturan di dalam RUU EBT seakan-akan tidak sepenuh hati untuk mewujudkan target tersebut. Masih terlihat ambiguitas di dalam RUU EBT terkait dengan jenis energi mana yang sebenarnya menjadi prioritas untuk digunakan dalam memasok kebutuhan masyarakat Indonesia. Di dalam RUU ini, masih dapat dirasakan niatan untuk mengembangkan sumber energi fosil; terutama pengembangan bentukan-bentukan baru dari sumber energi batu bara. Hal tersebut dapat terlihat dalam terminologi yang acap kali digunakan di dalam batang tubuh RUU ini.

Dari 40 pasal yang termaktub dalam RUU ini, seluruh terminologi yang digunakan dalam mengelola sumber energi terbarukan tak dapat terpisah dari pengelolaan energi baru jua. Mulai dari perencanaan, perizinan, penyelenggaraan, penguasaan, dan masih banyak lagi. Padahal energi baru adalah berasal dari pengolahan energi fosil, seperti energi nuklir, gas metana batu bara (*cool bed methane*), dan batu bara tercairkan (*liquefied cool bed*). Hal serupa juga terjadi dalam Bab XI tentang Dana Energi Baru dan Terbarukan. Di mana secara terminologi, pendanaan energi terbarukan dan energi baru selalu mendapat porsi yang seimbang, berasal dari sumber yang sama, dan dialokasikan untuk kebutuhan yang sama. Terminologi-terminologi dalam RUU EBT ini menunjukkan ketidakseriusan yang mengarah pada

ambiguitas dari pihak pemerintah. Energi baru atau energi terbarukan; mana yang sebenarnya menjadi prioritas?

b. Permasalahan Sosial

Tak hanya sektor yuridis yang menyangkut segala macam permasalahan hukum dan peraturan perundang-undangan, penerapan kebijakan energi terbarukan di Indonesia juga masih dirundung masalah lain dari sektor sosial. Permasalahan yang datang dari sektor ini memiliki kekuatan yang tak kalah hebat dari sektor yuridis untuk menghambat percepatan penerapan kebijakan energi terbarukan. Permasalahan-permasalahan yang muncul di sektor sosial datang dari berbagai skala. Mulai dari permasalahan di tingkat mikro hingga masalah di tingkat makro. Seluruhnya melebur secara kompleks bahkan beberapa terjadi secara struktural. Oleh karenanya diperlukan penyelesaian yang perlahan namun konsisten dan pasti demi mengurai permasalahan-permasalahan tersebut. Beberapa permasalahan sosial yang menghambat penerapan kebijakan energi terbarukan antara lain:

1) Belum Tercipta Iklim Investasi Yang Memadai

Sudah menjadi rahasia umum bagaimana investasi memainkan peran penting dalam mendorong pembangunan nasional. Peran investasi menjadi mutlak diperlukan sebab dalam praktiknya pembangunan nasional tidak dapat berjalan jika hanya bersandar pada pendanaan yang berasal dari sektor publik sebab terbatasnya kemampuan pemerintah. Oleh karenanya, tak heran apabila pendanaan dari sektor swasta dalam hal penanaman modal dan investasi menjadi mata air dalam menggerakkan pembangunan nasional. Melalui investasi, berbagai sarana produksi yang dibutuhkan dalam pengelolaan energi terbarukan dapat tersedia sehingga dapat mengoptimalkan *output* yang dihasilkan. Hal ini akan berimplikasi pada bertambahnya mutu dan nilai dari produk energi yang berpengaruh pada percepatan pembangunan dan pemerataan energi. Dengan demikian, penting untuk menciptakan iklim investasi yang sehat dalam pengelolaan energi terbarukan nantinya.

Sayangnya, fakta di lapangan belum menunjukkan adanya iklim investasi yang memadai. Minat investasi bagi sektor energi terbarukan di Indonesia masih begtu rendah. Dilansir dari CNBC Indonesia, data terbaru dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menunjukkan bahwa sepanjang tahun 2021, realisasi investasi energi terbarukan hanya sampai pada angka 1,51 Miliar Dollar AS dari target semula yaitu sebesar 2,04 Miliar Dollar AS (CNBC Indonesia, 2022). Angka tersebut bahkan masih berbaur dengan investasi untuk energi baru. Dengan kata lain, investasi pada energi terbarukan semata pasti berada pada angka yang lebih kecil lagi. Tidak maksimalnya investasi bagi pengembangan energi terbarukan nampaknya berbanding lurus dengan tercapainya tingkat bauran energi terbarukan pada tahun 2021. Data dari Kementerian ESDM menunjukkan prosentase penggunaan energi baru terbarukan pada tahun 2021 hanya mencapai angka 11,5%. Angka tersebut masih jauh dari target 23% yang dicanangkan pemerintah pada tahun 2025 mendatang.

Skema ini pada dasarnya memiliki dua fungsi utama. *Pertama*, fungsi "*feed-in*" yaitu skema ini akan membiayai seluruh energi lsitrik yang dihasilkan dari proyek energi terbarukan hingga ke pembangkit listrik. *Kedua*, fungsi "*tariff*" di mana harga yang ditetapkan dalam skema ini adalah lebih tinggi dari harga pasar. Imbas dari hal ini adalah skema jangka panjang dengan kisaran waktu mulai dari 15-30 tahun atau bahkan seumur hidup. Yang menarik dari skema ini adalah keuntungan dari uang kembal

Tak bisa dipungkiri, lagi-lagi ketidakhadiran payung hukum menjadi salah satu faktornya. Dengan tidak adanya payung hukum menyebabkan rendahnya minat investasi di Indonesia. Sebab hal tersebut menyebabkan ketidakjelasan ekosistem industri energi terbarukan yang hendak dibangun di Indonesia. Saat ini, pengaturan terhadap energi terbarukan yang tersebar di berbagai regulasi justru mempersulit iklim investasi di Indonesia. Hal ini dikarenakan dengan banyaknya aturan menjadikan mekanisme investasi sangat rumit. Belum lagi dengan adanya disharmonisasi antar aturan terkait skema penetapan harga jual yang sebelumnya telah disebutkan. Tidak adanya kepastian dan perlindungan yang seharusnya hadir bersama dengan payung hukum memicu keraguan bagi para investor untuk menanamkan modalnya bagi pengembangan energi terbarukan.

Bukan hanya ketidakhadiran undang-undang, kendala lain yang menyebabkan rendahnya minat investasi di Indonesia adalah masih kurangnya data yang memadai. Potensi energi terbarukan di Indonesia sungguh luas dan beraneka ragam. Sumber energi terbarukan sejatinya dapat menjadi komoditas yang begitu menguntungkan. Sayangnya potensi-potensi tersebut belum dapat terangkum dalam bentuk data dengan jelas dan mutakhir. Padahal, data memegang peranan penting dalam mekanisme investasi. Data merupakan kunci bagi investor dalam menentukan keputusan investasinya. Investor memerlukan data untuk melakukan analisis apakah suatu sektor dapat menguntungkan dan memiliki prospek atau sebaliknya. Tak hanya itu, data tersebut nantinya juga diperlukan pemerintah untuk melakukan pengawasan dan pembinaan lebih lanjut.

2) Kemungkinan Praktik Korupsi Mengintai

Telah disinggung sebelumnya bahwa sumber energi terbarukan bisa menjadi komoditas yang begitu menguntungkan lagi menggiurkan dalam beberapa tahun mendatang. Dan dalam pelaksanaannya, pasti akan hadir sejumlah oknum dari berbagai kalangan masyarakat yang berniat meraup keuntungan pribadi atau kelompok dari pengelolaan sumber energi terbarukan ini. Oleh karena itu, selain datang dari masyarakat di mana konsumsi energinya masih begitu bergantung terhadap energi fosil, masalah lain juga datang dari beberapa pihak yang memiliki akses terhadap "komoditas potensial" itu di mana pihak-pihak tersebut dapat dengan mudah memonopoli dan melangsungkan praktik korupsi terhadap berbagai sumber energi terbarukan itu sendiri.

Saat ini jika bicara mengenai kasus tindak pidana korupsi, Indonesia menjadi negara yang bercokol di *ranking* atas. Sudah pula menjadi rahasia umum bahwa banyak dari kasus-kasus korupsi tersebut dilakukan oleh para pejabat kerah putih.

Jika diibaratkan sebagai penyakit, korupsi dapat dikategorikan ke dalam tiga tahap. *Pertama*, tahap Elitis; di mana korupsi menjadi patologi yang hanya berkutat di lapisan para elit dan pejabat. *Kedua*, tahap Endemik; di mana tak hanya lapisan elit atau pejabat, korupsi telah mampu menjangkau banyak lapisan masyarakat secara luas. Dan *ketiga*, tahap Sistemik; ketika setiap individu telah terjangkit praktik korupsi bahkan dalam bentuk yang paling sederhana (Santoso & Meyrasyawati, 2015).

Tak bisa dipungkiri, praktik korupsi telah menjamur dalam setiap level atau kalangan masyarakat. Mulai dari pejabat setingkat desa, kabupaten, provinsi, hingga pusat. Saat ini pula tidak ada lembaga pemerintahan yang tidak bersih dari praktik dan mental korupsi. Layaknya senyawa aditif, korupsi dapat menyebabkan perasaan candu yang membawa wabah buruk bagi masyarakat umum. Lopa (1997) menjelaskan bahwa penyebab utama korupsi adalah lekat dengan faktor ekonomi (Arifin & Putri, 2019). Dengan menggelapkan uang rakyat, mulanya para koruptor ingin mempertahan taraf hidupnya. Akan tetapi hal tersebut justru menjadi candu sehingga dilakukan terus menerus. Perlahan namun pasti, korupsi memang telah menjadi parasit yang merusak segala lini kehidupan berbangsa dan bernegara.

Keberadaannya secara pasti menyebabkan berbagai kerugian terkhusus di sektor keuangan yang nyata dan memukul mundur perekonomian serta pembangunan Indonesia. Pada tahun 2021, *Indonesia Corruption Watch* (ICW) merilis data terkait kerugian keuangan negara yang ditimbulkan akibat adanya kasus korupsi sepanjang tahun tersebut. Hasil menunjukkan bahwa pada tahun 2021, korupsi terbukti menyebabkan kerugian keuangan negara sebesar Rp62,9 Triliun. Betapa banyak program pembangunan yang dapat terselesaikan dengan jumlah sebesar itu. Tak berhenti sampai di situ, jumlah tersebut bahkan telah melampaui kerugian di tahun sebelumnya yaitu sebesar Rp56,7 Triliun (Tempo, 2022).

Baik itu permasalahan yuridis maupun sosial, keduanya merupakan hambatan bagi bangsa ini untuk menerapkan kebijakan energi terbarukan di Indonesia. Masalah kian bertambah disebabkan keduanya telah tercipta secara struktural dan memiliki hubungan kausalitas (interdependensi). Seperti halnya praktik korupsi yang telah menjadi parasit dari waktu ke waktu atau buruknya iklim investasi yang muncul asbab ketidakhadiran undang-undang sehingga tidak ada kejelasan dan perlindungan hukum perihal pengelolaan energi terbarukan di Indonesia. Memerhatikan fakta ini, maka sebelum melangkah lebih jauh bangsa Indonesia harus benar-benar memahami masalah-masalah yang telah diuraikan lantas memberikan andil bagi pengelolaan energi terbarukan sehingga percepatannya dapat dilakukan dengan optimal dan kontinyu.

4. Kesimpulan

Daratan dan lautan yang begitu luas, permasalahan mutlak Indonesia dalam berbagai sektor terkhusus pembangunan dan ekonomi adalah akses pada pemerataan energy, dalam proses pemerataannya diperlukan jumlah energi yang sangat besar, dengan memerhatikan dampak buruk yang ditimbulkan energi fosil, maka hendaknya laju percepatan pembangunan dan ekonomi disokong

menggunakan energi terbarukan yang ramah lingkungan dan dapat digunakan secara terus menerus. Mengingat juga potensi sumber energi terbarukan Indonesia yang begitu menjanjikan dan tersebar di seluruh penjuru negeri. Sayangnya, pengelolaan energi terbarukan masih menjumpai beberapa hambatan. Secara umum, hambatan ini terbagi ke dalam dua aspek; yaitu dalam bentuk permasalahan yuridis dan permasalahan sosial. Dari segi yuridis, permasalahan pertama hadir dengan belum adanya undang-undang yang khusus mengatur perihal pengelolaan energi terbarukan secara tersistem dan komprehensif. Saat ini permasalahan pertama tersebut tengah dijawab oleh pemerintah dan DPR dengan merumuskan Rancangan Undang-Undang Energi Baru dan Terbarukan atau RUU EBT. Namun hal ini justru mengantar kepada permasalahan yang kedua, yaitu naskah RUU EBT yang ada belum mampu menjawab permasalahan-permasalahan yang ada di masyarakat. Seperti permasalahan trilemma energi dan belum adanya prioritas dari pemerintah dalam mengelola sumber energi terbarukan. Sementara itu, hambatan lain datang dari permasalahan sosial yang kekuatannya tak kalah hebat dari permasalahan yuridis. Dari segi sosial, permasalahan pertama hadir dengan belum tercipta iklim investasi yang baik untuk menyokong pendanaan pengelolaan sumber energi terbarukan. Padahal, investasi merupakan instrument penting dalam menjalankan pembangunan nasional berkelanjutan oleh sebab kemampuan finansial pemerintah yang terbatas. Usut punya usut hal ini dikarenakan belum adanya undang-undang yang memberikan pengaturan pasti menyoal skema pendanaan seperti apa yang akan digunakan dan belum adanya data yang memadai bagi investor untuk mempermudah alur investasi.

Daftar Referensi

Abdullah, Ilmi. Nurdin, Jufrizal., Hasanuddin, H. (2016). Kajian Potensi Energi Angin di Daerah Kawasan Pesisir Pantai Serdang Bedagai Untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Jurnal Ilmiah "MEKANIK" Teknik Mesin ITM*, 2(1), 31–38.

Adistia, N. A., Nurdiansyah., R. A., Fariko, Juno., Vincent., Simatupang, J. W. (2022). Potensi Energi Panas Bumi, Angin, dan Biomassa Menjadi Energi Listrik di Indonesia. *Jurnal Teknik Elektro*, 22(2), 105–116. DOI: 10.24912/tesla.v22i2.9107

Ahluriza, P., Harmoko, U. (2021). Analisis Pemanfaatan Tidak Langsung Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(1), 53–59. https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11075

Alrikabi. (2014). Renewable Energy Types. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2(1), 61–64. DOI: 10.7763/JOCET.2014.V2.92

Arifin, R., & Putri, W. O. (2019). Penegakan Hukum Terhadap Anggota Legislatif dalam Kasus Tindak Pidana Korupsi di Indonesia. *Al Daulah: Jurnal Hukum Pidana Dan Ketatanegaraan*, 8(1), 1–15. https://doi.org/10.24252/ad.v8i1.7367

Derbali, A., Wu, S., Jamel, L. (2020). OPEC news and predictability of energy futures returns and volatility: evidence from a conditional quantile regression. *Journal*

of Economics, Finance and Administrative Science, 25(50), 239–259. https://doi.org/10.1108/JEFAS-05-2019-0063

Kholiq, I. (2015). Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Subtitusi BBM. *Jurnal IPTEK*, 19(2), 75–91. https://doi.org/10.31284/j.iptek.2015.v19i2.12

Prasetyo, A., Notosudjono, D., Soebagja, H. (2019). Studi Potensi Penerapan dan Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Indonesia. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM)*, 1(1), 1–12.

Rendi, Rendi., Arifin, Jainal., Mujiburrahman., Trianiza, I. (2020). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikrohidro di Sungai Pintab dan Sungai Amandit Kalimantan Selatan. *Jurnal Engine: Energi Manufaktur, Dan Material*, 4(2), 46–52. http://dx.doi.org/10.30588/jeemm.v4i2.733

Rialp-Criado, A., Zolfaghari Ejlal Manesh, S.M., Moen, Ø. (2020). Home (not so) sweet home: Domestic political uncertainty driving early internationalisation in the Spanish renewable energy context. *Critical Perspectives on International Business*, 16(4), 379–406. https://doi.org/10.1108/cpoib-03-2018-0031

Santoso, L., & Meyrasyawati, D. (2015). Model Strategi Kebudayaan Dalam Pemberantasan Korupsi di Indonesia. *JRP (Jurnal Review Politik)*, 5(1), 22–45.

Sari, D. A., H. (2013). Proses Produksi Bioenergi Berbasis Bioteknologi. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 2(3), 108–113.

Šprajc, P., Bjegović, M., & Vasić, B. (2019). Energy security in decision making and governance - Methodological analysis of energy trilemma index. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109341

Taufiqurrahman, Asa., Windarta, J. (2020). Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia. *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 1(3), 124–132. https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10036

Weiss, O., Pareschi, G., Georges, G., & Boulouchos, K. (2021). The Swiss energy transition: Policies to address the Energy Trilemma. *Energi Policy*, 148. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111926

Widayana, G. (2012). Pemanfaatan Energi Surya. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan (JPTK)*, 9(1), 37–46. https://doi.org/10.23887/jptk-undiksha.v9i1.2876

Yandri, V. R. (2012). Prospek Pengembangan Energi Surya Untuk Kebutuhan Listrik di Indonesia. *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*, 4(1), 14–19. https://doi.org/10.25077/jif.4.1.14-19.2012

Brown, P. (2013), "European Union wind and solar electricity policies: overview and considerations", in CRS Report for Congress, Vol. 43176.

CEIC (2021). China Oil Consumption. Retrieved from https://www.ceicdata.com/en/indicator/china/oil-consumption, diakses pada 22 Juni 2022

CNBC Indonesia (2018). RI Punya Potensi 978 MW Tenaga Angin, Ini Sebarannya. Retrieved from https://www.cnbcindonesia.com/news/20180924102847-4-34413/ri-punya-potensi-978-mw-tenaga-angin-ini-sebarannya, diakses pada 22 Juni 2022

CNBC Indonesia (2022). Pak Jokowi! Investasi Energi Terbarukan Tak Capai Target Nih. Retrieved from https://www.cnbcindonesia.com/news/20220117122920-4-307921/pak-jokowi-investasi-energi-terbarukan-tak-capai-target-nih, diakses pada 29 Mei 2022

CNBC Indonesia. (2022). Terbesar Kedua Setelah AS, Panas Bumi RI Kunci Dekarbonisasi. Retrieved from https://www.cnbcindonesia.com/news/20220610160212-4-346084/terbesar-kedua-setelah-as-panas-bumi-ri-kunci-dekarbonisasi, diakses pada 22 Juni 2022

EIA (2022). How much oil is consumed in the United States?. Retrieved from https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=33&t=6, diakses pada 22 Juni 2022

EIA. (2022). What countries are the top producers and consumers of oil?. https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=709&t=6, diakses pada 22 Juni 2022

IESR (2021). Indonesia Solar Potential Report. Retrieved from https://iesr.or.id/en/agenda-iesr/indonesia-solar-potential-report, diakses pada 22 Juni 2022

Indonesia Investment (2015), "Energi Panas Bumi". Retrieved from https://www.indonesia-investments.com/id/bisnis/komoditas/energi-panas-bumi/item268, diakses pada 29 Mei 2022

Liputan6.com (2021). Masih Dominan, Penggunaan Energi Fosil di Indonesia Capai 88 Persen. Retrieved from https://www.liputan6.com/bisnis/read/4712371/masih-dominan-penggunaan-energi-fosil-di-indonesia-capai-88-persen, diakses pada 29 Mei 2022

Tempo.co (2022). Kerugian Akibat Korupsi Rp62 T di 2021, ICW Kritik KPK Cuma Tangani 1 Persen. Retrieved from https://nasional.tempo.co/read/1594071/kerugian-akibat-korupsi-rp62-t-di-2021-icw-kritik-kpk-cuma-tangani-1-persen/full&view=ok, diakses pada 29 Mei 2022

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Energy Procedia 61 (2014) 945 – 948

Energy Procedia

The 6th International Conference on Applied Energy – ICAE2014

Impact of the Renewable Energy Sources on the Energy Security

Juozas Augutis[a], Linas Martišauskas[b*], Ričardas Krikštolaitis[a], Elvyra Augutienė[c]

[a]*Vytautas Magnus University, Vileikos str. 8, LT-44404 Kaunas, Lithuania*
[b]*Lithuanian Energy Institute, Breslaujos str. 3, LT-44403 Kaunas, Lithuania*
[c]*Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Tvirtovės ave. 35, LT-50155 Kaunas, Lithuania*

Abstract

Reliable electricity and heat production as well as related issues are one of the components of the energy security. Considerable part of general energy sector consists of renewable energy sources, such as wind, photovoltaic (PV), biofuel and hydro. Thus, it is important to assess which renewable resources in the most efficient way should be used and which part of the subsequent energy sector should be covered by energy system of renewable energy sources.
In the context of renewable resources the key criteria assessing energy security are the amount of unsupplied energy and the price increase of supplied energy for all possible disturbance cases. Various scenarios of renewable energy sources usage are analyzed in the article that help to predict which one of the scenarios would be the "best" in terms of the energy security and provides a possibility to forecast perspective development of the energy sector.

© 2014 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/).
Peer-review under responsibility of the Organizing Committee of ICAE2014

Keywords: Energy security; renewable energy sources; development scenarios; disturbances.

1. Introduction

In recent years the European Union (EU) strongly promotes the use of energy from renewable energy sources (RES). The Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council indicated a target to reach particular share of energy from RES in its gross final consumption for 2020 for each EU Member State. According this Directive, Lithuania should achieve 23% energy generation from RES.

In this context Lithuania successfully implements its commitments. In 2012 total share of RES used in the energy balance was 21.72%, which accounted for approximately 95% of its obligations. The best situation is in the electricity system. Until Ignalina Nuclear Power Plant (INPP) shutdown the majority of electricity was generated by INPP. But after shutdown INPP in 2010 the part of RES in 2012 increased up

* Corresponding author. Tel.: +370-37-401938; fax: +370-37-351271.
E-mail address: linasm@mail.lei.lt.

PERPUSTAKAAN NASIONAL

102 © 2014 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license
tivecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/).
nder responsibility of the Organizing Committee of ICAE2014
ypro.2014.11.1001

to 29.3%: electricity generated from hydro power plants (PP) is approximately 18.6%, while from wind PP is approximately 10.7%. Especially huge increase is observed in the area of wind PP: from 2007 till 2012 electricity generating capacity increased more than five times (Fig. 1a). Slightly moderate increase in terms of renewable energy was observed in the district heating system: from 2004 RES part in the district heating system increased in approximately 2% per year (Fig. 1b). Just in 2012 the increase was approximately 5%. It is possible to justify this achievement by the significantly increased natural gas prices for Lithuania. In 2012 Lithuania paid almost the highest natural gas price for Gasprom (Russia) in Europe. More comprehensive review of RES usage in Lithuania is presented in [1].

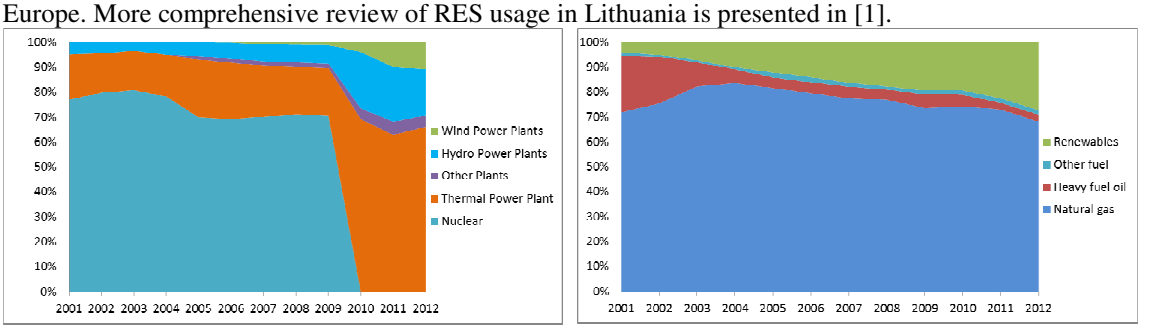


Fig. 1. (a) Electricity balances; (b) Heat balances

The increasing share of RES in energy production also affects Lithuanian energy security. Energy security variation dependence on RES is examined in this article using the methodology briefly described below.

2. Methodology

The methodology for the assessment of energy systems energy security in terms of system's resistance to disturbances is briefly presented in the article. The methodology can be applied in a broad sense for both any energy sector of particular country or region as well as the individual energy system of this sector.

RES also have a significant impact on the energy security as well as other energy sources. Since the recent developments of RES worldwide are extremely rapid, it is necessary to analyze how these developments will impact the energy security. There are no research conducted, were these effects are fully analyzed, and it is unclear how congestion of RES installed capacities affects the systems security in terms of energy security.

The main objective of the article is to test the assumption – how RES affect energy security, i.e. to show that RES not only enhance energy security, but in some cases or from some time perspectives start to reduce it. Therefore it is a hypothesis that as long as RES do not take significant share in energy production of RES compared to gross final consumption, the development of RES is a positive factor and increases energy security to a certain level. However, when RES begin to dominate and take significant share in energy production, energy security level at some point reaches its peak and should start to fall. In order to test this hypothesis, energy security analysis methodology is applied, which is presented in more detail in previous studies [2, 3]. Energy security research using this methodology can be implemented step by step: identification and realization of threats to energy security; analysis of the disturbance development scenarios; formation of the prospective development scenarios of energy sector; economic-optimization modelling of the energy sector development scenarios with disturbances; evaluation of the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

disturbance consequences; calculation of the energy security coefficient (ESC); preparation of the conclusions and recommendations.

3. Case study of the impact of renewable energy sources on Lithuania's energy security

3.1. Modelling assumptions and scenarios

Application of briefly above presented model of RES development and its impact on energy security is performed for Lithuanian energy sector. It has been tested in various RES development scenarios in the sector. The current situation of RES in Lithuania was described in the introduction and scenarios are composed from 2013 to 2030. The situation in the Lithuanian energy sector in all analyzed scenarios is the same as in the basic scenario and starting from 2015 vary depending on the analyzed scenario.

Three main scenarios (SC1, SC2 and SC3) were analyzed. Basic scenario is considered as the main scenario in which the Lithuanian energy sector is developing as it is intended until 2030. Major events and development projects in this scenario can be found in the National Energy Independence Strategy [4]. The first scenario (SC1) is considered the basic scenario. The following scenarios are composed in the basis of the basic scenario however the development of RES is significantly faster. In the second scenario (SC2), since 2015 RES installed capacities start increasing in the way that electricity production from RES is 5% more than in the basic scenario of total electricity consumption every year. In this way electricity production from RES in 2030 could reach 80% of total consumption in the second scenario. The third scenario (SC3) is very similar to the second, however in this scenario RES development is even faster and since 2015 RES installed capacities start increasing in such way that electricity production from RES is 10% more than in the basic scenario of total electricity consumption every year. In this way electricity production from RES in 2030 theoretically could reach 150% of total electricity consumption.

Rapid growth of wind PP installed capacity in second and third scenarios cause issue of electricity reservation. In order to maintain sufficient reserves for electricity production variable costs of wind PP technologies are increasing depending on their installed capacity.

3.2. Results

The obtained results show that ESC in 2013 is 0.58 and it is the same for all analyzed scenarios since they begin to vary from 2015 (Fig. 2). In the case of the first (basic) scenario, implementation of already planned and under development projects would allow ESC reach the peak value of analyzed period in 2016 (Fig. 2). From this particular year ESC would start to decrease due to gradual shutdown of the old Lithuanian power plant (LPP) and cogeneration PP units. Extreme drop in energy security in 2020 would be felt due to complete closure of the above mentioned units. ESC would be decreasing further if any new projects would not be implemented in the energy sector.

In the case of the second scenario, from 2015 in the initial years there would not be significant difference in energy security level since RES installed capacity would not dominate. As far as possible the more noticeable difference from the basic scenario is presented in Fig. 2. In 2020 complete shutdown of old LPP and cogeneration PP units would cause negligible decrease since 2020 RES capacities would not be yet sufficient to completely replace the old LPP units in the energy production. However this decrease would be slight. About 2024–2025, when RES would reach significant share in energy production, ESC would start to fall and would reach 0.67 in 2030. In the case of the third scenario ESC would increase a bit faster up to a certain level than in other scenarios. In 2022 ESC would be almost equal to the second scenario ESC and would start decrease and this decrease would be more rapid than in the second scenario. In 2030 ESC would reach the level almost as in the basic scenario (Fig. 2).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

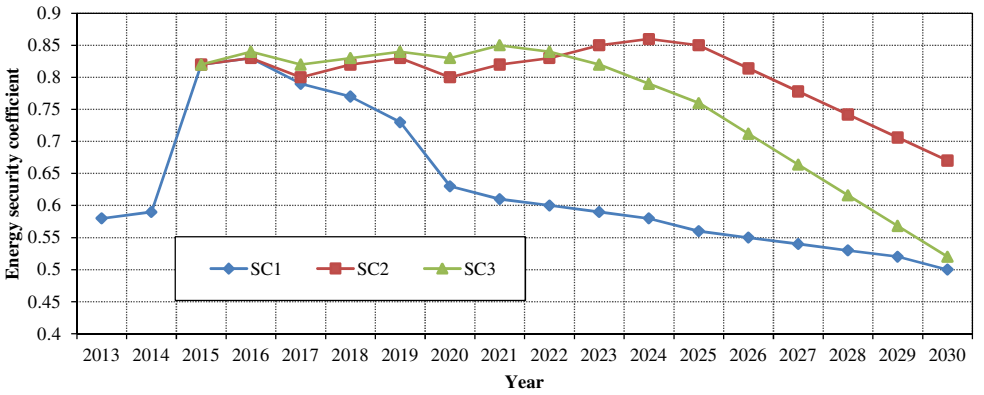


Fig. 2. Energy security coefficient of the analyzed RES development scenarios variation over time

Such variation in the energy security level is due to issues related to energy reservation, uneconomic electricity production of biofuel PP in summer and threat of monopoly in biofuel market. But if renewable and especially grid technologies would be significantly improved in the future in terms of energy reservation, the energy security could be higher compared to the obtained results of analyzed scenarios.

4. Conclusions

Energy security investigation methodology briefly presented in the article allows the assessment of energy security of the energy sector development scenarios and to define impact of various energy production technologies on energy security. The application of the methodology by comparing Lithuania's RES development scenarios leads to the conclusion, that RES development has a positive impact on energy security and increases it, however, to a certain level, when share of RES in energy production reaches about 60–70%. If this value is exceeded then RES start adversely affect the energy security due to a domination of one technology in energy production and increased probability of monopoly threat realization in the biofuel market which could lead to a significant increase in biofuel prices.

Acknowledgements

This research was funded by a grant (No. ATE-06/2012) from the Research Council of Lithuania.

References

[1] Katinas V, Markevicius A, Perednis E, Savickas J. Sustainable energy development – Lithuania's way to energy supply security and energetics independence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2014;**30**:420-428.

[2] Augutis J, Martišauskas L. Assessment of energy security level variation in Lithuanian energy system. *Energetika* 2013;**59**:113–123 (in Lithuanian).

[3] Augutis J, Krikštolaitis R, Martišauskas L. Energy security assessment using partial equilibrium models. *International Conference on Applied Energy* ICAE 2013: July 1–4, 2013, Pretoria, South Africa. p. 1–9.

[4] National Energy Independence Strategy of the Republic of Lithuania. Approved by Resolution No XI-2133 of the Seimas of the Republic of Lithuania of 26 June 2012. Vilnius: Ministry of Energy of Republic of Lithuania, 2012.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional

Muhamad Azhar
Fakultas Hukum, Universitas Diponegoro
azhar@live.undip.ac.id

Dendy Adam Satriawan
Mahasiswa Fakultas Hukum, Universitas Diponegoro
dendysatria603@gmail.com

Abstract

This study aims to determine the implementation of new energy and renewable energy policies in the context of national energy security. The research method used is legal research that uses a regulatory approach. The results of the study show that the implementation of new energy and renewable energy policies in the context of national energy security has proceeded as it should. This can be seen from the role of the government in making policies (beleid) and management actions (bestuursdaad), arrangements (regelendaad), management (beheersdaad) and supervision (toezichthoudensdaad) for the purpose of maximizing the people's prosperity.

Keywords: *Energy Policy, Renewable Energy, National Energy Security*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Implementasi kebijakan energi baru dan energi terbarukan dalam rangka ketahanan energy nasional. Metode penelitian yang diguankan adalah penelitian hukum yang menggunakan pendekatan peraturan perundang-undangan. Hasil penelitian menunjukan bahwa Implementasi kebijakan energi baru dan energi terbarukan dalam rangka ketahanan energy nasional telah berjalan sebagaimana mestinya. Hal tersebut dapat dilihat dari dari peran pemerintah untuk mengadakan kebijakan (beleid) dan tindakan pengurusan (bestuursdaad), pengaturan (regelendaad), pengelolaan (beheersdaad) dan pengawasan (toezichthoudensdaad) untuk tujuan sebesar-besarnya kemakmuran rakyat.

Kata kunci: *Kebijakan Energi, Energy Terbarukan, Ketahanan Energi Nasional*

A. Pendahuluan

Penggunaan energi di Indonesia masih di dominasi oleh penggunaan energi tak terbarukan yang berasal dari fosil, khususnya minyak bumi dan batu bara[1], namun seiring berjalannya waktu, ketersediaan energi fosil semakin menipis dan untuk mengantisipasinya energi baru terbarukan (EBT) merupakan alternatif terbaik[2]. Penggunaan energi baru dan terbarukan harus menjadi perhatian utama pemerintah Indonesia tidak hanya sebagai upaya untuk mengurangi pemakaian energi fosil melainkan juga untuk mewujudkan energi bersih atau ramah lingkungan[3].

Kekayaan sumber energi yang ada di Indonesia dikuasai oleh negara sebagaimana diatur dalam Konstitusi, yaitu pada pasal 33 ayat (3) Undang Undang Dasar 1945 yang berbunyi " bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat ". Secara tegas Pasal 33 ayat (3) UUD NRI 1945 mengandung 3 (tiga) unsur penting, yaitu:[4] 1. Substansi (sumber daya alam); 2. Status (dikuasai oleh negara); 3. Tujuan (untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat). Berdasarkan konstitusi, eksistensi penguasaan dan pengusahaan sumber daya alam yang fundamental bagi kehidupan berbangsa dan bernegara dilakukan oleh negara[5].

Rakyat secara kolektif dikonstruksikan oleh UUD 1945 memberikan mandat kepada negara untuk mengadakan kebijakan *(beleid)* dan tindakan pengurusan *(bestuursdaad)*, pengaturan *(regelendaad)*, pengelolaan *(beheersdaad)* dan pengawasan *(toezichthoudensdaad)* untuk tujuan sebesar-besarnya kemakmuran rakyat[6]. Maka seluruh sumber energi harus dikuasai oleh negara dan wajib dipergunakan serta

[1] Muhammad Azhar, *The New Renewable Energy Consumption Policy of Rare Earth Metals to Build Indonesia's National Energy Security*, Conference Guidelines The 1st Sriwijaya Internasional Conference on Environmental Issues, di Hotel Horison Ultima, Palembang, Indonesia, 26 – 27 September 2018, hlm. 86.

[2] Biro Komunikasi, Layanan Informasi Publik dan Kerja Sama Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Jurnal Energi : Program Strategis EBTKE dan Ketenagalistrikan*, Edisi 02, 2016, hlm. 9.

[3] Aan Jaelani, *Renewable Energy Policy in Indonesia: The Qur'anic Scientific Signals in Islamic Economics Perspective*, International Journal of Energy Economics and Policy, Vol.7 No.4, 2017, hlm. 193.

[4] Zen Umar Purba, *Kepentingan Negara dalam Industri Perminyakan Indonesia, Hukum Internasional, Konstitusi dan Globalisasi*, Jurnal Hukum Internasional Vol.4 No.2, Januari 2007, Lembaga Pengkajian Hukum Internasional, FH Universitas Indonesia, halaman 257-258.

[5] Ahmad Redi, *Hukum Pertambangan Indonesia*, Jakarta: Gramata Publishing, 2014, hlm. 3.

[6] Komisi Yudisial Republik Indonesia, *Kompilasi Putusan Pengujian UU Oleh MK : Putusan Yang Dikabulkan Tahun 2003 – 2015*, Jakarta: Biro Rekrutmen, Advokasi, dan Peningkatan Kapasitas Hakim, Komisi Yudisial Republik Indonesia, 2015, hlm. 1009.

diusahakan secara optimal untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat Indonesia, guna mewujudkan salah satu cita-cita bangsa Indonesia yaitu memajukan kesejahteraan umum.

Penggunaan energi meningkat pesat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk[7]. Perkembangan teknologi yang semakin pesat memicu peningkatan kebutuhan akan energi, dalam hal ini peningkatan akan kebutuhan tenaga listrik dalam kehidupan sehari-hari masyarakat semakin meningkat. Konsumsi tenaga listrik selama lima tahun (2012-2016) terakhir mengalami peningkatan rata-rata 6,7% pertahun[8].

Energi listrik, sebagai salah satu hasil pemanfaatan kekayaan alam dan teknologi mempunyai peranan penting bagi negara dalam mewujudkan pencapaian tujuan pembangunan nasional[9]. Energi listrik seakan menjadi kebutuhan primer masyarakat. Pergeseran kebutuhan energi ini dalam kebutuhan hidup masyarakat tampak nyata di masa depan dengan kemajuan teknologi, seperti mulai dikembangkannya kompor elektrik, alat transportasi eletrik, dan alat-alat pemenuh kebutuhan manusia lainnya yang berbahan dasar listrik sebagai penggeraknya.

Kebutuhan masyarakat akan energi listrik terus bertumbuh setiap tahunnya[10]. Dalam waktu yang akan datang kebutuhan listrik akan terus meningkat seiring dengan adanya peningkatan dan perkembangan baik dari jumlah penduduk, jumlah investasi, perkembangan teknologi termasuk didalamnya perkembangan dunia pendidikan untuk semua jenjang pendidikan[11]. Guna memenuhi pertumbuhan kebutuhan listrik yang semakin meningkat, pemerintah terus berupaya untuk mengembangkan teknologi dan membangun pembangkit-pembangkit tenaga listrik yang sesuai dengan asumsi pertumbuhan ekonomi dan proyeksi kebutuhan listrik.

---

[7] Syamsir Abduh, *Pengelolaan Dana Ketahanan Energi*, Mineral & Energi, Vol.14 No.2, Juni 2016, Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, hlm. 4.

[8] Draft RUPTL PLN 2018-2027, hlm. IV-1.

[9] Komisi Yudisial Republik Indonesia, Op.cit, hlm. 1097.

[10] Muhamad Bobby Fadillah, *Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2015-2024 Wilayah PLN Kota Pekanbaru Dengan Metode Gabungan*, Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik, Vol.2 No.2, 2015, hlm. 1.

[11] Ahmad Wahid, *Analisis Kapasitas dan Kebutuhan Daya Listrik untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura*, Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, Vol.2 No.1, 2014, hlm. 2.

Pada dasarnya program pengembangan pembangkit tenaga listrik merupakan proyek pembangunan ketenagalistrikan yang diharapkan dapat menerapkan secara maksimal Asas Manfaat dalam pembangunan ketenagalistrikan sesuai Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan. Yang dimaksud dengan "asas manfaat" adalah bahwa hasil pembangunan ketenagalistrikan harus dapat dimanfaatkan sebesar-besarnya bagi kesejahteraan dan kemakrnuran rakyat[12].

Dalam usaha penyediaan tenaga listrik guna memenuhi peningkatan kebutuhan listrik masyarakat di seluruh wilayah Indonesia, Pemerintah dalam UU No.30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan telah menyatakan bahwa usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum dilaksanakan oleh badan usaha milik negara, badan usaha milik daerah, badan usaha swasta, koperasi dan swadaya masyarakat.

UU Ketenagalistrikan menyatakan bahwa badan usaha milik negara diberikan prioritas pertama dalam melakukan usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum. Badan usaha milik negara yang diberi prioritas pertama guna melakukan usaha penyediaan tenaga listrik adalah Perusahaan Listrik Negara (PLN). Penunjukan PLN sebagai badan usaha penyedia tenaga listrik telah sesuai dengan amanat konstitusi dalam pasal 33 ayat 2 UUD NRI 1945 yang mengatakan bahwa cabang-cabang produksi yang penting bagi negara dan yang menguasai hajat hidup orang banyak dikuasai oleh negara.

Pengusahaan dan penyediaan tenaga listrik adalah suatu cabang produksi yang penting bagi negara dan menguasai hajat hidup orang banyak, maka sudah tepat apabila PLN selaku badan usaha milik negara ditunjuk guna melakukan usaha penyediaan tenaga listrik. PLN adalah perusahaan yang diberi hak dan wewenang khusus serta tanggung-jawab pembangkitan, transmisi dan distribusi tenaga listrik yang berlaku di seluruh wilayah Indonesia sesuai dengan PP RI No.18 tahun 1972[13]. PLN berkewajiban menyediakan tenaga listrik dalam jumlah yang cukup kepada masyarakat di seluruh Indonesia secara terus menerus, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

[12] Penjelasan Pasal 2 ayat (1) huruf a UU No.30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan

[13] Pasal 7 Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1972 Tentang Perusahaan Umum "Listrik Negara"

Dalam melaksanakan peningkatan usaha penyediaan tenaga listrik. PLN berkewajiban menyusun sebuah dokumen tentang perencanaan sepuluh tahunan ke depan yang disebut Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL), hal ini sesuai dengan ketentuan Peraturan Pemerintah No.10 Tahun 1989 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik sebagaimana telah dua kali diubah dan perubaran yang terbaru yakni dengan

B. Pembahasan

1. Kebijakan Pemerintah dalam Bentuk Peraturan Kebijakan menurut Hukum Administrasi

Menurut Kamus Umum Belanda Indonesia, kata *beleid'* berarti kebijakan[14]. Dalam kepustakaan Belanda, ada berbagai istilah yang dipergunakan untuk menujuk eksistensi peraturan kebijakan, antara lain *pseudowetgeving*, *spiegelrecht*, dan *beleidsregel*[15]. Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia memberikan pengertian kata "kebijakan" sebagai berikut[16]:

Dalam perundang-undangan di Indonesia kata kebijakan disebut dalam Undang-undang Nomor 25 Tahun 2004 tentang Sistem Perencanaan Pembangunan Nasional, tepatnya pada pasal 1 angka 15 yang berbunyi "Kebijakan adalah arah/tindakan yang diambil oleh Pemerintah Pusat/Daerah untuk mencapai tujuan."

Menurut P.J.P Tak, seperti dikutip S.F Marbun pengertian peraturan kebijakan yakni[17]:

"Beleidsregels zijn algemene regel die een bestuursinstantie stelt omtrent de uitoefening van ee bestuursbevoegheid jegens de burgers of een andere bestuursinstantie en voor welke regelstelling de grondwet nochde formele wet direct een uitdrukkelijke gronslag biedien Beleidsregels berusten dus niet op een bevoegdheid tot wetgeving en kunnen daarom ook geen algemeen verbindende voorschriften zijn-maar op een bestuursbevoedg heid van een bestuursorgaan en betreffen de uitoefening van die bevoegdheden." (peraturan kebijaksanaan adalah peraturan umum yang

[14] Wojowasito, *Kamus Umum Belanda Indonesia*, Jakarta: Ichtiar Baru – Van Hoeve, 1995, hlm. 66.

[15] Hotma, P. Sibuea, *Asas Negara Hukum, Peraturan Kebijakan & Asas-asas Umum Pemerintahan yang Baik*, Jakarta : Penerbit Erlangga, 2010, hlm.101

[16] Departemen Pendidikan Nasional, Kamus Besar Bahasa Indonesia Pusat Bahasa, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2008, hlm. 190.

[17] S.F Marbun, Op.cit, hlm. 174.

dikeluarkan oleh instansti pemerintahan berkenaan dengan pelaksanaan wewenang pemerintah terhadap warga negara atau terhadap instansi pemerintahan lainnya dan pembuatan perundangan tersebut tidak memiliki dasar yang tegas dalam UUD dan undang-undang formal baik langsung maupun tidak langsung. Artinya peraturan kebijaksanaan tidak didasarkan pada kewenangan pembuatan undang-undang - dan oleh karena itu tidak termasuk peraturan perundang-undangan yang mengikat umum – tetapi diletakkan pada wewenang pemerintah suatu organ administrasi negara dan terksit dengan pelaksanan pemerintah.)

Pelaksanaan pemerintahan sehari-hari menunjukkan betapa badan atau pejabat tata usaha negara seringkali menempuh berbagai langkah kebijaksanaan tertentu, antara lain menciptakan apa yang kini sering dinamakan *peraturan kebijaksanaan* (*beleidsregel, policy rule*)[18]. Suatu peraturan kebijaksanaan pada hakekatnya merupakan produk dari perbuatan tata usaha negara yang bertujuan "*naar buiten gebracht schriftelijk beleid* (menampakkan keluar suatu kebijakan tertulis)" namun tanpa disertai kewenangan pembuatan peraturan dari badan atau pejabat tata usaha negara yang menciptakan peraturan kebutuhan tersebut[19]. Peraturan kebijakan pada dasarnya diciptakan oleh pejabat administrasi negara untuk melaksanakan tugas-tugas pemerintah, yang merupakan konsekuensi atas negara hukum kesejahteraan yang membebankan tugas yang sangat luas kepada pemerintah untuk menyelenggarakan kesejahteraan rakyat (*welfare state*)[20].

Peraturan kebijakan ini pada dasarnya memberikan peluang bagaimana suatu badan atau pejabat administrasi negara untuk menjalankan kewenangan pemerintahan (*beschikking bevoegheid*) dalam rangka penyelenggaraan tugas-tugas pemerintahan[21]. Dalam implementasinya peraturan kebijakan dapat diuji dengan melihat ciri-cirinya. Secara singkat, Van Kreveld mengemukakan bahwa peraturan kebijakan memiliki ciri-ciri sebagai berikut[22]:

[18] Philipus M. Hadjon, Pengantar Hukum Admninistrasi Indonesia, Yogyakarta : Gadjah Mada University Press, 1999, hlm. 152.
[19] Philipus M. Hadjon, Loc.cit.
[20] Hotma, P. Sibuea, Loc.cit.
[21] Philipus M. Hadjon, Op.cit, hlm 153.
[22] Hotma, P. Sibuea, Op.cit, hlm. 104.

1. Peraturan itu, langsung ataupun tidak langsung, tidak berdasar pada ketentuan *formele wet* maupun *Grondwet* yang memberikan kewenangan mengatur, dengan perkataan lain tidak mempunyai dasar hukum yang tegas dalam *wet*.
2. Peraturan itu dapat: a). Tidak tertulis, kemudian terhadi serangkaian keputusan instansi pemerintah yang berdiri sendiri dalm rangka menyelengarakan kewenangan pemerintah yang tidak terkait: b) ditetapkan dengan tegas secara tertulis oleh suatu instansi pemerintah.
3. Peraturan itu pada umumnya menunjukkan bagaimana suatu instansipemerintah akan bertindak, dalam menyelenggarakan kewenangan pemerintah yang tidak terikat, terhadap setiap orang dalam situasi sebagaimana dalam peraturan itu.

Seperti halnya Van Kreveld, Bagir Manan seperti dikutip oleh S.F. Marbun juga menyatakan beberapa ciri-ciri dari peraturan kebijakan sebagai berikut[23] : a. Peraturan kebijaksanaan bukan merupakan peraturan perundang-undangan; b. Asas-asas pembatasan dan pengujian terhadap peraturan perundang-undangan tidak dapat diberlakukan pada peraturan kebijaksanaan; c. Peraturan kebijaksanaan tidak dapat diuji secara *wetmatigheid*, karena memang tidak ada dasar peraturan perundang-undangan untuk membuat peraturan kebijaksanaan tersebut; d. Peraturan kebijaksanaan dibuat berdasarkan Freies Ermessen dan ketiadaan wewenang administrasi bersangkutan membuat peraturan perundang-undangan; e. Pengujian terhadap peraturan kebijaksanan lebih diserahkan pada *doelmatigheid* sehingga batu ujinya adalah asas-asas umum pemerintahan yang baik; f. Dalam praktik diberi format dalam berbagai bentuk dan jenis aturan, yakni keputusan, instruksi, surat edaran, pengumuman, dan lain-lain, bahkan dapat pula dijumpai dalam bentuk peraturan.

Berkaitan dengan bentuknya Van Kreveld, menyatakan "peraturan kebijakan" dapat dituangkan dalam berbagai bentuk, seperti garis-garis kebijaksanaan (beleidslipijnen), kebijaksanaan (het beleid), peraturan (voorschriften), pedoman (rechtlijnen), petunjuk (regelingen), surat edaran (circularies), resolusi (resoluties), intruksi (aanschrijvingen), nota kebijaksanaan (beleids-nota's), peraturan menteri (reglemens ministriele), keputusan (beschikkingen), pengumuman (en

[23] S.F, Marbun, *Op.cit*., hlm. 175.

bekendmakingen)[24]. Selain itu menurut pendapat Phillip M. Hadjon, dalam praktik penyelenggaraan pemerintahan, ada peraturan kebijakan yang berbentuk pengumuman, pedoman, surat edaran, petunjuk teknis (juknis), petunjuk pelaksanaan (juklak), dan sebagainya[25].

2. Energi, Energi Baru dan Terbarukan Dalam Ketahanan Energi Nasional

Istilah energi berasal dari bahasa Yunani, yaitu *energia* yang berarti ativitas (*energos* yang berarti aktif)[26]. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia pengertian energi, yakni sebagai berikut[27]: **Ener.gi** n *Fis* kemampuan untuk melakukan kerja (misalnya untuk energi listrik dan mekanika); daya (kekuatan) yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan, misalnya dapat merupakan bagian suatu bahan atau tidak terikat pada bahan (seperti sinar matahari); tenaga.

Energi adalah sumber daya yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan termasuk bahan bakar, listrik, energi mkanik dan panas[28]. Energi selalu berasal dari sumber energi, sumber energi adalah sesuatu yang dapat menghasilkan energi, baik secara langsung maupun melalui proses konversi atau transformasi[29]. Sumber energi merupakan sebagian dari sumber daya alam yang meliputi minyak dan gas bumi, batu bara, air, panas bumi, gambut, biomassa, dan sebagainya, baik secara langsung atau tidak langsung dapat dimanfaatkan sebagai energi[30].

Pengertian energi terdapat pada Undang-undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, yang tercantum pada bab I Ketentuan umum Pasal 1 angka (1) yakni Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja yang dapat berupa panas, cahaya, mekanika, kimia, dan elektromagnetika.

Sumber energi merupakan salah satu sumber daya alam[31]. Sebagai sumber daya alam, energi harus dimanfaatkan sebesar-besarnya bagi kemakmuran masyarakat dan

[24] S.F, Marbun, Op.cit, hlm. 176.
[25] Hotma, P. Sibuea, Op.cit, hlm. 107.
[26] Sutarno, *Sumber Daya Energi* , Yogyakarta : Graha Ilmu, 2013, hlm. 1.
[27] Departemen Pendidikan Nasional, Op.cit, hlm. 373
[28] Daryanto, *Energi : Masalah dan Pemanfaatannya Bagi Kehidupan Manusia*, Yogyakarta: Pustaka Widyatama, 2007, hlm. 9.
[29] Lihat Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi pasal 1 ayat (2).
[30] Daryanto, Loc.cit.
[31] Daryanto, Op.Cit, hlm. 26

pengelolaannya harus mengacu pada asas pembangunan berkelanjutan[32]. Jadi, sumber daya energi adalah sumber daya alam yang dapat diolah oleh manusia sehingga dapat digunakan bagi pemenuhan kebutuhan energi[33]. Sumber daya energi ini disebut sumber energi primer, yaitu sumber daya energi dalam bentuk apa adanya yang tersedia di alam[34].

Sumber daya energi merupakan kekayaan alam sebagaimana diamanatkan oleh segenap rakyat Indonesia melalui Pasal 33 Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 negara memiliki kuasa terhadapnya dan wajib dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Peranan energi sangat penting artinya bagi peningkatan kegiatan ekonomi dan ketahanan nasional, sehingga pengelolaan energi yang meliputi penyediaan, pemanfaatan, dan pengusahaannya harus dilaksanakan secara berkeadilan, berkelanjutan, optimal, dan terpadu[35].

Alam telah menyediakan sumber energi secara gratis dan melimpah untuk dimanfaatkan oleh seluruh mahluk hidup. Namun untuk mendukung aktivitas hidup umat manusia di muka bumi, manusia juga perlu mengelola dan mengembangkan energi-energi yang sudah tersedia di alam, guna memenuhi kebutuhan hidupnya.

Dalam Pasal 2 Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007, diatur asas-asas dalam melakukan pengusahaan dan pengelolaan energi, yaitu : Asas Kemanfaatan; Asas Efisiensi Berkeadilan; Asas Peningkatan Nilai Tambah; Asas Keberlanjutan; Asas Kesejahteraan Masyarakat; Asas Pelestarian Fungsi Lingkungan; Asas Ketahanan Nasional; Asas Keterpaduan

Asas-asas dalam mengelola energi yang tercantum pada pasal 2 Undang-Undang Energi memiliki penjelasan masing-masing sebagai berikut[36]: Asas kemanfaatan, maksud dari asas ini adalah dalam usaha pengelolaan energi harus memenuhi kebutuhan masyarakat; Asas efisiensi berkeadilan, maksud dari asas ini adalah dalam pengelolaan energi harus mencapai pemerataan akses terhadap energi dengan harga yang ekonomis dan terjangkau; Asas peningkatan nilai tambah, maksud dari asas ini adalah dalam pengelolaan energi harus mencapai nilai ekonomi yang optimal; Asas

[32] Elinur, Loc.cit.
[33] Sutarno, Op.cit, hlm. 3.
[34] *Loc.cit.*
[35] Lihat Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi bagian Menimbang huruf b.
[36] Penjelasan pasal 2 Undang-undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007.

keberlanjutan, maksud dari asas ini adalah dalam pengelolaan energi harus menjamin penyediaan dan pemanfaatan energi untuk generasi sekarang dan yang akan datang; Asas kesejahteraan masyarakat, maksud dari asas ini adalah dalam pengelolaan energi harus mencapai kesejahteraan masyarakat yang sebesar-besarnya; Asas pelestarian fungsi lingkungan, maksud dari asas ini adalah dalam pengelolaan energi harus menjamin kualitas fungsi lingkungan yang lebih baik; Asas ketahanan nasional, maksud dari asas ini adalah dalam pengelolaan energi harus mencapai kemampuan nasional dalam pengelolaan energi; Asas keterpaduan, maksud dari asas ini adalah pengelolaan energi harus mencapai pengelolaan energi secara terpadu antar sektor.

Melalui asas-asas dalam melakukan pengusahaan dan pengelolaan energi yang diyatakan dalam Undang-Undang nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, diharapkan arah pengusahaan, pembangunan, dan pengelolaan energi nasional dapat mewujudkan pembangunan energi berkeadilan. Energi berkeadilan adalah memberikan akses energi secara merata kepada seluruh rakyat Indonesia melalui pembangunan infrastruktur sektor ESDM serta pengoptimalan potensi sumber energi setempat dengan harga terjangkau dan berkelanjutan, hal ini sesuai dengan amanat Undang-Undang Dasar 1945 Pasal 33, yakni energi harus digunakan sebesar-besarnya kemaslahatan rakyat, bangsa dan negara[37].

Dalam pasal 33 Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945, negara diberikan mandat untuk menguasai seluruh sumber daya energi dengan tujuan agar dipergunakan secara bijak demi sebesra-besarnya kemakmuran seluruh rakyat Indonesia.

Energi baru adalah energi yang dikembangkan dari hasil ristek dan pengembangan teknologi yang tidak dapat dimasukkan dalam kelompok energi fosil atau energi terbarukan, contonya seperti energi nuklir, energi plasma (magneto hidro dinamika), atau energi cell bahan bakar (fuel cell)[38]. Energi baru merupakan jenis-jenis energi yang perkembangannya didorong oleh intervensi teknologi.

[37] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Lomba Foto Energi Berkeadilan,* https://www.esdm.go.id/id/page/lomba-foto-energi-berkeadilan-2018 (diakses pada 04 November 2018, pukul 20.37)

[38] Ariono Abdulkadir, S*eri Ketenagalistrikan Jilid 2: Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi*, Bandung: ITB, 2011, hlm. 115.

Menurut Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, pengertian Energi Baru terdapat pada pasal 1 ayat (5) yakni energi yang berasal dari sumber energi baru. Sedangkan, Sumber energi baru adalah sumber energi yang dapat dihasilkan oleh teknologi baru baik yang berasal dari sumber energi terbarukan maupun sumber energi tak terbarukan, antara lain nuklir, hidrogen, gas metana batu bara (coal bed methane), batu bara tercairkan (liquified coal), dan batu bara tergaskan (gasified coal)[39].

Pada pengertian sumber energi baru dalam Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi telah diklasifikasikan macam-macam jenis energi baru, yakni nuklir, hidrogen, gas metana batu bara (coal bed methane), batu bara tercairkan (liquified coal), dan batu bara tergaskan (gasified coal). Dalam hal penguasaan dan pengaturannya, sumber energi baru diserahkan oleh rakyat kepada negara dan dimanfaatkan sebesar-besanya untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat.

Pengertian energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber energi terbarukan[40]. Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dapat digunakan tanpa batas waktu dan tidak akan pernah habis karena dapat dipulihkan dalam waktu relatif singkat[41]. Menurut Undang-undang Nomor 30 Tahun tentang Energi, pengertian energi terbarukan tercantum pada pasal 1 ayat (6), yakni " sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut."

Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang sangat ramah lingkungan, karena tidak menghasilkan pencemaran lingkungan dan tidak termasuk salah satu penyebab dari perubahan iklim dan pemanasan global, karena energi yang dihasilkan berasal dari proses alam yang berkelanjutan seperti angin, air, sinar matahari, panas bumi, dan biofuel[42]. Negara Indonesia adalah negara yang memiliki potensi sumber energi terbarukan dalam jumlah yang sangat besar karena pengaruh astronomis dan geografis negara Indonesia. Potensi sumber energi terbarukan yang terkandung di Indonesia seperti energi panas bumi, surya, air, laut/samudra, bioenergi.

[39] Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi pasal 1 ayat (4).
[40] Lihat Undang-undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi Pasal 1 ayat (7)
[41] Daryanto, Op.Cit, hlm. 26.
[42] Kementerian Sumber Daya Energi dan Mineral, Loc.cit

Indonesia terletak di garis khatulistiwa yang menyebabkan Indonesia beriklim tropis, mayoritas daerah-daerah di Indonesia senantiasa di sinari terik matahari. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia menunjukan bahwa radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut turut sebagai berikut : untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia sekitar 4.5 kWh/m2.hari dengan variasi bulanan sekitar 10% dan Kawasan Timur Indonesia sekitar 5.1 kWh/m2.hari dengan variasi bulanan sekitar 9%, dengan demikian potensi penyinaran matahari di Indonesia rata-rata sekitar 4.8 kWh/m2.hari dengan variasi bulanan sekitar 9%[43].

Indonesia adalah negara yang juga kaya akan potensi panas bumi, karena termasuk dari daerah vulkanik. Hal ini disebabkan karena kondisi geografis Indonesia yang dilewati oleh jalur Cincin Api yakni jalur gunung berapi membentang di Indonesia dari ujung Pulau Sumatera sepanjang Pulau Jawa, Bali, NTT, NTB menuju Kepulauan Banda, Halmahera, dan Pulau Sulawesi. Berdasarkan survei menunjukkan bahwa terdapat 70 lokasi panas bumi bertemperatur tinggi dengan kapasitas total mencapai 19.658 MW. Sebagian besar dari lokasi tersebut belum dilakukan eksploitasi secara intensif[44].

Selanjutnya Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga air, karena terdapat sumber energi tenaga air yang melimpah di Indonesia. Potensi ini disebabkan kondisi topografi Indonesia bergunung dan berbukit serta dialiri oleh banyak sungai dan daerah daerah tertentu mempunyai danau/waduk yang cukup potensial sebagai sumber energi air[45].

Indonesia sebagai negara agraris mempunyai potensi biomassa yang relatif besar yang berasal dari limbah pertanian, perkebunan, kehutanan, limbah ternak dan limbah kota (sampah)[46].

Secara umum Indonesia masuk kategori negara tanpa angin, mengingat bahwa kecepatan angin minimum rata-rata yang secara ekonomis dapat dikembangkan sebagai

[43] Abubakar Lubis, "*Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan*", Jurnal Teknik Lingkungan, Vol.8 No.2, Mei 2007, hlm. 161.
[44] Loc.cit.
[45] Ibid, hlm. 157.
[46] Daryanto, Op.Cit, hlm. 111.

penyedia jasa energi adalah 4m/ dt[47]. Namun di beberapa wilayah Indonesia memiliki potensi akan sumber energi angin. Wilayah tersebut antara lain Nusa Tenggara Timur (NTT), Nusa Tenggara Barat (NTB), Sulawesi Selatan dan Tenggara, Pantai Utara dan Selatan Jawa dan Karimun Jawa.

Indonesia adalah negara yang kaya akan potensi energi laut/samudra, karena Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki lebih banyak perairan daripada daratan. Luas wilayah laut Indonesia adalah 65% dari total seluruh wilayah Indonesia yakni 3.544.743,9 km², dengan garis pantai yang membentang sepanjang 81.000 km, yang terdiri dari laut dalam dan laut dangkal. Dengan melihat luas wilayah laut dan samudra negara Indonesia, dapat diperkirakan bahwa Indonesia memiliki sumber energi laut/samudra berupa energi panas laut, energi pasang surut, energi gelombang, energi arus laut yang dapat menghasilkan energi listrik.

C. Simpulan

Implementasi kebijakan energi baru dan energi terbarukan dalam rangka ketahanan energy nasional telah berjalan sebagaimana mestinya. Hal tersebut dapat dilihat dari dari peran pemerintah untuk mengadakan kebijakan (beleid) dan tindakan pengurusan (bestuursdaad), pengaturan (regelendaad), pengelolaan (beheersdaad) dan pengawasan (toezichthoudensdaad) untuk tujuan sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Pengelolaan kebijakan energi baru dan energi terbarukan tertuang dalam Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007. Pengelolaan energi baru dan energi terbarukan harus senan tiasa berdasarkan pada asas-asas dalam melakukan pengusahaan dan pengelolaan energi, yaitu : Asas Kemanfaatan; Asas Efisiensi Berkeadilan; Asas Peningkatan Nilai Tambah; Asas Keberlanjutan; Asas Kesejahteraan Masyarakat; Asas Pelestarian Fungsi Lingkungan; Asas Ketahanan Nasional; Asas Keterpaduan.

Daftar Pustaka

Aan Jaelani, Renewable Energy Policy in Indonesia: The Qur'anic Scientific Signals in Islamic Economics Perspective, International Journal of Energy Economics and Policy, Vol.7 No.4, 2017

Abubakar Lubis, "Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan", Jurnal Teknik Lingkungan, Vol.8 No.2, Mei 2007

[47] Abubakar Lubis, Op.cit, hlm 160.

Ahmad Redi, Hukum Pertambangan Indonesia, Jakarta: Gramata Publishing, 2014.

Ahmad Wahid, Analisis Kapasitas dan Kebutuhan Daya Listrik untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, Vol.2 No.1, 2014.

Ariono Abdulkadir, Seri Ketenagalistrikan Jilid 2: Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, Bandung: ITB, 2011.

Biro Komunikasi, Layanan Informasi Publik dan Kerja Sama Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jurnal Energi : Program Strategis EBTKE dan Ketenagalistrikan, Edisi 02, 2016.

Daryanto, Energi : Masalah dan Pemanfaatannya Bagi Kehidupan Manusia, Yogyakarta: Pustaka Widyatama, 2007.

Departemen Pendidikan Nasional, Kamus Besar Bahasa Indonesia Pusat Bahasa, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2008.

Diktum kedua Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1567 K/21/MEM/2018 Tentang Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara Persero Tahun 2018 s.d 2027.

Hotma, P. Sibuea, Asas Negara Hukum, Peraturan Kebijakan & Asas-asas Umum Pemerintahan yang Baik, Jakarta : Penerbit Erlangga, 2010,

IPP (Independent Power Producer) adalah perusahaan produsen listrik swasta yang dibentuk oleh konsosium untuk melakukan perjanjian PPA dengan PLN.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Executive Summary RUPTL PT PLN (PERSERO) 2018-2027, dalam acara Diseminasi RUPTL 2018-2027, Jakarta, 22 Maret 2018,

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Lomba Foto Energi Berkeadilan, https://www.esdm.go.id/id/page/lomba-foto-energi-berkeadilan-2018 (diakses pada 04 November 2018, pukul 20.37)

Komisi Yudisial Republik Indonesia, Kompilasi Putusan Pengujian UU Oleh MK : Putusan Yang Dikabulkan Tahun 2003 – 2015, Jakarta: Biro Rekrutmen, Advokasi, dan Peningkatan Kapasitas Hakim, Komisi Yudisial Republik Indonesia, 2015, hlm. 1009.

Muhamad Bobby Fadillah, Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2015-2024 Wilayah PLN Kota Pekanbaru Dengan Metode Gabungan, Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik, Vol.2 No.2, 2015

Muhammad Azhar, The New Renewable Energy Consumption Policy of Rare Earth Metals to Build Indonesia's National Energy Security, Conference Guidelines The 1st Sriwijaya Internasional Conference on Environmental Issues, di Hotel Horison Ultima, Palembang, Indonesia, 26 – 27 September 2018

Philipus M. Hadjon, Pengantar Hukum Admninistrasi Indonesia, Yogyakarta : Gadjah Mada University Press, 1999,

Sutarno, Sumber Daya Energi , Yogyakarta : Graha Ilmu, 2013

Syamsir Abduh, Pengelolaan Dana Ketahanan Energi, Mineral & Energi, Vol.14 No.2, Juni 2016, Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral,

Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi

Wojowasito, Kamus Umum Belanda Indonesia, Jakarta: Ichtiar Baru – Van Hoeve, 1995,

Zen Umar Purba, Kepentingan Negara dalam Industri Perminyakan Indonesia, Hukum Internasional, Konstitusi dan Globalisasi, Jurnal Hukum Internasional Vol.4 No.2, Januari 2007, Lembaga Pengkajian Hukum Internasional, FH Universitas Indonesia,

Implementasi Pompa Air pada Tambak Udang dengan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan

Jalaluddin[1*], Abdul Rasyid Jalil[2], Rustan Tarakka[1], Wardi[3]
Departemen Teknik Mesin[1], Departemen Teknik Elektro[3] Fakultas Teknik UNHAS
Departemen Ilmu Kelautan[2] Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan UNHAS
jalaluddin_had@yahoo.com[1*]

Abstrak
Sosialisasi dan implementasi pemanfaatan sumber energi terbarukan kepada masyarakat terus-menerus digalakkan. Pemanfaatan sumber energi terbarukan dengan penerapan teknologi sel *photovoltaik* (PV) untuk suplai energi secara terintegrasi dilakukan untuk membantu penyediaan energi yang diperlukan pada areal tambak di kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan. Energi tersebut digunakan untuk pengoperasian peralatan pendukung sperti pompa air dan penggunaan lainnya. Sosialisasi dan implementasi pemanfaatan sumber energi terbarukan dengan teknologi sel photovoltaik untuk menjalankan pompa air dan penggunaan lainnya pada tambak udang telah dilakukan. Pelatihan masyarakat terkait pembuatan, operasional dan perawatan peralatan tersebut juga telah dilakukan. Masyarakat kecamatan Lanrisang kabupaten Pinrang yang terdiri dari beberapa desa dan kelurahan diberi pengetahuan tentang pemanfaatan peralatan yang terkait dan dilatih untuk melakukan perakitan dan pengoperasian peralatan. Beberapa kelompok masyarakat tertentu yang berprofesi dalam bidang perbengkelan juga telah dilatih secara khusus untuk mendukung dalam perakitan dan perawatan peralatan. Masyarakat dan pemerintah setempat secara antusias telah berpartisipasi dalam kegiatan ini. Pengujian lapangan terhadap pompa air juga telah dilakukan sebagai panduan dalam aplikasi. Debit air rata-rata harian dari pompa air adalah sekitar 0.375 L/s. Sebagai contoh, tambak udang seluas 50 x 50 meter mempunyai kebutuhan suplai air sebesar 2.64 m^3 maka pompa akan dijalankan selama 2 jam perhari.

Kata Kunci: Sumber Energi Terbarukan; Penerapan Sel Photovoltaik; Pompa Air; Sosialisasi dan Implementasi.

1. Pendahuluan

Komoditas udang mempunyai pangsa pasar yang luas dan relatif stabil di pasaran dunia sehingga usaha budidaya udang, yang umumnya dilakukan di tambak, merupakan kegiatan yang sangat menjanjikan. Beberapa daerah kabupaten di Sulawesi Selatan mempunyai potensi yang besar untuk usaha budidaya udang seperti Kabupaten Takalar, Maros, Pangkep, Barru, Pinrang, dll. Pada umumnya budidaya udang ini dilakukan secara tradisional. Beberapa tambak udang telah mengaplikasikan teknologi masih terkendala dengan pembiayaan yang sangat besar. Sumber energi listrik yang mereka gunakan umumnya bersumber dari PLN atau menggunakan generator listrik.

Kabupaten Pinrang merupakan salah satu daerah kabupaten yang memiliki potensi yang besar dalam budidaya udang secara goegrafis terletak di 43 10’ 30” – 30 19’ 30” lintang utara dan 119 26’ 30” – 119 47’ 20” bujur timur. Luas wilayahnya adalah 1.961.77 km^2 atau 3.15 % dari luas Sulawesi Selatan dengan 12 kecamatan, 39 Kelurahan dan 65 Desa. Batas wilayahnya antara lain: kabupaten Tana Toraja di sebelah utara, Kota madya Pare-pare di sebelah selatan, Kabupaten Polman dan selat Makassar di sebelah barat dan kabupaten Enrekang dan Kabupaten Sidrap di sebelah timur.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

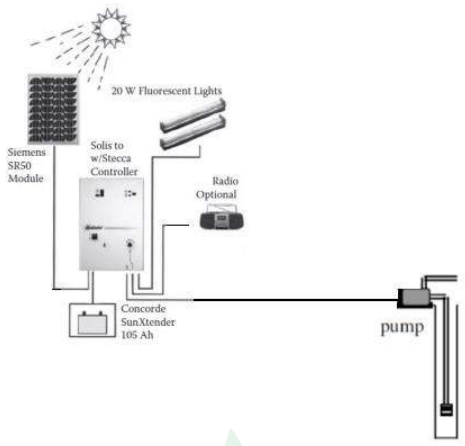
Kabupaten Pinrang memiliki sumber daya perikanan yang cukup besar dan merupakan salah satu sektor andalan bagi perekonomian daerah. Potensi pertambakan seluas 15.026,20 Ha atau 22,72% dengan rincian perkecamatan sebagai berikut (Dinas Kelautan dan Perikanan, 2012):

Tabel 1. Potensi Pertambakan

NO	KECAMATAN	LUAS TAMBAK (Ha)	PRODUKSI UDANG		JUMLAH PETANI TAMBAK (Org)
			2010	2011	
1	SUPPA	1.599,22	1.370,10	1.409,80	1.640
2	LANRISANG	1.670,63	264,70	267,90	895
3	CEMPA	2.215,27	238,70	274,20	1.094
4	MATTIRO SOMPE	3.804,34	603,60	657,80	3.863
5	DUAMPANUA	5.401,74	753,50	800,80	3.840
6	LEMBANG	339,00	82,50	76,90	278
	TOTAL	15.026,20	3.313,10	3.487,40	11.598

Permasalahan yang dialami oleh petani budidaya tambak udang di kabupaten Pinrang adalah sebagai berikut (Mahmud *et al*, 2007): 1) Budidaya tambak udang masih dilakukan secara tradisional, 2) Proses produksi masih lemah.

Untuk menciptakan sistem budidaya tambak udang yang lebih baik perlu didukung upaya-upaya untuk menggunakan peralatan tambahan, seperti beberapa peralatan pendukung antara lain kincir aerator, pompa air dan penerangan. Peralatan ini membutuhkan sumber energi listrik. Konsep Mandiri Energi pada tambak udang telah dilakukan dengan pemanfaatan sumber energi terbarukan ramah lingkungan dengan penerapan teknologi sel *photovoltaik* (PV) sebagai sumber energi listrik. Aplikasi teknologi sel PV dalam penyediaan sumber energi listrik untuk menjalankan kincir aerator pada tambak udang dan untuk penerangan pada di areal tambak udang telah dilakukan (Jalaluddin dkk, 2015). Pemanfaatan sumber energi listrik untuk menjalankan pompa air dengan aplikasi teknologi sel PV seperti terlihat pada gambar 1 akan diuraikan secara detail dalam tulisan ini.



Gambar 1. Teknologi Sel PV untuk Pompa Air dan Penggunaan Lainnya

Teknologi sel PV telah banyak digunakan sebagai sumber energi untuk berbagai peralatan dan penerangan. Beberapa penelitian tentang sel PV dan aplikasinya telah dilakukan di Laboratorium

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Energi Terbarukan Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin (UNHAS). Penelitian tersebut antara lain: pemanfaatan sel PV untuk penggerak pompa tambak (Shiddiq dan Multazam, 2015), penggerak prototipe kincir aerator (Azhar dan Nasri, 2015) dan penggerak pompa rumahan (Arfandy dkk, 2016). Selain itu, analisis unjuk kerja sel PV dengan pengarah matahari (Jalaluddin dan Mire, 2015) dan dengan penggunaan air pendingin di bawah panel (Hasbi, 2014), (Jalaluddin dkk, 2016) telah dilakukan.

Kegiatan pengabdian masyarakat ini bertujuan untuk mengaplikasikan teknologi sel PV dalam penyediaan sumber energi listrik untuk menjalankan pompa air pada tambak udang dan untuk penggunaan lainnya seperti penerangan pada malam hari di areal tambak udang. Target yang telah didapatkan dari kegiatan ini adalah peningkatan pengetahuan dan keterampilan masyarakat/petani tambak dalam penerapan teknologi sel PV sebagai sumber energi untuk pengelolaan tambak. Selain itu, areal tambak percontohan skala kecil telah dibuat untuk membantu masyarakat dalam mengaplikasikan teknologi ini. Selanjutnya, rekomendasi aplikasi operasional pompa air tambak juga akan diuraikan.

2. Metode

Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilaksanakan pada Juli-Agustus 2016 yang berlokasi di Kelurahan Lanrisang, Kecamatan Lanrisang, Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan. Mahasiswa yang terlibat dalam kegiatan ini sebanyak 32 orang dengan 4 orang dosen pendamping lapangan. Program kerja utama adalah penerapan teknologi sel photovoltaik untuk suplai energi untuk menjalankan pompa air dan penerangan di areal tambak udang. Beberapa akivitas yang dilakukan terkait dengan program kerja utama antara lain: 1) Aktivitas bersama mehasiswa dan masyarakat untuk pemasangan sel *photovoltaik* beserta sistem penyimpanan energi dan pendistribusiannya dengan renovasi bangunan kecil di pinggir tambak; dan 2) Pelatihan petani tambak tentang pemasangan sel PV beserta sistem penyimpanan energi dan pendistribusiannya. Program kerja tambahan juga dilakukan untuk lebih bersosialisasi dengan masyarakat dan mengakomodasi keinginan masyarakat. Program Kerja utama dari kegiatan ini adalah 1) sosialisasi dan implementasi pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber energi untuk pompa air dan penggunaan lainnya dengan menggunakan sel PV, 2) pelatihan masyarakat terkait pembuatan, operasional dan perawatan sistem peralatan sel PV.

3. Hasil dan Diskusi

Sosialisasi dan implementasi pemanfaatan sumber energi terbarukan kepada masyarakat di Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan telah dilaksanakan. Program ini dilaksanakan dengan pemanfaatan energi terbarukan menggunakan teknologi sel PV sebagai sumber energi untuk menjalankan pompa air dan penggunaan lainnya seperti penerangan pada malam hari di areal tambak udang. Kegiatan ini untuk melanjutkan program pemanfaatan sumber energi tebarukan untuk menjalankan kincir aerator tambak udang (Jalaluddin dkk, 2015) dalam konsep mandiri energi pada tambak udang. Pemanfaatan sel *photovoltaik* sebagai sumber energi untuk menjalankan pompa air dilakukan untuk mendukung program mandiri energi tersebut. Persiapan dilakukan dengan pembuatan dan pengujian prototipe peralatan. Prototipe peralatan dibuat dilakukan di laboratorium Energi Terbarukan Departemen Teknik Mesin UNHAS seperti terlihat pada gambar 2. Beberapa mahasiswa dan staf laboran dilibatkan dalam pembuatan prototipe ini. Peralatan ini terdiri dari: modul sel PV sebanyak 3 buah masing-masing berkapasitas 50 WP, motor DC 12 volt sebagai penggerak pompa air, baterai 50 Ah, lampu LED 5 Watt sebanyak 2 buah dan inverter DC 12V – AC 220 V.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 2. Pengujian Prototipe Pompa air

Pelaksanaan program kerja diawali dengan penyusunan program kerja yang dihadiri masyarakat dan pemerintah setempat seperti terlihat pada Gambar 3. Beberapa program kerja tambahan juga dilakukan untuk lebih memudahkan dalam pendekatan dalam rangka pelaksanaan program kerja utama kepada masyarakat dan pemerintah setempat. Pemanfaatan teknologi sel PV sebagai sumber energi menjalankan pompa air dan penggunaan lainnya seperti penerangan dilakukan secara langsung di areal tambak masyarakat. Energi matahari yang disimpan pada baterai digunakan juga untuk penggunaan lainnya seperti sumber energi untuk radio, telepon genggam dan menyalakan lampu penerangan pada malam hari. Selanjutnya, pelatihan pembuatan, perakitan dan pengoperasian peralatan kepada beberapa kelompok masyarakat dilakukan secara bergantian sesuai dengan ketersedian waktu masing-masing kelompok untuk hadir di lokasi pemasangan peralatan tersebut. Sosialisasi kepada masyarakat dilakukan secara langsung untuk beberapa kelompok masyarakat di beberapa desa dan kelurahan secara terpisah. Instalasi peralatan dilakukan secara secara bersama-sama antara mahasiswa, dosen pendamping dan perwakilan beberapa kelompok masyarakat. Selanjutnya, pelatihan kepada masyarakat tentang pembuatan, perakitan dan pengoperasian dilakukan kepada beberapa kelompok masyarakat dari beberapa desa dan kelurahan secara bergantian di areal tambak percontohan tempat pemasangan peralatan tersebut. Aktifitas sosialisasi dan pelatihan ini dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 3. Penyusunan Program Kerja Bersama Pemerintah dan Masyarakat



Gambar 4. Sosialisasi kepada Masyarakat.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 5. Pelatihan Masyarakat tentang Pembuatan, Perakitan dan Pengoperasian Peralatan

Penerapan teknologi sel photovoltaik sebagai sumber energi untuk menjalankan pompa air dapat dilihat pada gambar 6. Pompa air yang digunakan dirakit dengan menggunakan motor DC 12 volt sebagai penggerak pompa. Motor tersebut dihubungkan ke modul sel PV sebagai penangkap sumber energi matahari. Pompa air ini merupakan prototipe yang telah diaplikasikan pada tambak udang. Penggunaan peralatan ini tentunya akan membantu penyediaan energi pada saat sumber energi matahari tersedia. Sebagian energi yang dihasilkan dari modul sel PV digunakan untuk mengisi baterai yang akan digunakan untuk penggunaan lainnya seperti sumber energi untuk radio, telepon genggam dan menyalakan lampu penerangan pada malam hari. Selain itu, pengembangan kapasitas pompa air untuk kebutuhan yang lebih besar dapat dilakukan dengan penggunaan motor berkapasitas lebih besar atau penambahan jumlah pompa air.



Gambar 6. Penerapan Teknologi Sel *Photovoltaik* sebagai Sumber Energi Pompa Air.

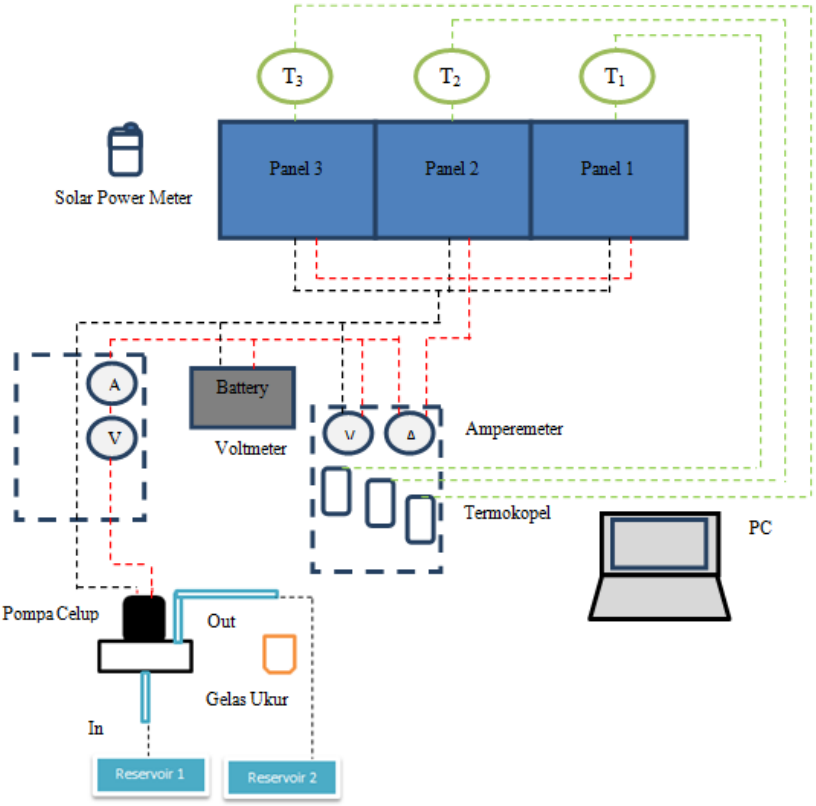
Kegiatan ini mendapatkan tanggapan yang sangat baik dari masyarakat karena memperkenalkan pemanfaatan sumber energi terbarukan, energi matahari. Penerapan teknologi sel photovoltaik sebagai sumber energi untuk menjalankan pompa air telah berhasil diaplikasikan. Dampak yang telah diperoleh dari kegiatan ini berupa: 1) ketertarikan masyarakat dalam mengaplikasikan teknologi ini; 2) pengetahuan dan keterampilan masyarakat petani tambak dalam penerapan teknologi pada pengelolaan tambak; 3) pembuatan areal tambak percontohan mandiri energi; 4) pembuatan lampu penerangan dengan teknologi sel PV di areal tambak sekitarnya telah dilakukan secara swadaya masyarakat; 5) pemerintah setempat juga telah menggunakan lampu penerangan teras kantor lurah dengan teknologi sel PV sebagai percontohan untuk masyarakat; 6) pengusulan pembuatan lampu jalan dengan teknologi sel PV pada beberapa jalan yang tidak terjangkau listrik PLN di daerah tersebut.

3.1 Pengujian Lapangan terhadap Pompa Air sebagai Panduan dalam Aplikasi

Pengujian lapangan terhadap pompa air dilakukan untuk membantu dalam implementasi pemanfaatan pompa air dengan penggunaan teknologi sel PV dan secara khusus untuk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pemanfaatan pada tambak udang. Hasil pengujian ini berupa data operasional pompa air dan jumlah debit air yang dapat dipenuhi setiap harinya. Adapun skema instalasi pengujian lapangan dapat dilihat pada Gambar 7.



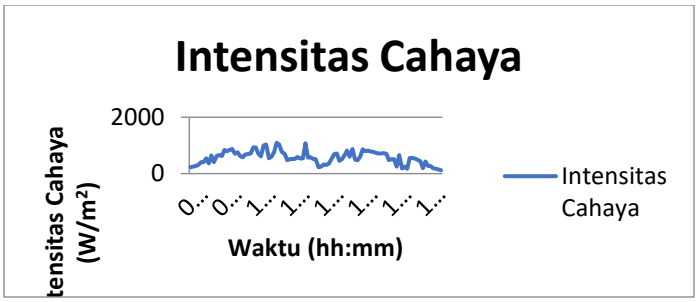
Gambar 7. Penerapan Teknologi Sel *Photovoltaik* sebagai Sumber Energi Pompa Air

Sistem pemompaan air dalam konsep mandiri energi di tambak udang berfungsi untuk mensuplai air penambah tambak yang berkurang karena penguapan dan faktor lainnya. Suplai energi listrik ke baterai berasal dari sel PV. Energi tersebut akan digunakan untuk menjalankan pompa air bila terjadi pengurangan air, penerangan pada malam hari dan penggunaan lain (radio, telpon genggam, dll). Untuk mengetahui performansi pompa air, pengujian lapangan dilakukan tanpa penggunaan baterai dan dengan penggunaan baterai.

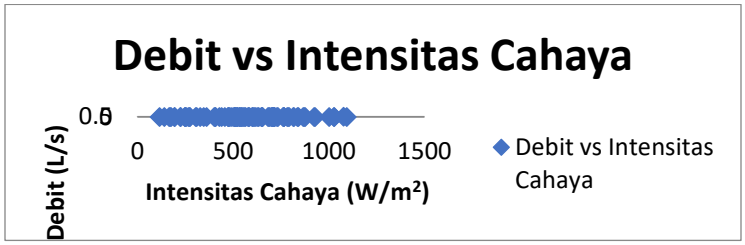
3.2 Pengujian Pompa Air tanpa Penggunaan Battery

Pengujian dilakukan mulai dari pukul 08:00 sampai dengan 16:00 WITA (waktu lokal) dengan interval waktu pengambilan data adalah 5 menit. Pompa air yang digunakan adalah pompa air modifikasi dengan penggerak motor DC 12 volt. Daya yang disuplai ke pompa bervariasi berdasarkan intensitas matahari. Data yang diperoleh dari pengujian ini dapat dilihat pada grafik berikut:

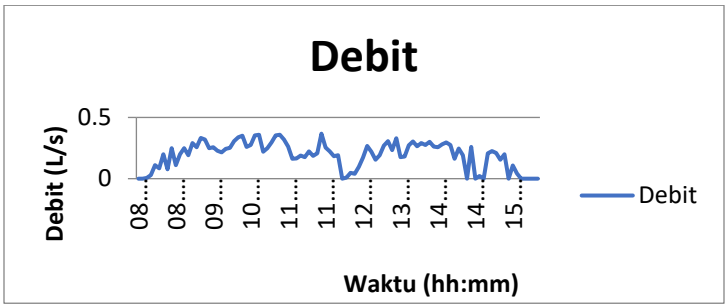
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 8. Intensitas Matahari (Data: 2 Agustus 2016)



Gambar 9. Debit air terhadap Intensitas Matahari (Data: 2 Agustus 2016)



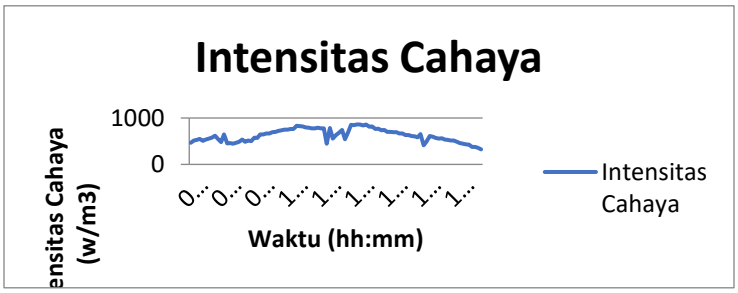
Gambar 10. Debit Air Harian Pompa Air (Data: 2 Agustus 2016)

Debit air yang dihasilkan oleh pompa dipengaruhi oleh intensitas matahari. Debit air maksimum yang bisa dicapai adalah sekitar 0.39 L/s. Adapun debit harian rata-rata dapat dilihat pada grafik 3. Debit rata-rata harian adalah sekitar 0.25 L/s. Dari data tersebut diatas dapat diketahui bahwa untuk memompa air sekitar 1 m^3 diperlukan waktu sekitar 1.1 jam.

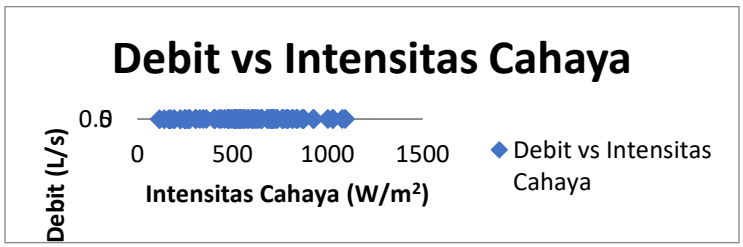
3.3 Pengujian Pompa Air dengan Penggunaan Battery

Pengujian dilakukan mulai dari pukul 08:00 sampai dengan 16:00 WITA (waktu lokal) dengan interval waktu pengambilan data adalah 5 menit. Pompa air yang digunakan adalah pompa air modifikasi dengan penggerak motor DC 12 volt. Daya yang disuplai ke pompa bervariasi berdasarkan intensitas matahari. Data yang diperoleh dari pengujian ini dapat dilihat pada grafik berikut:

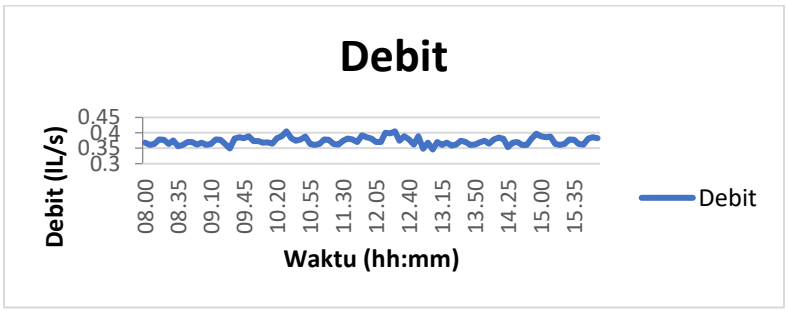
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 11. Intensitas Matahari (Data: 8 Agustus 2016)



Gambar 12. Debit Air terhadap Intensitas Matahari (Data: 8 Agustus 2016)



Gambar 13. Debit Air Harian Pompa Air (Data: 8 Agustus 2016)

Debit air yang dihasilkan oleh pompa dipengaruhi oleh intensitas matahari. Debit air maksimum yang bisa dicapai adalah sekitar 0.4 L/s. Adapun debit harian rata-rata dapat dilihat pada grafik 3. Debit harian rata-rata adalah sekitar 0.375 L/s. Dari data tersebut diatas dapat diketahui bahwa untuk memompa air sekitar 1 m^3 diperlukan waktu sekitar 0.7 jam.

3.4 Contoh Pemanfaatan Pompa Air Sel PV

Sebuah areal tambak memiliki panjang 50 m x 50 m. Tambak tersebut memerlukan suplai air penambah setiap harinya karena proses evaporasi agar ketinggian air tetap stabil.
Laju evaporasi (Q_{ev}) adalah:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

$$Q_{ev} = Q_{ev\ air\ tawar} \times A_{tambak} \quad (1)$$
$$= 0{,}37\ L/s/ha \times \frac{1}{4}\ ha$$
$$= 0{,}0925\ L/s$$
$$= 333\ L/jam \quad = 0{,}33\ m^3/jam$$

Sehingga tambak akan kehilangan air sebesar 0.33 m^3 per jamnya. Kehilangan air dalam 1 (satu) hari (asumsi penguapan terjadi 8 jam sehari) diperoleh sebagai berikut:

$$Q_{ev_harian} = 0{,}33\ m^3/jam \times 8\ jam \quad (2)$$
$$= 2.64\ m^3/hari$$

Untuk mensuplai kekurangan air tersebut dengan pompa air sel PV dengan data debit yang telah diperoleh dari pompa ini yaitu sebasar 0.375 L/s maka dibutuhkan waktu sekitar 2 jam. Hal ini menunjukkan bahwa untuk tambak dengan luas 50 x 50 meter dan kebutuhan suplai air sebesar 2.64 m^3 maka pompa akan dijalankan selama 2 jam per hari.

4. Kesimpulan

Pengembangan sumber energi terbarukan pada tambak udang di kabupaten Pinrang Sulawesi Selatan telah dilaksanakan melalui Konsep Mandiri Energi dengan penerapan teknologi sel photovoltaik. Teknologi ini menyediakan sumber energi listrik untuk menjalankan pompa air dan penggunaan lainnya di areal tambak udang. Peningkatan pengetahuan dan keterampilan masyarakat dalam upaya pemberdayaan masyarakat dalam pemanfaatan energi terbarukan dengan penerapan teknologi sel *photovoltaik* tersebut dilakukan melalui kegiatan sosialisasi dan implementasi termasuk pelatihan. Penyediaan sumber energi alternatif untuk menjalankan peralatan pendukung pada tambak udang seperti pompa air dan penggunaan lainnya telah tersedia. Beberapa kelompok masyarakat telah dilatih dalam pembuatan dan pengoperasian peralatan tersebut diatas. Pengetahuan dan keterampilan yang telah dimiliki tersebut diharapkan dapat dikembangkan secara mandiri oleh masyarakat. Pemerintah setempat dapat menyusun program pemberdayaan kelompok masyarakat tersebut secara lebih sistematis untuk kemajuan daerah tersebut. Kegiatan ini diharapkan dapat terus ditingkatkan dalam berbagai program kemitraan pendampingan yang lebih luas dengan melibatkan institusi terkait. Pengujian lapangan terhadap pompa air juga telah dilakukan sebagai panduan dalam aplikasi. Debit air rata-rata harian dari pompa air adalah sekitar 0.375 L/s. Sebagai contoh, tambak udang seluas 50 x 50 meter mempunyai kebutuhan suplai air sebesar 2.64 m^3 maka pompa akan dijalankan selama 2 jam perhari.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LP2M UNHAS atas kerjasamanya dan KEMENRISTEKDIKTI atas dukungan dananya dalam pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat ini.

Daftar Pustaka

Azhar, F., Nasri, M.Z. (2015). *Analisis Unjuk Kerja Sistem Prototipe Kincir Aerator Tambak Udang Tenaga Matahari*, [Skripsi]. Program Sarjana Universitas Hasanuddin.

Arfandy, R., Arif, E., Jalaluddin. (2016). *Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Penggerak Pompa Rumahan*, Prosiding Seminar Nasional ke 3 Rekayasa Material, Sistem Manufaktur dan Energi, 16 – 17 November 2016.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dinas Kelautan dan Perikanan. (2012). http://dinaskelautanperikanan.blogspot.com/2012/04/kondisi-dan-potensi-budidaya-udang-di.html.

Hasbi, H.S. (2014). *Analisis Peningkatan Efisiensi Sel Surya dengan Aliran Air Pendingin di bawah Panel*, [Tesis]. Pascasarjana Universitas Hasanuddin.

Jalaluddin, Jalil, A.R., Tarakka, R., Wardi. (2015). *Pemberdayaan Masyarakat dengan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan pada Tambak Udang*, Agrokreatif, Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat, November 2015, Vol 1 (2): 136-141, ISSN 2460-8572, EISSN 2461-095X.

Jalaluddin, Mire, B. (2015). *Performance Investigation of Photovoltaic Module with Solar Tracking*, *Proceeding of the 2nd International Symposium on Smart Material and Mechatronics.* Makassar-Gowa, 26-29, October, 2015, ISSN: 978-979-17225-8-2.

Jalaluddin, Himran, S., Arief, S., Khalik, A. (2016). *Studi Eksperimental Performansi Modul Photovoltaik dengan Pendinginan Air*, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV (SNTTM XV) Bandung 5 – 7 Oktober 2016.

Mahmud, U., Sumantadinata, K., Pandjaitan, N. H. (2007). *Pengkajian Usaha Tambak Udang Windu Tradisional di Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan*, Jurnal MPI 2(1): 70-85.

Shiddiq, A., Multazam. (2015). *Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Penggerak Pompa Tambak*, [skripsi]. Program Sarjana Universitas Hasanuddin.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kajian Kelayakan Penempatan *Solar Pond* sebagai Sumber Energi Terbarukan di Jeneponto

Nur Fadliah Baso[*1], Indar Chaerah Gunadin[1], Yusran[1]
[1]Departmen Teknik, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin,
Jl. Poros Malino Km.6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, 92171
*Email: nfadliahb@gmail.com

Abstrak

Energi listik merupakan kebutuhan manusia yang sangat penting karena selain berfungsi dalam penerangan, energi listrik juga sangat berperan dalam berbagai aktivitas manusia lainnya. Dengan seiring waktu, bahan baku pembangkit tenaga listrik dari fosil juga semakin menipis. Sudah selayaknya kebutuhan energi yang memanfaatkan energi fosil berganti menjadi energi terbarukan. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang potensinya sangat besar di Indonesia adalah energi berasal dari energi laut yang dinamakan *solar pond* . Energi dari *solar pond* sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu salinitas, temperatur udara dan radiasi matahari. Penelitian ini akan difokuskan untuk mencari potensi *solar pond* di Jeneponto yang memiliki curah matahari cukup besar dan ketersediaan bahan baku air garam yang melimpah. Metode yang digunakan yaitu dengan menganalisa nilai dari model matematis radiasi matahari horizontal harian, temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban relatif, dan tekanan atmosfir selama 22 tahun terakhir yang diselesaikan dengan menggunakan MATLAB. Hasil penelitian ini akan menunjukkan potensi untuk penerapan *solar pond* di Jeneponto yang dapat di aplikasikan di berbagai bidang seperti pembangkit energi listrik, proses pemanasan industri, desalinasi dan pemanasan konversi biomass.

Abstract

Electrical energy is one of the important human needs because in addition to function in lighting, electrical energy also plays important role in various human activities. With times, the raw materials for power generation from fossils also decreases. It is now considered the time to switch to renewable energy. One of the renewable energy utilization with high potency in Indonesia is the energy derived from oceanic energy called Solar Pond. Energy from Solar Pond is highly influenced by several factors including saliniity, air temperature and solar radiation. This study will be focused to find potentials of Solar Pond in Jeneponto, a region with fairly high solar radiation intensity and abundant salt water availability. Method used in this study was by analyzing the values of the mathematical model of daily horizontal solar radiation, air temperature, wind speed, relative humidity, and atmospheric pressure for the last 22 years which were finalized using MATLAB. These study findings will indicate the potential for solar pond application in Jeneponto which can be applied in various fields including power generation, industrial heating process, desalination and heating for biomass conversion.

Kata Kunci : *Potensi, Solar Pond, Energi Terbarukan*

1. Pendahuluan

Wilayah laut Indonesia mempunyai luas tiga kali lebih besar dari luas daratan, namun kegiatan pemanfaatan energi laut belum berkembang. Potensi dari energi laut yang masih belum begitu dikembangkan di Indonesia yaitu sumber energi yang berasal dari *solar pond.* Salah satu cara untuk menangkap energi matahari adalah dengan menggunakan teknologi *solar pond*, dibandingkan dengan yang lainnya, metode penggunaan energi panas matahari untuk pembangkit tenaga listrik dinilai lebih efisien [1]. *Solar pond* merupakan kolam air garam yang mampu menyimpan radiasi matahari dan energi panas untuk selang waktu yang lama [2]. *Solar pond* telah diusulkan sebagai teknologi yang sederhana dan ekonomis dalam mengumpulkan dan menyimpan energi panas dalam skala besar [3]. Umumnya *solar pond* memiliki luas 2000 m^2 sampai 250.000 m^2 dengan kedalaman 4 m. Penerapan *solar pond* dapat di aplikasikan di berbagai bidang seperti pembangkit energi listrik, proses pemanasan industri, desalinasi dan pemanasan konversi biomass.

Untuk pembangkit tenaga listrik, teknologi ini sudah lama di gunakan di negara-negara maju

© 2017 Jurnal Penelitian Enjiniring, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

seperti Amerika Serikat, Israel dan Australia. Di Amerika Serikat memiliki *El Paso solar pond* yang beroperasi pada tahun 1986 dengan luas 3200 m^2 yang menghasilkan 70 kW. Di Israel memiliki *Beit Haarava solar pond* beroperasi pada tahun 1987 dengan luas 250.000 m^2 yang menghasilkan 5 MW. Di Australia memiliki *Alice Spring pond* yang beroperasi pada tahun 1983 dengan luas 2000 m^2 yang menghasilkan 20 kW.

Sedangkan untuk proses pemanasan industri di India memiliki *Bhuj solar pond* yang beroperasi pada tahun 1993 dengan luas 6000 m^2 yang menyuplai 80.000 liter air panas per hari. Pemanfaatan energi yang berasal dari *solar pond* tentunya merupakan aset jangka panjang di Indonesia.

Pada penilitian ini penulis melakukan analisa tentang data rata-rata; radiasi matahari horizontal harian, temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban relatif, dan tekanan atmosfir selama 22 tahun terakhir yang bersumber dari situs web NASA. Data yang diperoleh kemudian diolah lagi untuk medapatkan nilai temperatur *storage zone* (LCZ) pada *solar pond.* Pemanfaatan energi panas LCZ dilakukan setelah temperatur pada LCZ telah mencapai temperatur 70 °C. Nilai temperatur ini yang kemudian dapat digunakan diberbagai bidang seperti pembangkit tenaga listrik, proses pemanasan industri, desalinasi dan pemanasan konversi biomass. Teknologi ini sangat di usulkan untuk daerah-daerah tropis yang berada di pesisir pantai karena selain praktis, teknologi ini juga merupakan teknologi yang murah dan ramah lingkungan. Dari pertimbangan tersebut sehingga penulis memilih daerah Jeneponto di Sulawesi Selatan untuk melakukan riset penelitian.

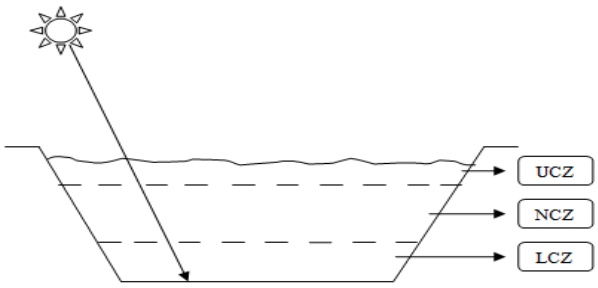
Struktur penulisan penelitian ini terbagi atas beberapa bagian. Pada bagian pertama membahas tentang pendahuluan, bagian kedua menjelaskan tentang teori dasar *solar pond*, bagian ketiga membahas tentang metodologi penelitian, bagian keempat menjabarkan hasil dan pembahasan, dan bagian kelima menyimpulkan inti dari hasil penelitian dari penelitian yang telah dilakukan.

2. *Solar Pond*

Solar pond merupakan kolam air garam yang berfungsi untuk mengumpulkan energi panas matahari yang akan dikonversikan lagi kedalam bentuk energi listrik. Teknologi ini merupakan teknologi mendasar dan sangat mudah digunakan dengan lahan yang cukup dan desain yang tepat. Ukurannya pun bervariasi tergantung dari kebutuhannya.

Pada dasarnya air dibawah terik matahari dapat menyerap panas matahari secara alami. Ketika energi panas matahari masuk kedalam air, air akan menjadi panas dan bagian air yang panas densitasnya akan turun karena terjadi pemuaian pada air sehingga air yang panas akan naik ke permukaan dan air yang lebih dingin akan berada didasar. Akibat adanya kontak antara air panas dan udara permukaan terjadi pelepasan kalor secara konduksi dan konveksi pada air panas sehingga kalor pada air terbuang sia-sia.

Agar panas didalam air tadi tidak terbuang sia-sia maka dimasukkan garam kedalam air. Ketika air yang diberi garam dipanaskan, garam mudah larut didalam air sehingga air panas yang tadinya ringan menjadi lebih berat karena larutan garam membuat densitas air menjadi lebih berat dan air yang lebih dingin naik ke permukaan karena lebih ringan.



Gambar 1. Pemodelan layer *solar pond*

Dalam pemodelan layer *solar pond*, terbagi atas 3 bagian yaitu :

a. *Upper Convective Zone* (UCZ) / *Upper Zone* memiliki kedalaman 0,3 – 0,5 m, menerima radiasi matahari secara langsung, memilki salinitas dan temperatur rendah yang merata pada seluruh kedalamannya.
b. *Non-Convective Zone* (NCZ) / *Gradient Zone* memiliki kedalaman 1 - 1,5 m, memilki distribusi salinitas dan temperatur yang

bervariasi sebagai fungsi kedalaman. Semakin meningkat kedalaman pada NCZ semakin besar nilai salinitas dan temperaturnya.

c. *Lower Convective Zone* (LCZ) / *Storage Zone* memiliki kedalaman 1,5 - 2 m, memiliki nilai salinitas dan temperatur yang konstan serta merata pada seluruh kedalamannya. Daerah ini berfungsi sebagai zona penyimpanan panas dari *solar pond*, dimana temperatur LCZ dapat dimanfaatkan sesuai keperluannya.

Energi yang dihasilkan *solar pond* sangat tergantung pada salinitas, temperatur udara dan juga radiasi matahari.

3. Metodologi Penelitian

3.1 Studi Area

Pemilihan wilayah berada di Sulawesi Selatan yakni Jeneponto pada lintang 5°35'17.5"S 119°33'53.9"E karena daerah tersebut merupakan daerah penghasil garam dan memiliki potensi panas untuk dieksplorasi. Salinitas merupakan salah satu parameter penting yang berfungsi untuk menangkap panas dalam *solar pond*. Semakin tinggi nilai salinitas dalam *solar pond* maka semakin besar panas yang dihasilkan [4,5]. Pada Gambar 2 menujukkan peta daerah Jeneponto di Sulawesi Selatan.



Gambar 2. Peta daerah jeneponto.

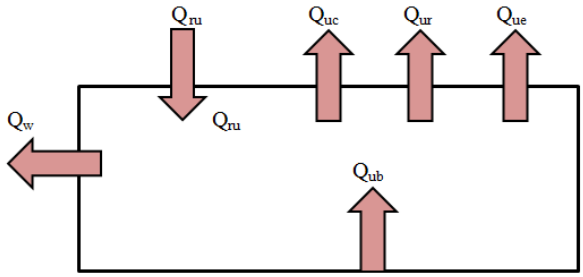
Sumber data diperoleh dari situs web NASA yang merekam data rata-rata; radiasi matahari horizontal harian, temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban relatif, dan tekanan atmosfir selama 22 tahun terakhir [6]. Data yang diperoleh kemudian diolah lagi untuk medapatkan nilai temperatur *storage zone* dalam *solar pond*.

Tabel 1. Nilai parameter di jeneponto

Bulan	Radiasi Matahari Harian (kWh/m²/ day)	Temperature Udara (° C)	Kecepatan Angin (m/s)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Atmosfir (kPa)
Januari	4.57	26.4	4.36	81.1	100
Februari	4.84	26.3	4.43	80.3	100
Maret	5.75	26.4	3.29	81.5	100
April	5.91	26.6	3.36	80.9	100
Mei	5.97	26.6	4.76	79.4	100
Juni	5.67	26.1	5.46	79.0	100
Juli	5.95	25.7	5.92	76.6	100
August us	6.70	25.8	6.09	72.7	100
Septem ber	7.22	26.3	5.59	71.5	100
Oktober	7.05	26.7	4.25	73.7	100
Novem ber	6.09	26.7	3.09	78.6	100
Desemb er	4.75	26.5	3.46	80.4	100

3.2 Model Matematis

Rugi panas merupakan faktor terpenting yang mempengaruhi kinerja *solar pond*. Rugi panas dapat termasuk rugi konvektif, rugi radiasi, penguapan dan rugi sisi [7]. Pada Gambar 3 menunjukkan keseimbangan panas di *upper zone.*



Gambar 3. Keseimbangan panas di *upper zone*

Persamaan untuk keseimbangan panas pada *upper zone* dapat ditulis sebagai :

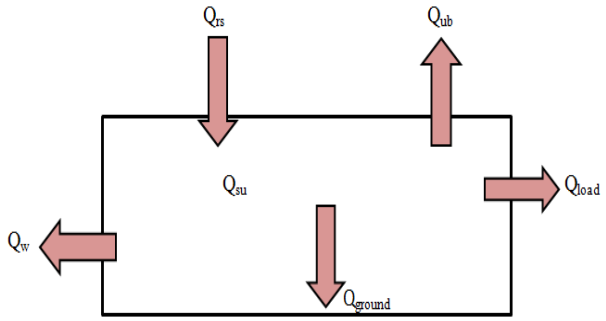
$$\rho_u \, C_{pu} \, A_u \, X_u \frac{dTu}{dt} = Q_{ru} + Q_{ub} - Q_{uc} - Q_{ur} - Q_{ue} - Q_w \quad (1)$$

Sisi kiri persamaan (1) mewakili akumulasi panas di zona konvektif bagian atas. Untuk sisi kanan persamaan, Q_w adalah rugi panas melalui

dinding kolam. Dalam penelitian ini Q_w = 0 (misalkan tembok itu terisolasi dengan baik) [8]. Persamaan (1) yang mewakili konservasi energi di UCZ dapat ditulis ulang sebagai:

$$\rho_u\, C_{pu}\, A_u\, X_u \frac{dT_u}{dt} = A_u \left[Q_{ru} + \frac{[T_s - T_u]}{\frac{1}{h_1} + \frac{X_{NCZ}}{K_W} + \frac{1}{h_2}} - \left\{(5.7 + 3.8v)[T_u - T_a]\right\} - 4.708 \times 10^{-8} \left\{T_u^4 - \left[0.0552(T_a)1.5\right]4\right\} - \left[\lambda h_c (P_u - P_a)/\left[(1.6c_s P_{atm})\right]\right]\right] \quad (2)$$

Rugi panas yang terjadi di *storage zone* berasal dari perpindahan panas secara konduksi. Isolasi yang tepat dapat digunakan untuk sisi samping dan bagian bawah *storage zone* guna memperbaiki kinerja *storage zone*. *Gradient zone* juga dapat mempengaruhi kinerja dengan menghalangi hilangnya panas ke atas dari *storage zone* ke *upper zone*. Pada Gambar 4 menunjukkan keseimbangan panas di *storage zone.*



Gambar 4. Keseimbangan panas di *storage zone*

Persamaan untuk keseimbangan panas pada *storage zone* dapat ditulis sebagai :

$$\rho_l\, C_{pl}\, Al\, Xl \frac{dT_s}{dt} = Q_{rs} - Q_{ub} - Q_{ground} - Q_{load} - Q_w \quad (3)$$

Hal ini diasumsikan bahwa pemanasan pada *solar pond* dimulai dengan tidak ada beban Q_{load} = 0. Sebagai tambahan, diasumsikan bahwa Q_w = 0. Persamaan (3) yang mewakili konservasi energi di LCZ dapat ditulis ulang sebagai:

$$\rho_l\, C_{pl}\, Al\, Xl \frac{dT_s}{dt} = A_l \left[Qrs - \frac{[T_s - T_u]}{\frac{1}{h_1} + \frac{X_{NCZ}}{K_W} + \frac{1}{h_2}} \right] - \frac{A_b[T_s - T_g]}{\frac{1}{h_3} + \frac{X_g}{K_g} + \frac{1}{h_4}} \quad (4)$$

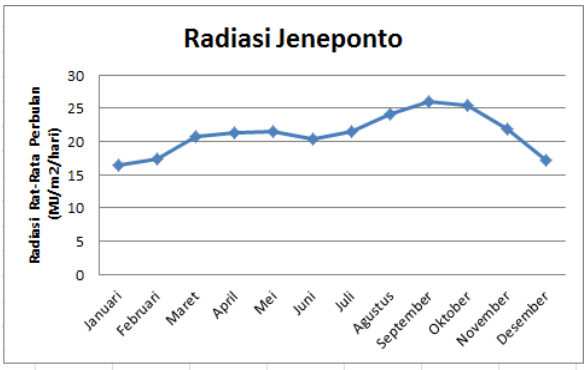
Rincian lebih lanjut untuk setiap parameter dalam Persamaan (2) dan Persamaan (4) diberikan oleh Jerome, Ahmed, Wongsakorn [7] dan Assad, Hazim, Alasdir [8].

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data NASA, Jeneponto memiliki radiasi yang baik. Dari pengamatan yang dilakukan maka data radiasi di Jeneponto dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2. Data radiasi jeneponto

Bulan	Radiasi Jeneponto (MJ/m^2/hari)
Januari	16.452
Februari	17.424
Maret	20.700
April	21.276
Mei	21.492
Juni	20.412
Juli	21.420
Agustus	24.120
September	25.992
Oktober	25.380
November	21.924
Desember	17.100



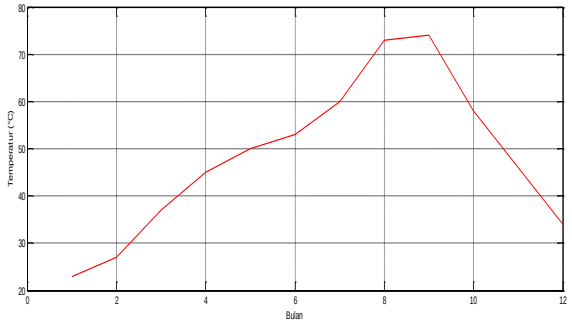
Gambar 5. Grafik radiasi di jeneponto

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada daerah Jeneponto memiliki nilai radiasi paling tinggi di bulan September yaitu mencapai 25.992 MJ/m^2/hari dan nilai radiasi paling rendah di bulan Januari yaitu mencapai 16.452 MJ/m^2/hari.

Persamaan (2) dan (4) telah diselesaikan dengan menggunakan MATLAB. Persamaan (2) dan (4) dapat dipecahkan tergantung pada nilai awal dari temperatur yang tidak diketahui *Tu* dan *Ts*. Nilai awal ini berbeda dengan lokasi kolam dan waktu dari tahun ketika *solar pond* mulai bekerja. Nilai konstanta yang digunakan dalam model adalah sebagai berikut; ρu = 1000 kg/m^3, ρ_l = 1200 kg/m^3, c_{pu} = 4180 J/kg K, c_{pl} = 3300

J/kg K, $A_u = A_l = Ab = 1$ m^2, $h_1 = 56.58$, $h_2 = 48.279$, $h_3 = 78.12$, $h_4 = 185$ (dengan satuan nilai W/m^2 K) dan $k_w = 0.596$ W/m K, $T_g = 23$ ºC. Untuk nlai x_g and k_g tergantung pada sifat tanah dibawah kolam [8].

Pada Gambar 6 menunjukkan temperatur *storage zone* selama setahun di daerah Jeneponto.



Gambar 6. Grafik temperatur *storage zone* di jeneponto

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa temperatur maksimum pada *storage zone* (LCZ) untuk daerah Jeneponto berada di bulan Agustus sampai September yang berkisar 73 °C sampai 74 °C. Sedangkan suhu minimum pada *storage zone* (LCZ) berada di bulan Januari sampai Februari yang berkisar antara 23 °C sampai 27 °C. Dengan suhu *storage zone* (LCZ) yang berada diatas 70 °C maka *solar pond* tersebut sudah bisa digunakan sesuai pemanfaatannya.

5. Kesimpulan

Penelitian ini menyoroti lokasi di Sulawesi Selatan tepatnya di Jeneponto yang merupakan daerah penghasil garam dan memiliki potensi panas untuk dieksplorasi. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa daerah Jeneponto memiliki potensi yang baik sebagai penempatan dari *solar pond*. Jeneponto memiliki nilai rata-rata maksimum *irradiance* 25.992 MJ/m^2/hari dan suhu pada *storage zone* mencapai 74°C. Dengan demikian panas yang dihasilkan tersebut dapat digunakan di berbagai bidang seperti pembangkit energi listrik, proses pemanasan industri, desalinasi dan pemanasan konversi biomass.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyadari bahwa penyusunan penelitian ini banyak mengalami hambatan, rintangan dan halangan, namun dengan bantuan dari berbagai pihak semua ini dapat terselesaikan dengan baik, oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Bapak Indar Chaerah Gunadin dan Bapak Yusran, selaku pembimbing yang banyak meluangkan waktunya dalam memberikan petunjuk dan bimbingan sehingga kesulitan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini dapat terselesaikan. Terimakasih juga yang sebesar-besarnya kepada Bapak dan Ibu Dosen yang telah memberikan banyak masukan dan bimbingannya selama penulis menempuh perkuliahan, dan terimakasih juga kepada suami atas doa dan dukungannya, dan juga terimakasih buat semua teman-teman yang selalu membantu dan dukungannya selama penulis menempuh perkuliahan dan penelitian.

Referensi

[1] Ahmad Aizaz, Rizwan Yousaf. 2013. *Construction and Analysis of A Salt Gradien Solar Pond for Hot Water Supply*. European Scientific Journal Edition volume 9 no.36. ISSN 1857-7881.

[2] Khaterin I, Bambang I.W, Ridho H.M, M. Awan E.S. 2013. *Studi Pemanfaatan Closed Cycle Salt Gradien Solar Pond (CCSGSP) Untuk Pembangkit Listrik di Pesisir Kabupaten Gresik.* Institut Teknologi Sepuluh November

[3] Jerome Godwin Egbe, Ahmed Hasan Khan, Wongsakorn Wisatesajja. 2013. *Design of Solar Pond calculation and Technique in Africa*. IOSR-JMCE Volume 6 (2013), PP 22-32.

[4] Sura Tundee, Narong Srihajong, Suparerk Charmongkolpradit. 2013. *Electric Power Generation from Solar Pond Using Combination of Thermosyphon and Thermoelectric Modules*. ScienceDirect Publisher. Energy Procedia 48 (2014) 453-463.

[5] M.M.O Dah, M. Ouni, A. Guizani, A. Belghith. 2005. *Study Of Temperature And Salnity Profiles Development Of Solar Pond In Laboratory.* ScienceDirect Publisher. Desalination 183 (2005) 179-185.

[6] NASA, "Data NASA untuk Kabupaten Jeneponto" diunduh [14 Agustus 2017] melalui https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=300085&lat=-5.588&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sitelev=&email=w_wongsakorn@hotmail.com&p=grid_id&p=s

wvdwncook&p=swv_dwn&p=T10M&p=TSKIN&p=wspd50m&p=RH10M&p=PS&step=2&lon=119.565

[7] Assad H. Sayer, Hazim Al-Hussaini, Alasdir N. Campbell. 2016. *New Theoretical Modelling Of Heat Transfer In Solar Pond*. ScienceDirect Publisher. Solar Energy 125 (2016) 207-218

[8] Safwan Kanan, Jonathan Dewsbury, Gregory F. Lane-Serff, Muhammad Asim. 2015. *The Effect Of Ground Conditions Under A Solar Pond On The Performance Of A Solar Air-Conditioning System*. ScienceDirect Publisher . Energy Procedia 91 (2016) 777–784.

© 2017 Jurnal Penelitian Enjiniring, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jurnal Teknologi Industri Pertanian 31 (3): 249-259, Des 2021
DOI: https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2021.31.3.249
ISSN: 0216-3160 EISSN: 2252-3901

Terakreditasi Peringkat 2
SK Dirjen Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi No. 158/E/KPT/2021
Tersedia online http://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnaltin

KAJIAN SINERGITAS AGROINDUSTRI KELAPA SAWIT DAN USAHA MIKRO KECIL UNTUK MEMPRODUKSI ENERGI TERBARUKAN

THE STUDY OF SYNERGY BETWEEN PALM OIL AGROINDUSTRY AND SMALL MICRO ENTERPRISES TO PRODUCE RENEWABLE ENERGY

Hesty Heryani[1)*], EN Anugraini Dewi[1)], A Cahyo Legowo[1)], Abdul Ghofur[2)], Nursiah Chairunnisa[3)]

[1)]Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Indonesia
Jl. A. Yani, Km. 36 Simpang Empat, Banjarbaru 70714, Kalimantan Selatan, Indonesia
*Email : hheryani@ulm.ac.id
[2)]Program Studi Teknik Mesin, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Indonesia
[3)]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Indonesia

Makalah: Diterima 26 Oktober 2021; Diperbaiki 2 Desember 2021; Disetujui 10 Desember 2021

ABSTRACT

Through Making Indonesia 4.0, The Ministry of Industry responds to the demands of energy needs by innovative renewable energy development to reduce the consumption of fossil fuels such as petroleum, natural gas and coal with agricultural biomass waste sources. The aim of this research was to synergize waste from the biodiesel industry in the form of sterol glycosides with purun waste from creative small-scale enterprises (SMEs) to produce renewable energy as a circular economy. The method applied was in the form of descriptive analysis, followed by identifying and characterizing waste found in the biodiesel industry, as well as various purun wastes, which were collectively sampled every day for 3 months, becoming the basis for developing innovative products. Interviews were conducted on 60 purun craftsmen to confirm the circular economy program being studied. Observations were also made in the biodiesel industry and purun craftsmen. Data processing was obtained from the results of experiments by making briquette products referring to several parameters which were the basis for standardizing renewable energy products. The synergy between the two actors, namely the Biodiesel Industry and SMEs in micro-scale circular economy activities, produced environmentally friendly-renewable energy which was very helpful for purun micro and small businesses in Purun Village, Banjarbaru, South Kalimantan. Renewable energy results were from various formulas developed with the main ingredients derived from purun biomass charcoal and biodiesel industrial waste. The advantage of the product when several other variables met the SNI standard 01-6235-2000 had a calorific value of 5.809 cal g^{-1} - 6.598 cal g^{-1}, where 5.000 cal g^{-1} which was the SNI for briquette heat could be exceeded. The calorific value produced is equivalent to bituminous grade coal having a carbon content of above 85%.

Keywords: briquettes, calor, purun, sterol glycosides, SMEs

ABSTRAK

Kementerian Perindustrian melalui Making Indonesia 4.0 menjawab tuntutan kebutuhan energi melalui inovasi pengembangan energi terbarukan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara dengan sumber limbah biomassa pertanian. Tujuan penelitian adalah mensinergikan limbah dari industri biodiesel berupa sterol glikosida dengan limbah purun dari Usaha Kecil dan Menengah (UKM) produk kreatif, menghasilkan energi terbarukan sebagai ekonomi sirkular. Metode yang diterapkan berupa analisis deskriptif, selanjutnya dilakukan identifikasi dan karakterisasi sterol glikosida yang ditemukan pada industri biodiesel, serta aneka limbah purun yang dilakukan pengambilan sampel secara kolektif setiap hari selama 3 bulan, menjadi dasar pengembangan produk inovatif. Wawancara dilakukan pada 60 pengrajin purun untuk memastikan program ekonomi sirkular yang dikaji. Observasi juga dilakukan baik pada industri biodiesel maupun Pengrajin Purun. Pengolahan data diperoleh dari hasil ekperimen dengan membuat produk briket mengacu beberapa parameter yang menjadi dasar standarisasi produk energi terbarukan. Sinergitas kedua Aktor yaitu Industri Biodiesel dan UKM dalam kegiatan ekonomi sirkular skala mikro yaitu menghasilkan energi terbarukan yang ramah lingkungan sangat membantu usaha mikro kecil purun di Kampung Purun Banjarbaru, Kalimantan Selatan. Hasil energi terbarukan dari berbagai formula yang dikembangkan dengan bahan utama berasal dari arang biomassa limbah purun dan limbah industri biodiesel. Keunggulan produk pada saat beberapa variabel lainnya memenuhi standar SNI 01-6235-2000 memiliki kalor mencapai nilai 5.809 kal g^{-1} – 6.598 kal g^{-1}, dimana 5.000 kal g^{-1} yang merupakan SNI kalor briket. Nilai kalor yang dihasilkan setara dengan batubara kelas bituminus yang memiliki kandungan karbon di atas 85%.

Kata kunci : briket, kalor, purun, sterol glikosida, UMK

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

*Penulis Korespondensi

PENDAHULUAN

Agroindustri kelapa sawit di Indonesia telah memberikan banyak kontribusi pada ekonomi Negara (Sipayung, 2012). Menurut *National Research Council*, Amerika Serikat (2010) konsep dari agroindustri sawit harus mampu memenuhi tercapainya target sebagai penyedia pangan, papan, dan energi. Untuk mencapai target pemikiran tersebut, agroindustri kelapa sawit Indonesia harus mampu mengubah paradigma pengelolaannya. Titik perubahan itu dimulai dari hanya memproduksi *Crude Palm Oil* (CPO) dan membiarkan limbah industrinya, ke arah pendayagunaan limbah pabrik sawit menjadi produk bioenergi. Perubahan paradigma ini berarti bahwa agroindustri sawit harus mampu menggali sendiri atau menyerap kemajuan teknologi terkini dalam menghadapi masalah lingkungan dan sosial Perubahan paradigma ini akan melahirkan strategi pendayagunaan teknologi dan sumberdaya manusia, pembukaan celah pasar dan peluncuran produk baru, serta intensifikasi perkebunan sawit sebagai bahan baku energi dan pangan. Singkat kata, perubahan paradigma itu menggiring masalah dan tantangan menjadi peluang bisnis baru di bidang energi tanpa meninggalkan bisnis utama dibidang perkebunan sawit (Nur dan Jusuf, 2014).

Era ketidakpastian yang dikenal dengan VUCA (*Volatility*, *Uncertainty*, *Complexity*, *and Ambiguity*) menyebabkan industri manufaktur dihadapkan pada tantangan global yang semakin ketat dalam hal memanfaatkan tenaga kerja, mesin, energi dan ilmu pengetahuan serta teknologi yang sangat pesat dan berdampak terhadap perekonomian nasional, baik dari segi kontribusinya terhadap pendapatan Negara maupun besarnya tenaga kerja yang terserap (Murugan *et al*., 2020; Raja, 2021). Kementerian Perindustrian melalui Making Indonesia 4.0 telah menetapkan lima sektor prioritas penerapan Industri 4.0. Kelima sektor tersebut meliputi industri makanan dan minuman, industri tekstil dan pakaian jadi, industri elektronik, industri otomotif, dan industri kimia. Kemudian, pada masa pandemi ini, Kemenperin menambah dua sektor, yaitu industri farmasi dan industri alat kesehatan. Untuk mengakselerasi penerapan peta jalan Making Indonesia 4.0, Pemerintah Indonesia telah menetapkan 10 strategi prioritas Making Indonesia 4.0 yang meliputi perbaikan aliran material, desain ulang kawasan industri, standar akomodasi keberlanjutan, dan pemberdayaan usaha mikro kecil dan menengah. Selanjutnya, mendukung peningkatan infrastruktur digital nasional, investasi asing, serta kualitas sumber daya manusia. Selain itu, pembentukan ekosistem inovasi, penerapan insentif investasi teknologi, serta harmonisasi aturan dan kebijakan (Hidayatno *et al*., 2019).

Pada Agroindustri kelapa sawit, limbah yang dihasilkan dari produksi *Crude Palm Oil* (CPO) adalah tandan kosong, serabut, cangkang sawit, serta limbah cair *Palm Oil Mill Effluent* (POME) yang diolah pabrik (Nur, 2014). Selanjutnya, untuk biodiesel dapat diproduksi dari bahan baku minyak nabati seperti *Crude Palm Oil* (CPO *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO), *Refined Bleached Deodorized Olein* (RBD Olein), *Refined Bleached Deodorized Palm Stearin* (RBD Stearin) dan *Palm Fatty Acid Destilled* secara transesterifikasi lemak dan minyak dengan metanol menggunakan katalis basa yang menghasilkan limbah berupa seperti air, gliserida bebas dan terikat, asam lemak bebas, katalis, alkohol residu, dan bahan yang tidak mudah disambungkan (sterol, tokoferol, dan hidrokarbon) (Hidayatno *et al*., 2015; Songtawee *et al*., 2014; Wang *et al*., 2010).

Energi terbarukan merupakan istilah yang disusun berdasarkan tiga wujud energi terbarukan berbasis biomassa dalam bentuk cair yang disebut biodiesel, berwujud padat disebut biosolid, dan dalam wujud gas disebut biogas. Umumnya biomassa meliputi limbah terbiodegradasi yang dapat dibakar sebagai bahan bakar seperti jerami, sekam, batok kelapa, tandan kosong dan cangkang sawit, dan limbah kayu. Pellet dan arang (*charcoal*) sebagai bentuk biomassa padat sebagai pendayagunaan teknologi konversi biomassa menjadi energi lain (Nur dan Jusuf, 2014).

Industri manufaktur selalu berusaha menjalankan aktivitas produksi yang mampu menjawab tuntutan kebutuhan energi melalui inovasi pengembangan energi terbarukan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara dengan sumber limbah biomassa pertanian. Usaha preventif yang dikombinasikan untuk keberlanjutan dengan mengoptimalkan bahan baku biomassa komoditas lahan basah dan lahan marginal khas Kalimantan Selatan sebagai potensi sumber daya energi terbarukan. Menurut (Olubajo *et al*., 2019; Busyairi dan Oktaviani, 2018) limbah biomassa komoditas lahan basah dan lahan marginal memiliki kandungan silikon oksida (SiO_2) dan senyawa lainnya yang potensial serta dapat dibuat aneka produk pembangunan berkelanjutan masyarakat.

Pemerintah melalui Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) telah menetapkan target bauran Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 23% pada tahun 2025, sementara berdasarkan data Kementerian ESDM realisasi hingga tahun 2020 baru tercapai 11,51% (Lestari, 2021). Dukungan itu dilaksanakan dalam program kerja perusahaan yang sejalan antara lain melalui penggunaan biomassa perkebunan sebagai sumber energi utama, hilirisasi bisnis perkebunan, serta optimasi dan pengembangan pembangkit listrik maupun sumber EBT lainnya serta program sinergitas dengan Usaha Kecil dan Menengah (UKM) yang menghasilkan limbah biomassa seperti UKM Purun.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Purun sangat cocok untuk dijadikan sebagai bahan baku anyaman. Tahapan proses pengolahan purun menjadi produk anyaman adalah pemanenan, penjemuran (2-3 hari), pemipihan purun, pewarnaan, penjemuran, penganyaman dan *finishing touch*. Dari hasil anyaman produk purun, meninggalkan limbah sisa berupa potongan purun yang tidak dapat digunakan setelah kegiatan tahap akhir produk kerajinan (Heryani *et al.*, 2020).

Perkembangan industri biodiesel khususnya di Kalimantan Selatan memunculkan limbah berupa endapan putih, menurut Songtawee *et al*. (2014) ukuran partikel dari 10–15 µm yang terbentuk pada bagian bawah tangki selama penyimpanan biodiesel dan dalam pipa proses produksi biodiesel yang disebut sterol glikosida. Saat ini sterol glikosida yang dihasilkan dari proses produksi biodiesel berbahan baku *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO) di industri dalam proses secara transesterifikasi. Yanti *et al*. (2019) sebelumnya pernah melakukan penelitian terkait biodisel yang dihasilkan dari campuran sterol glikosida (SG) berwarna putih dalam *Fatty Acid Methyl Ester* mampu dimanfaatkan kembali dalam ekonomi sirkular menjadi energi terbarukan. Hasil karakteristik seperti densitas, viskositas dan bilangan penyabunan telah memenuhi kriteria SNI 7182:2015.

Dalam penelitian ini diberikan solusi alternatif terhadap masalah limbah secara keberlanjutan menjadi produk inovatif yang ramah lingkungan dengan menghasilkan energi terbarukan. Tujuan penelitian adalah mensinergikan limbah dari industri biodiesel berupa sterol glikosida dengan limbah purun dengan variasi perbandingan arang purun : sterol glikosida 100%:0%; 90%:10% dan 80%:20% menjadi briket sebagai energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berperan dalam ekonomi sirkular untuk masyarakat.

METODE PENELITIAN

Penentuan Lokasi Sumber Biomassa

Penentuan lokasi menerapkan metode survei yang dipilih menggunakan teknik *purposive* (Sugiyono, 2016). Lokasi Kabupaten/Kota yang dipilih adalah berdasarkan potensi biomassa yang besar dari agroindustri kelapa sawit dan UKM Purun. Kajian riset dilakukan pada Bulan September-November 2021 dengan melibatkan agroindustri kelapa sawit di Kabupaten Tanah Bumbu dan 2 (dua) UKM purun dengan pengambilan sampel secara kolektif setiap hari melalui wawancara yaitu Kelompok Pengrajin Purun Galoeh Bandjar sebanyak 30 orang dan Kelompok Pengrajin Purun Al Firdaus sebanyak 30 orang yang bertempat di Kelurahan Palam, Kecamatan Cempaka, Kota Banjarbaru, Kalimantan Selatan.

Preparasi Bahan Baku

Limbah purun yang dikumpulkan adalah sisa purun dari kegiatan pembuatan produk kerajinan yang tidak digunakan diperoleh pada UKM Purun Kota Banjarbaru, Kalimantan Selatan sebagai bahan baku pembuatan briket. Limbah purun kemudian dibersihkan dari kotoran dan dilakukan proses pengarangan purun menggunakan tungku pembakaran bata. Dapat pula menggunakan tungku pembakaran (*furnace*) pada suhu terkontrol yaitu suhu 400°C selama 1 jam. Bahan baku berupa purun dicacah kecil-kecil ± 1 cm kemudian dikarbonisasi di dalam furnace dengan suhu 400°C selama 1 jam untuk dijadikan arang (Iriany *et al*., 2016). Pada pembuatan briket, biomassa terlebih dahulu dikarbonisasi untuk dijadikan arang. Proses karbonisasi atau pengarangan adalah proses mengubah bahan baku menjadi karbon berwarna hitam melalui pembakaran dalam ruang tertutup dengan udara yang terbatas atau seminimal mungkin. Proses karbonisasi atau pengarangan bertujuan untuk menaikkan nilai kalor biomassa serta menghasilkan pembakaran yang bersih dengan sedikit asap. Hasil karbonisasi berupa arang yang tersusun atas karbon berwarna hitam (Suryani dan Dahlan, 2012).

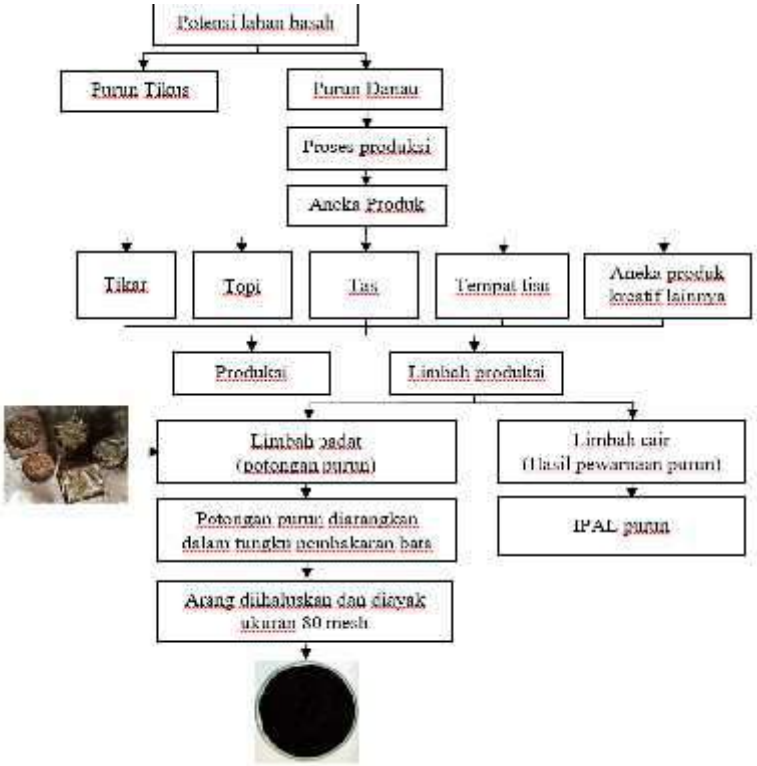
Setelah dikeluarkan dari dalam tungku pembakaran, lalu arang dihaluskan lalu dan diayak ukuran 80 *mesh* yang dapat dilihat pada Gambar 1. Selanjutnya dilakukan uji karakterisasi metode *X-Ray Fluorosence Spectrometer* (XRF) untuk mengidentifikasi unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang terkandung pada sampel (Siswati *et al*., 2018). Untuk merekatkan partikel-partikel zat dalam bahan baku pada proses pembuatan briket, diperlukan zat perekat sehingga dihasilkan briket yang mengikat. Dengan adanya penggunaan bahan perekat maka ikatan antar partikel akan semakin kuat, butir-butir arang akan saling menyatu, susunan partikel juga akan semakin baik sehingga dalam proses pengempaan briket akan semakin baik. Syarat utama dari bahan perekat adalah harus dapat ikut terbakar dan dapat menambah nilai kalor (Iriany *et al*., 2016).

Formulasi Produk

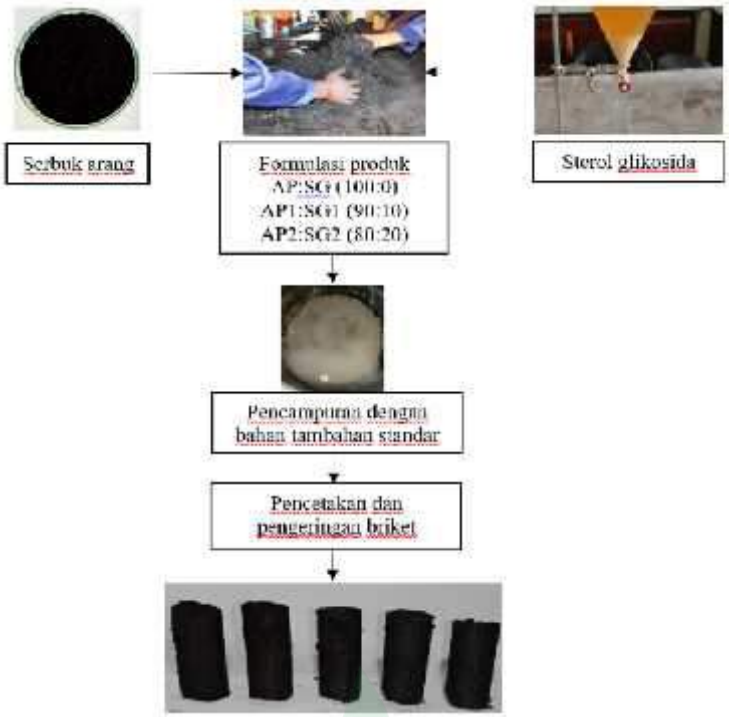
Sterol glikosida adalah endapan yang terbentuk dalam FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) pada proses pendinginan *Biodiesel* di tangki penyimpanan. Pemisahan antara FAME dan sterol glikosida menggunakan mesin *centrifuse* di *Final Methylester Clarification* (Van Gerpen *et al*., 2011). Sterol glikosida didapatkan dari Agroindustri kelapa sawit di Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan. Selanjutnya dilakukan analisis fisikokimia yaitu densitas, kadar air dan warna. Pencampuran komposisi arang dan sterol glikosida dari industri biodiesel secara homogen yang dilakukan dalam formulasi briket dengan perbandingan, yaitu AP:SG adalah perlakuan dengan perbandingan arang purun : sterol glikosida = 100%:0%, AP1:SG1 adalah

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

perlakuan dengan perbandingan arang purun : sterol glikosida = 90%:10%, dan AP2:SG2 adalah perlakuan dengan perbandingan arang purun : sterol glikosida = 80%:20%. Formulasi briket kemudian ditambahkan bahan standar pengikat dan diaduk hingga semuanya tercampur secara merata, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Preparasi limbah purun



Gambar 2. Formulasi produk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pencetakan Produk

Formulasi briket yang sudah homogen selanjutnya dimasukkan ke dalam alat pencetak briket, dikeluarkan dari cetakan selanjutnya dikeringkan dengan oven suhu 80°C selama ± 10 jam. Briket dikeluarkan dari dalam oven dan dibiarkan beberapa saat baru diamankan dalam wadah tertutup agar aman.

Analisis Produk

Briket yang dihasilkan kemudian dilakukan analisis untuk menguji kadar air (%), kadar abu (%), kadar zat volatil (%), nilai kalor (kal g^{-1}), kadar karbon terikat (%), dan uji nyala. Dasar acuan untuk kualitas briket dengan memperhatikan SNI 01-6235-2000.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Limbah Purun sebagai Energi Terbarukan

Purun adalah jenis tumbuhan rumput yang tumbuh liar di dekat air atau rawa (lahan gambut), banyak terdapat di Provinsi Kalimantan Selatan, salah satunya Kota Banjarbaru. Purun termasuk jenis rumput teki-tekian (*family Cyperaceae*). Purun dapat ditemukan di daerah terbuka di lahan rawa yang tergenang air pada ketinggian 0-1350 m dpl. Berdasarkan data dari Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, untuk luas lahan gambut yang ada di tahun 2019 tadi, lahan tersebut ada seluas 46.796 hektar. Morfologi tanaman purun danau yaitu memiliki ciri batang ramping kaku yang tumbuh keatas, licin, muncul satu persatu dari rimpang, tinggi 40-200 cm. Batangnya juga memiliki rongga seperti buluh. Rimpang baru akan terbentuk di bagian ujung setelah tanaman berbunga dengan ukuran kurang lebih 12,5 cm (Belami, 2014). Setelah ditanam, purun akan tumbuh secara terus menerus. Purun yang telah siap dipanen memiliki ketinggian 1,5-2 m dan dapat dipanen kembali setelah 2 bulan. Pemanenen purun dapat dilakukan dengan cara dicabut atau dipotong langsung.

Masyarakat di lahan gambut Kalimantan Selatan telah menggunakan purun sebagai bahan baku untuk kerajinan tangan. Beberapa daerah penghasil anyaman purun adalah Desa Sungai Kali, Kecamatan Berambai, Kabupaten Barito Kuala; kecamatan Anjir Serapat, Kabupaten Kapuas; dan Kampung Purun, Kota Banjarbaru. Saat ini tanaman purun dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk industri kreatif. Banyak sekali produk inovatif yang bisa dibuat dari tanaman purun, diantaranya tikar, tas, sandal, dan souvenir menarik lainnya (Heryani *et al*., 2020).

Bahan baku potensial yang dapat dikonversi menjadi salah satu sumber energi terbarukan dapat berasal dari aneka limbah. Limbah potongan purun dari UKM Purun dalam satu hari menghasilkan 2,8 kg, sehingga jika pengambilan sampel dilakukan pada 2 kelompok yang beranggotakan 60 orang, dalam satu bulan menghasilkan 72,8 kg potongan purun. Pemanfaatan limbah potongan purun sebagai bahan bakar dalam bentuk arang belum pernah dilakukan, maka apabila arang tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar bentuk briket maka secara ekonomi sirkular akan memberikan nilai tambah untuk pengrajin purun sendiri. Ditinjau dari aspek teknologi, pengolahan arang briket relatif sederhana dan dapat dilaksanakan oleh usaha-usaha skala kecil. Komposisi kimia struktur purun disajikan pada Tabel 1 (Batubara, 2021; Maxson *et al*., 2021).

Tabel 1. Komposisi kimia struktur purun

Komposisi kimia	Persentase (%)
Kadar Air	56,3659
Zat ekstraktif dalam Etanol-Benzene	4,7479
Larut NaOH 1 %	33,5636
Kadar Lignin	26,5517
Selulosa (α-selulosa)	45,0907
C/N	62,8

Kandungan air purun tinggi atau lebih dari 25% (Tabel 1). Kandungan air yang tinggi menunjukkan bahwa baik dinding sel maupun rongga selnya berisi air. Zat Ekstraktif adalah zat yang terlarut dari kayu baik dengan menggunakan pelarut netral seperti air maupun pelarut organik (benzena, dikhloromethan, eter, alkohol, campuran alkohol dan benzena) (Batubara, 2021). Kandungan zat ekstraktif yang larut dalam NaOH 1% dan larutan etanol-benzene terkategori tinggi karena mempunyai kadar ekstraktif > 4% masuk ke dalam kelas komponen tinggi. Kandungan lignin purun masuk dalam kategori sedang berkisar 25-35%. Selulosa merupakan salah satu sumberdaya alam yang terbarukan yang melimpah di Indonesia (Mulyadi, 2019). Kemurnian dari selulosa sering dinyatakan melalui parameter persentase α-selulosa. α-selulosa sample batang dan daun terkategori tinggi berkisar 40-80%. Komposisi karbon (C) purun sebesar 62,8% yang merupakan penyusun kadar lignin. Kandungan kimia purun danau memiliki potensi untuk dikembangkan khususnya kandungan selulosanya sebagai sumber serat, sehingga diperlukan riset lanjutan terkait serat purun danau dan pemanfaatannya ke depan.

Pemanfaatan biomassa menjadi bahan bakar dan produk yang bermanfaat melalui proses densifikasi dan karbonisasi, dan kemudian digunakan di pembangkit listrik berbasis batubara sebagai pengganti sebagian, yang dapat menghasilkan pengurangan emisi karbon dan efek rumah kaca (Salahuddin *et al*., 2016; Khorasgani *et al*., 2017; Khorasgani *et al*., 2020). Menurut Balat (2011) dan Khorasgani *et al*. (2020) pemanfaatan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

biomassa memberikan banyak manfaat bagi negara maju dan berkembang yaitu mengurangi biaya pengelolaan hutan, meningkatkan perencanaan lingkungan, dan menawarkan sumber energi yang aman dan kompetitif.

Kadar ekstraktif alkohol benzen yang didapatkan padabatang purun tikus sebesar 9,53% yang termasuk kategori kelas tinggi (>5). Ekstraktif terlarut NaOH 1% adalah sebesar 31,45%. Kadar ekstraktif alkohol benzen yang didapatkan pada batang purun tikus sebesar 9,53% yang termasuk kategori kelas tinggi (>5) sedangkan ekstraktif terlarut NaOH 1% adalah sebesar 31,45.

Karakteristik Bahan Baku

Pada purun selain kandungan utama selulosa dan lignin dengan komposisi utamanya berupa karbon, hasil pengujian komponen kimia pada limbah purun menggunakan metode *X-Ray Fluorosence Spectrometer* (XRF) yang disajikan pada Tabel 2.

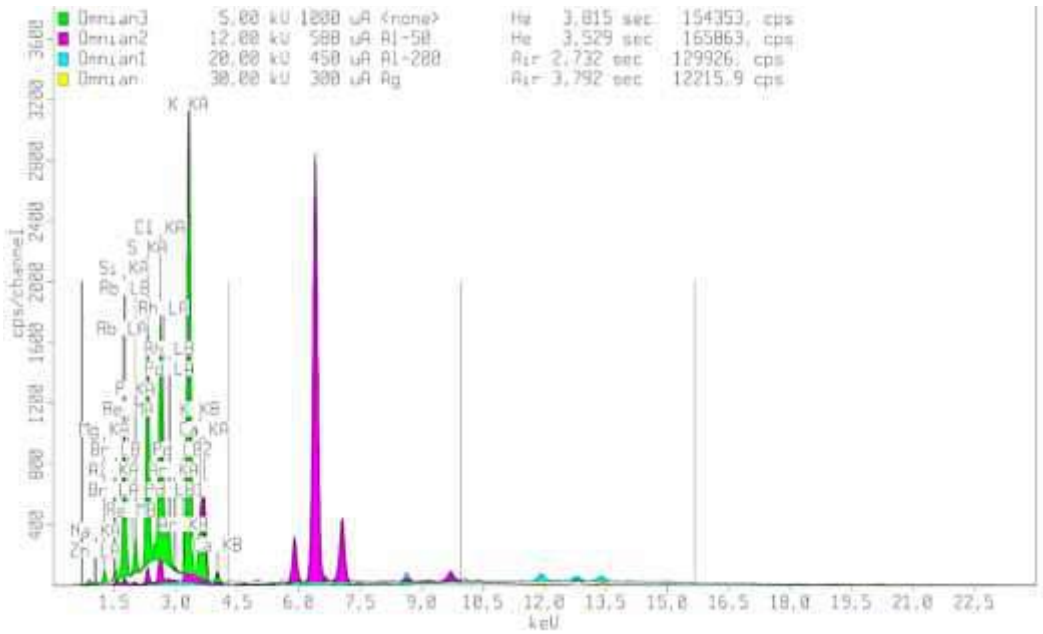
Hasil analisa *X-Ray Fluorosence Spectrometer* (XRF) diketahui kandungan mineral limbah purun menunjukkan komposisi terbesar adalah Karbon (C) dan senyawa penyusun lainnya seperti kalium (K) silika (Si), kalsium (Ca), sulfur (S), magnesium (Mg), Natrium (Na), Mangan (Mn) dan alumina (Al) yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Sterol glikosida merupakan hasil samping dari industri biodisel yang dilakukan analisis fisikokimia yaitu densitas, kadar air dan warna, disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Komposisi kimia purun dengan XRF

Unsur	Persentase (%)
K	0,879
Cl	0,193
Fe	0,186
Si	0,171
Ca	0.151
S	0,137
Mg	0,104
Na	0,093
Mn	0,020
Al	0,002
C	62,8

Sumber: Data primer, 2021.



Gambar 3. Spektra hasil analisis XRF *Spectrometer* Purun

Tabel 3. Uji fisiko kimia sterol glikosida

Sifat Fisik	Keterangan
Densitas	1,0575 gr/cm^3
Kadar air	0,6 %
Warna	Bening (tidak berwarna)

Sumber: Data primer diolah, 2021

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Menurut (Montpetit dan Tremblay, 2016) sterol glikosida memiliki titik leleh -9,6°C, dan kelarutan dalam air 0,0037 mg/L yang terbentuk pada bagian bawah tangki selama penyimpanan biodiesel.

Analisis Kadar Air

Berdasarkan hasil pengujian formulasi briket purun diperoleh kadar air rata-rata (%) seperti disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persentase kadar air rata-rata (%) briket purun

Formula	Kadar air rata-rata (%)
AP:SG (100:0)	7,14
AP1:SG1 (90:10)	5,80
AP2:SG2 (80:20)	5,45

Sumber: Data primer diolah, 2021

Keterangan:
AP : SG = 100% arang purun : 0% sterol glikosida
AP1: SG1 = 90% arang purun : 10% sterol glikosida
AP2: SG2 = 80% arang purun : 20% sterol glikosida

Dari tiga formulasi briket dengan sterol glikosida pada Tabel 4 diketahui kadar air rata-rata terendah terdapat pada formulasi briket AP2:SG2 sebesar 5,45% dan tertinggi pada formulasi briket AP:SG sebesar 7,14%. Hal ini disebabkan pada proses pengarangan purun, suhu 400°C selama 1 jam mampu mentransformasi bahan organik dalam purun menjadi arang dan penambahan sterol glikosida ternyata mampu menyerap sisa air pada arang yang dihasilkan. Berdasarkan kadar air rata-rata diketahui bahwa formulasi optimum untuk mendapatkan briket yang baik adalah pada formulasi briket AP2:SG2 memenuhi syarat SNI 01-6235-2000, yaitu kurang dari 8% yang memiliki kualitas baik. Menurut Bot *et al.* (2021) kadar air mempengaruhi kualitas briket dalam penyimpanan briket. Briket memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi molekul air dari udara secara langsung dalam pori–pori briket.

Analisis Kadar Abu

Berdasarkan hasil pengujian formulasi briket purun diperoleh kadar abu rata-rata (%) disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Persentase kadar abu rata-rata (%) briket purun

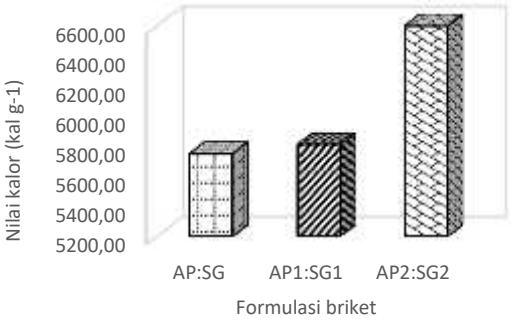
Formulasi	Kadar abu rata-rata (%)
AP:SG (100:0)	12,23
AP1:SG1 (90:10)	23,44
AP2:SG2 (80:20)	11,30

Sumber : Data primer diolah, 2021
Keterangan:
AP : SG = 100% arang purun : 0% sterol glikosida
AP1: SG1 = 90% arang purun : 10% sterol glikosida
AP2: SG2 = 80% arang purun : 20% sterol glikosida

Tabel 5 menunjukkan bahwa tiga formulasi briket diketahui kadar abu rata-rata terendah pada formulasi briket AP2:SG2 sebesar 11,30% dikarenakan terlepasnya mineral selama proses pengarangan yang berpotensi jadi abu setelah dilakukan pencampuran arang dengan sterol glikosida. Sementara, kadar abu rata-rata tertinggi pada formulasi briket AP1:SG1 sebesar 23,44% disebabkan perbedaan komposisi bahan baku arang purun pada tiap sampelnya dan sterol glikosida sehingga mempengaruhi kerapatan briket yang dihasilkan. Semakin tingginya kadar abu pada briket purun menunjukkan kualitas yang kurang baik, hal ini disebabkan pembakaran belum sempurna pada kandungan bahan organik dalam bahan seperti karbohidrat dan selulosa. Menurut Iskandar *et al.*, (2019) komponen utama abu dalam biomassa berupa kalsium, potasium, magnesium, dan silika yang dapat mempengaruhi nilai kalor produk dan berpengaruh terhadap proses pembakaran. Hasil penelitian ini selaras dengan yang dilakukan Munjeri *et al.* (2016) dimana kadar abu pada briket eceng gondok sebesar 12,4%.

Analisis Nilai Kalor

Berdasarkan hasil pengujian nilai kalor menggunakan metode Bomb Calorimetri yang dilakukan di Laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri Banjarbaru, diperoleh nilai kalor (kal g^{-1}) yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh formulasi briket terhadap nilai kalor

Sumber : Data primer diolah, 2021
Keterangan:
AP : SG = 100% arang purun : 0% sterol glikosida
AP1: SG1 = 90% arang purun : 10% sterol glikosida
AP2: SG2 = 80% arang purun : 20% sterol glikosida

Pada Gambar 4 terlihat bahwa dari ketiga formula diperoleh data AP2:SG2 memiliki nilai kalor rata-rata mencapai 6598,80 kal g^{-1} dan pada AP1:SG1 sebesar 5809,01 kal g^{-1}. Ada temuan yang menarik dari riset, bahwa komoditas asli lahan basah yang hidup secara alamiah tanpa pemupukan kimia menghasilkan karbon yang tinggi dan sangat baik

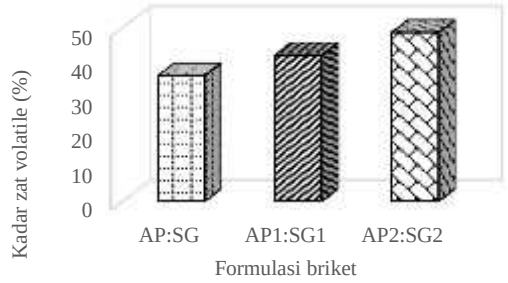
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sebagai sumber energi terbarukan. Hal ini terlihat pada kontrol tanpa SG diperoleh nilai kalor mencapai 5749,73 kal g^{-1}. Kandungan lignin pada purun sebesar 26,40%. Lignin merupakan material yang paling kuat di dalam biomassa. Pada lignin terdapat karbon yang cukup besar. Atas dasar itu biomassa yang bersumber asli alamiah lahan basah memiliki kandungan karbon yang mampu memperpanjang waktu nyala dan lambat untuk menjadi abu. Hasil ini berkorelasi dengan hasil uji lama nyala dari briket berbahan purun tentunya.

Nilai kalor yang diperoleh pada ketiga perlakuan mampu melampaui standar SNI 01-6235-2000 dengan nilai kalor minimum briket arang adalah 5000 kal g^{-1}, sehingga dapat digunakan sebagai energi terbarukan hasil sinergi limbah industri dari industri biodiesel dan limbah UKM Purun yang berasal dari Kampung Purun Banjarbaru, Kalimantan Selatan. Berdasarkan hasil yang diperoleh diketahui bahwa briket arang setara dengan kelas batubara bituminus ($C_{80}OH_5O_{15}$), merupakan kelas batubara yang memiliki kandungan kalori antara 5833 – 7777 kal g^{-1}, dengan unsur karbon (C) 68% – 86% dan kadar air 8% – 10% dari beratnya. Menurut Permana (2016) batubara bituminus memiliki ciri yaitu warna hitam mengkilat, kurang kompak, kandungan karbon relatif tinggi, nilai kalori tinggi, kandungan air, abu, sulfur sedikit.

Analisis Zat Volatil

Berdasarkan hasil pengujian formulasi briket purun diperoleh kandungan *zat volatile* rata-rata (%) yang ditunjukkan pada Gambar 5.



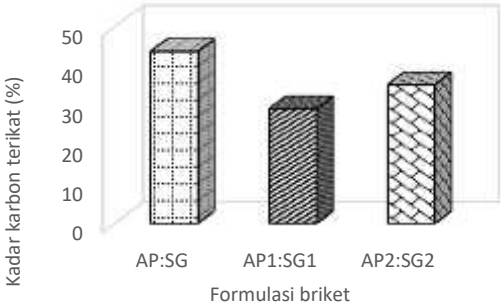
Gambar 5. Pengaruh formulasi briket terhadap nilai *volatile*

Sumber : Data primer diolah, 2021
Keterangan:
AP : SG = 100% arang purun : 0% sterol glikosida
AP1: SG1 = 90% arang purun : 10% sterol glikosida
AP2: SG2 = 80% arang purun : 20% sterol glikosida

Pada Gambar 5 terlihat implementasi 100% arang purun memiliki nilai volatile lebih rendah, jika dibanding dengan formula penambahan 10% dan 20% sterol glikosida. Produk hasil formulasi memiliki variasi komposisi arang purun dengan sterol glikosida sehingga ada perbedaan kandungan zat organik dan anorganik dalam briket selama pembakaran menjadi zat *volatile matter*. Persen senyawa volatile melebihi 15% tidak lain karena adanya beberapa senyawa volatile yang berasal dari purun dan SG yang sebenarnya senyawa volatile dari sumber terbarukan yang tidak bersifat toksik. Data didukung dalam implementasi pengemas disebut "besek" berbahan purun.

Analisis Kadar Karbon Terikat

Berdasarkan hasil pengujian formulasi briket purun diperoleh kadar karbon terikat rata-rata (%) yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh formulasi briket terhadap kadar karbon terikat

Sumber: Data primer diolah, 2021
Keterangan:
AP:SG = 100% arang purun: 0% sterol glikosida
AP1:SG1 = 90% arang purun: 10% sterol glikosida
AP2:SG2 = 80% arang purun: 20% sterol glikosida

Pada Gambar 6 diperoleh kadar karbon terikat tertinggi sebesar 43,73% untuk formulasi briket 100% arang purun. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa arang purun memiliki komponen karbon terikat dalam bentuk senyawa berupa karbohidrat dan selulosa yang besar sehingga menyebabkan nilai kalor briket rendah. Sementara, pada pencampuran sterol glikosida 10% dalam arang mampu mengurangi karbonisasi selama pembakaran dan mampu meningkatkan nilai kalor pada briket yang dihasilkan karena nilai kadar karbon terikatnya lebih rendah. Proses karbonasi purun pada suhu proses standar 400°C selama 1 jam menyebabkan karbon terikat dalam arang semakin meningkat sedangkan kadar airnya akan semakin berkurang sehingga nilai kalor dari briket arang purun akan semakin meningkat. Perbedaan formulasi arang purun dan sterol glikosida pada proses pembuatan briket, sangat menentukan nilai kalor produk. Nilai kalor dari ketiga formulasi yang digunakan, untuk formulasi AP2:SG2 memiliki nilai kalor rata-rata mencapai 6598,80 kal g^{-1} lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang lain. Hal ini disebabkan karena karbon terikat pada arang dengan penambahan sterol glikosida 20% lebih kompak dan homogen serta terdispersi sempurna yang berkontribusi pada kecepatan nyala dan waktu nyala produk. Hasil riset sejalan dengan penelitian yang

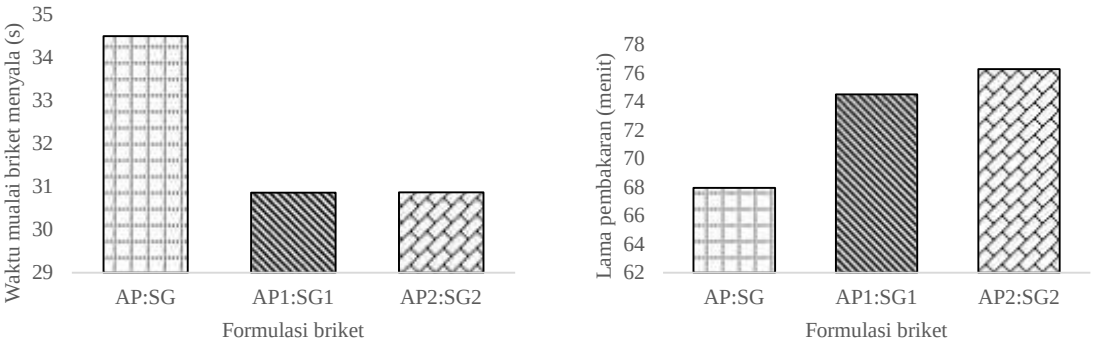
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dilakukan Munjeri *et al*. (2016) untuk produk briket eceng gondok memiliki kandungan karbon terikat sebesar 21,9%. Untuk kisaran tanaman berkayu dan herbal lainnya memiliki sekitar 20% kadar karbon terikat.

Beberapa hasil penelitian relevan menunjukkan bahwa biomassa dapat diolah menjadi pelet bahan bakar padat yang berkelanjutan dengan mengembangkan sinergitas teknologi pemanfaatan limbah menjadi energi terbarukan. Menurut Bot *et al*. (2021) semakin besar nilai karbon menunjukkan semakin banyak energi yang dapat digunakan dalam proses pembakaran melalui reaksi pembakaran bahan bakar. Pada reaksi pembakaran, semakin banyak kandungan karbon dalam suatu bahan bakar, maka semakin besar konversi karbon menjadi karbon dioksida yang disertai pelepasan dalam bentuk energi sehingga komposisi berat karbon mempengaruhi secara langsung kualitas bahan bakar dan energi yang dihasilkan dalam bentuk kandungan energi (*calorific value*).

Uji Nyala Api

Pengujian nyala api dilakukan untuk mengetahui berapa lama bara akan muncul hingga waktu briket akan habis terbakar menjadi abu yang menunjukan cepat atau lambatnya pembakaran pada berbagi formula yang dikembangkan dan diperlihatkan pada Gambar 7.



(a) (b)

Gambar 7. (a) uji awal nyala dan (b) uji lama pembakaran

Sumber: Data primer diolah, 2021
Keterangan:
AP:SG = 100% arang purun: 0% sterol glikosida
AP1:SG1 = 90% arang purun: 10% sterol glikosida
AP2:SG2 = 80% arang purun: 20% sterol glikosida

Untuk uji awal nyala briket dapat dilihat pada Gambar 7. (a) diketahui bahwa nyala api awal yang tercepat adalah AP1:SG1 dan AP2:SG2 dibandingkan AP:SG. Cepatnya penyalaan karena kadar air yang kecil serta adanya dispersi dari sterol glikosida pada seluruh bagian dari produk briket yang dihasilkan. Pada Gambar 7, (b) diperoleh waktu terlama proses pembakaran sampai padatan terbakar habis adalah pada 80% arang purun dengan 20% SG yaitu selama 76,31 menit dan 90% arang purun dengan 10% SG selama 74,52 menit. Untuk 100% arang purun waktu nyala lebih singkat yaitu 67,95 menit.

Keunggulan dari inovasi briket arang purun dengan formula penambahan SG 10% adalah briket tetap menyala meski tanpa bahan starter awal untuk memantik api. Perbandingan dengan briket arang kayu, inovasi briket purun dan SG memiliki waktu nyala awal yang lebih cepat dan bara api yang dapat bertahan lebih lama hingga menjadi abu. Lamanya pembakaran menjadi abu disebabkan kerapatan pori-pori jadi semakin rapat pori-pori semakin lama pembakarannya serta tingkat kekerasan bahan. Untuk lama pembakarannya briket purun selaras dengan hasil penelitian yang dilakukan Carnaje *et al*. (2018) yang diketahui briket eceng gondok sampai semua padatan habis terbakar selama 216 detik (3,6 menit). Hal ini menunjukkan briket arang purun dapat diterima dan diimplementasikan sebagai energi alternatif skala UKM Kerajinan Purun dan lingkungan masyarakat sekitar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Sinergitas kedua Aktor yaitu Industri Biodiesel dan UKM dalam kegiatan ekonomi sirkular skala mikro yaitu menghasilkan energi terbarukan yang ramah lingkungan sangat membantu usaha mikro kecil purun di Kampung Purun

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Banjarbaru, Kalimantan Selatan. Hasil energi terbarukan dari berbagai formula yang dikembangkan dengan bahan utama berasal dari arang biomassa limbah purun dan limbah industri biodiesel. Hasil pengujian formulasi briket purun dengan pencampuran sterol glikosida menunjukkan kadar air terendah dihasilkan dari formulasi briket AP2:SG2 sebesar 5,45% dan tertinggi pada formulasi briket AP:SG sebesar 7,14%. Pada penelitian ini briket purun memiliki hasil folmulasi terbaik untuk nilai kalor yang memenuhi syarat SNI 01- 6235-2000 yaitu perbandingan arang purun : sterol glikosida (80%:20%) mencapai 6598,80 kal g^{-1} dan perbandingan arang purun : sterol glikosida (90%:10%) mencapai 5809,01 kal g^{-1}. Untuk uji awal nyala briket tercepat adalah adalah AP1:SG1 dan AP2:SG2 dengan lama waktu pembakaran berkisar 74,31 – 76,52 menit. Lamanya pembakaran menjadi abu disebabkan kerapatan pori-pori jadi semakin rapat pori-pori semakin lama pembakarannya serta tingkat kekerasan bahan. Pemanfaatan limbah biomassa menjadi energi terbarukan yang diolah menjadi briket. Briket arang purun menghasilkan nilai kalor sebesar 5000 kal g^{-1} – 6000 kal g^{-1} yang dihasilkan setara dengan batubara kelas bituminus.

Saran

Untuk mengoptimalkan pencapaian nilai kalor di atas 6000 kal g^{-1} yang setara dengan batubara kelas bituminus dan memenuhi syarat SNI 01- 6235-2000 perlu diperhatikan proses karbonasi saat pembuatan arang purun dan adanya *blending* formula 10% dengan sterol glikosida.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Ristek, Direktorat Sumber Daya, atas Pendanaan yang diberikan melalui Riset Dasar Kompetitif Nasional dengan SK KPA Direktorat Sumber Daya No. 1867/E4/AK.04/2021.

DAFTAR PUSTAKA

Balat M. 2011. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: a review. *Energy Conversion and Management*. 52 (2): 858-875.

Batubara R, Nurminah M, dan Affandi O. 2021. Edukasi Kandungan Kimia Purun Danau Bahan Kerajinan di Desa Lubuk Kertang. *Jurnal Abdidas*. 2(3): 483-489.

Belami IY dan Sidharta B. 2014. Pemanfaatan purun tikus (*Eleocharis dulcis*) untuk menurunkan kadar merkuri (HG) pada air bekas penambangan emas rakyat. *Jurnal Biologi.* 1-16.

Bot BV, Sosso OT, Tamba JG, Lekane, Bikai, Ndame, MK. 2021. Preparation and characterization of biomass briquettes made from banana peels, sugarcane bagasse, coconut shells and rattan waste. *Biomass Conversion and Biorefinery*.1-10.

Busyairi M dan Oktaviani A. 2018. Dampak peledakan (blasting) terhadap kesehatan keselamatan kerja dan pemukiman penduduk di sekitar lokasi PT. Safhira Gifha Kota Bangun-Kutai Kartanegara. *MATRIK: Jurnal Manajemen dan Teknik Industri Produksi*. 10(2): 92-108.

Carnaje NP, Talagon RB, Peralta JP, Shah K, Paz-Ferreiro J. 2018. Development and characterisation of charcoal briquettes from water hyacinth (Eichhornia crassipes)-molasses blend. *PloS one*. 13(11): e0207135.

Heryani H, Legowo AC, dan Nugroho IP. 2020. Strategi pengembangan industri kreatif untuk inovasi. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 30(3): 290-298.

Hidayatno A, Sutrisno A, Zagloel YM, Purwanto WW. 2015. System dynamics sustainability model of palm-oil based biodiesel production chain in Indonesia. *International Journal Engineering and Technology*. 15(06): 20-26.

Hidayatno A, Destyanto AR, dan Hulu CA. 2019. Industry 4.0 technology implementation impact to industrial sustainable energy in Indonesia: A model conceptualization. *Energy Procedia*, 156: 227-233.

Iriany, Meliza, Sibarani FAS, Irvan. 2016. Pengaruh perbandingan massa eceng gondok dan tempurung kelapa serta kadar perekat tapioka terhadap karakteristik briket. *Jurnal Teknik Kimia*. 5(1): 20-26.

Iskandar N, Nugroho S, dan Feliyana MF. 2019. Uji kualitas produk briket arang tempurung kelapa berdasarkan standar mutu SNI. *Jurnal Ilmiah Momentum*. 15(2): 103-108.

Khorasgani NB, Karimibavani B, Alamir M, Alzahrani N, McClain AP, Asmatulu R. 2017. Briquetting and carbonization of biomass products for the sustainable productions of activated carbons. In *Smart Materials and Nondestructive Evaluation for Energy Systems 2017*. 10171: 101710S. International Society for Optics and Photonics. 19 April 2017.

Khorasgani NB, Sengul AB, dan Asmatulu E, 2020. Briquetting grass and tree leaf biomass for sustainable production of future fuels. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 10(4): 915-924.

Lestari VP. 2021. Ringkasan permasalahan dan tatangan program peningkatan kontribusi energi baru dan terbarukan dalam bauran energi nasional. Pusat Kajian Akuntabilitas Keuangan Negara: Badan Keahlian Dewan DPR RI.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Maxson C, Tibby J, Barr C, Tyler J, Leng M, Lomax B, Jacobsen G. 2021. Ecology and climate sensitivity of a groundwater-fed lake on subtropical North Stradbroke Island (Minjerribah), Queensland, Australia over the last 7500 years. *Journal Paleolimnology*. 1-19.

Montpetit A and Tremblay AY. 2016. A quantitative method of analysis for sterol glycosides in biodiesel and FAME using GC-FID. *Journal American Oil Chemists' Society*. 93(4): 479-487.

Mulyadi I. 2019. Isolasi dan karakterisasi selulosa. *Jurnal Saintika Unpam: Jurnal Sains dan Matematika Unpam*.1(2): 177-182.

Munjeri K, Ziuku S, Maganga H, Siachingoma B, Ndlovu S. 2016. On the potential of water hyacinth as a biomass briquette for heating applications. *International Journal Energy and Environmental Engineering*. 7(1): 37-43.

Murugan S, Rajavel S, Aggarwal AK, Singh A. 2020. Volatility, uncertainty, complexity and ambiguity (VUCA) in context of the COVID-19 pandemic: Challenges and way forward. *International Journal Health Systems and Implementation Research*. 4(2): 10-16.

Nur MS dan Jusri J. 2014. Ubah paradigma agroindustri sawit menuju energi terbarukan. PT Insan Fajar Mandiri Nusantara. Bogor.

Nur MS dan Jusri J. 2014. Biomassa bahan baku dan teknologi konversi untuk energi terbarukan (kajian pustaka dan gagasan aplikasi di indonesia). PT Insan Fajar Mandiri Nusantara. Bogor.

Nur MS. 2014. Karakteristik kelapa sawit sebagai bahan baku bioenergi. PT Insan Fajar Mandiri Nusantara. Bogor.

Olubajo OO, Odey OA, Abdullahi B. 2019. Potential of orange peel ash as a cement replacement material. Path of science: *International Electronic Scientific Journal*. 5(7): 2009-2019.

Permana AP. 2016. Kajian coal rank berdasarkan analisa proximate (studi kasus batubara di kabupaten sorong). *Jurnal Teknik.* 14(2):123-131.

Raja AS. 2021. Business research in the VUCA World. *Ushus Journal Business Management*. 20(1): v-xvi.

Salahuddin M, Hwang G, dan Asmatulu R. 2016. Superhydrophobic PAN nanofibers for gas diffusion layers of proton exchange membrane fuel cells. In *Nanosensors, Biosensors, and Info-Tech Sensors and Systems 2016*, 9802: 98021U. International Society for Optics and Photonics, 16 April 2016.

Sipayung T. 2012. *Ekonomi Agribisnis Minyak Sawit.* Bogor, IPB Press.

Siswati ND, Ardiantono FA, dan Putri LK. 2018. Karakterisasi komponen aktif pozzolan untuk pengembangan portland pozzolan cement (PPC). *Jurnal Teknik Kimia*, 12(2), 52-55.

Songtawee S, Ratanawilai S, dan Tongurai, C. 2014. Effect of sterol glucosides in biodiesel production. *International Journal Advances in Chemical Engg., & Biological Sciences.* 1(1): 119-122.

Sugiyono. 2016. Metode penelitian pendidikan: pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.

Suryani I dan Dahlan MH. 2012. Pembuatan briket arang dari campuran buah bintaro dan tempurung kelapa menggunakan perekat amilum. *Jurnal Teknik Kimia*.18(1): 24-29.

Van Gerpen J, He BB, dan Duff K. 2011. Measurement and control strategies for sterol glucosides to improve biodiesel quality, Year 2: National Institute for Advanced Transportation Technology, University of Idaho.

Wang H, Tang H, Salley S, Ng KS. 2010. Analysis of sterol glycosides in biodiesel and biodiesel precipitates. *Journal American Oil Chemists' Society*. 87 (2): 215-221.

Yanti NR, Putra MD, Nugroho A, Heryani H. 2019. Utilization of sterol glycosides in FAME (fatty acid methyl ester) byproducts from the biodiesel industry. *EnviroScienteae*. 15(1): 79-85.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Ekologi, Masyarakat & Sains
Volume 1, Nomor 1, 2020
ECOTAS
http://journals.ecotas.org/index.php/ems

Keadilan Ekologis dan Kebijakan Elektrifikasi Perdesaan Berbasis Energi Terbarukan Lepas Jaringan di Jawa Barat

Cecep Aminudin[1*]
[1]ECOTAS, Cigadung Green Land A9, Bandung 40191, Indonesia

Kata Kunci : Keadilan ekologis, elektrifikasi perdesaan, lepas jaringan, energi terbarukan, Jawa Barat

Abstrak

Akses masyarakat terhadap energi listrik yang berbasiskan energi terbarukan merupakan salah satu bentuk manifestasi dari keadilan ekologis yang termasuk keadilan sosial di dalamnya. Artikel ini bertujuan untuk menggambarkan kebijakan elektrifikasi perdesaan berbasiskan energi terbarukan lepas jaringan di Jawa Barat. Strategi, rencana pembangunan, rencana aksi serta mobilisasi keuangan yang berkaitan dengan elektrifikasi perdesaan berbasiskan energi terbarukan lepas jaringan di Jawa Barat perlu disertai dengan kebijakan tarif listrik dan subsidi yang berkeadilan untuk para pengguna agar kebijakan yang ada bersifat stabil, jangka panjang serta komprehensif dalam perspektif keadilan ekologis.

Keywords: *Ecological justice, rural electrification, off-grid, renewable energy, West Java*.

Abstract

Community access to electricity based on renewable energy is a manifestation of ecological justice which include social justice. This paper aims to describe the rural electrification policy based on off-grid renewable energy in West Java. Strategy, development plans, action plans and financial mobilization related to rural electrification based on off-grid renewable energy in West Java, need to be accompanied by fair electricity tariff and subsidies policies for users to make it stable, long-term and comprehensive, in ecological justice perspective..

1 PENDAHULUAN

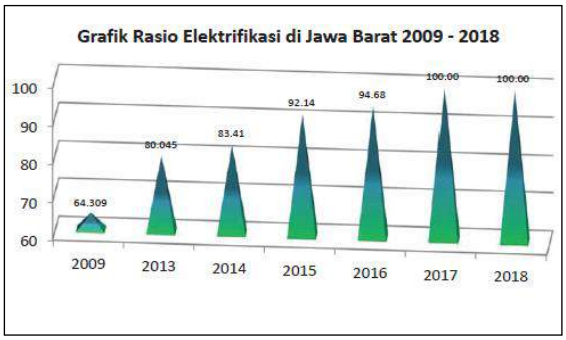
Rasio elektrifikasi yang merupakan perbandingan rumah tangga berlistrik dengan jumlah rumah tangga di Indonesia pada akhir tahun 2018 mencapai 98,30 %, naik sebesar 2,94% dibandingkan dengan tahun 2017 di mana rasio elektrifikasi mencapai 95,35 % (Sekretariat Jenderal Ketenagalistrikan 2019). Peningkatan rasio elektrifikasi tersebut merupakan salah satu sasaran utama dalam penguatan ketahanan energi yang akan dicapai dalam kurun waktu 2015-2019 sebagaimana tertulis dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2015-2019. Dari segi distribusi dan pemerataan, aksesibilitas sarana prasarana ketenagalistrikan masih sangat timpang, beberapa daerah masih memiliki tingkat rasio elektrifikasi di bawah 60 persen pada tahun 2013 yaitu Nusa Tenggara Timur (NTT) dan Papua, di mana masing-

* Penulis koresponden: cecep.aminudin@ecotas.org

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

masing sebesar 57,58 persen, dan 35,55 persen (Presiden Republik Indonesia 2015).

Rasio elektrifikasi Jawa Barat (Jabar) hingga Maret 2018 telah mencapai 100% namun dengan catatan *baseline* jumlah penduduk yang statis (Dinas ESDM Jawa Barat 2018). Gambar 1 berikut ini menunjukkan rasio elektrifikasi di Jabar yang terus meningkat selama 7 tahun terakhir, dari 64,309 % pada tahun 2009 menjadi 100 % pada tahun 2018.



Gambar 1. Grafik Rasio Elektrifikasi di Jabar 2009 – 2018 (Dinas ESDM Jawa Barat 2018)

Kerangka kebijakan *(policy framework)* adalah seperangkat prinsip, tujuan jangka panjang dan komitmen yang membentuk aturan, prosedur dan pedoman dalam konteks suatu negara. Kerangka kebijakan memberikan arahan terhadap perencanaan, pengembangan dan pelaksanaan proyek elektrifikasi perdesaan secara keseluruhan. Kerangka kebijakan yang tepat adalah sebuah persyaratan bagi keberhasilan setiap proyek elektrifikasi perdesaan (Tran 2013).

Menurut dokumen *ASEAN (Association of South East Asian Nations) Guideline on Off-grid Rural Electrification Approaches*, sebagian besar negara-negara di ASEAN tidak memiliki kerangka kebijakan yang spesifik bagi elektrifikasi perdesaan lepas jaringan. Ketentuan mengenai elektrifikasi lepas jaringan biasanya terdapat dalam kebijakan dan rencana elektrifikasi perdesaan secara umum yang biasanya lebih fokus pada perluasan jaringan *(grid extension)* sebagai suatu solusi yang lebih murah *(least-cost)* bagi sebagian besar wilayah pedesaan. Kebijakan kunci untuk mengembangkan elektrifikasi lepas jaringan harus mencakup strategi pembangunan termasuk rencana aksi yang spesifik, kebijakan harga listrik yang transparan, serta kebijakan insentif dan mobilisasi keuangan (Tran 2013). Selain itu, struktur kelembagaan yang jelas dalam perencanaan dan pelaksanaan elektrifikasi perdesaan juga perlu melibatkan semua tingkat pemerintahan (pusat, provinsi dan daerah). Sebuah kebijakan lepas jaringan atau jaringan kecil *(mini-grid)* yang baik perlu bersifat stabil dan jangka panjang *(stable and long-lived)*, jelas dan komprehensif, mudah diakses *(accessible)*, efektif dari segi biaya *(cost-effective)* dan efisien, cerdas *(light-handed)*, sederhana, transparan dan dapat diprediksi (Franz dkk. 2014).

Daerah-daerah yang rasio elektrifikasinya rendah biasanya berada di daerah tertinggal, terpencil dan terisolasi. Oleh karena itu, diungkapkan Tran (2013), diperlukan kebijakan khusus bagi elektrifikasi perdesaan lepas jaringan mengingat karakternya yang spesifik, agar elektrifikasinya meningkat.

Pengelolaan dan pemanfaatan energi, termasuk listrik, harus mempertimbangkan setidaknya tiga aspek, yaitu pemenuhan kebutuhan ketenagalistrikan nasional dan keberlanjutannya di masa depan *(energy security)*, keadilan energi berupa peningkatan akses atau rasio eletrifikasi dengan harga listrik yang terjangkau *(energy equity)*, serta mempertimbangkan kelestarian lingkungan *(environmental sustainability)* (Hamidi dalam (Institute for Essential Services Reform 2019)).

Selain berkelanjutan, kebijakan energi terbarukan seharusnya juga berkeadilan (REN21 2019). Keadilan lingkungan atau keadilan ekologis sebagai kehidupan yang baik dan sejahtera *(well-being)* dari manusia dan lingkungan hidupnya di mana kehidupan manusia tergantung padanya (Gibson 2004; Shelton 2008) termasuk pemenuhan kebutuhan hidup manusia melalui pemanfaatan sumber daya alam yang terbarukan dan berkelanjutan. Keadilan ekologis mencakup keutuhan ekologis dan keadilan ekonomi serta sosial (Gibson 2004).

Artikel ini bertujuan untuk memaparkan kebijakan elektrifikasi perdesaan berbasiskan energi terbarukan lepas jaringan di Jabar. Secara spesifik, artikel ini menggambarkan strategi, rencana pembangunan, rencana aksi, kebijakan tarif listrik dan insentif serta mobilisasi keuangan yang berkaitan dengan elektrifikasi perdesaan berbasis energi terbarukan lepas jaringan di Jabar. Pokok permasalahannya adalah bagaimana kebijakan yang ada bersifat stabil, jangka panjang, komprehensif dan berkeadilan?

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2 METODE

Artikel ini memaparkan hasil kajian yang dilakukan terhadap data sekunder berupa sumber pustaka yang relevan dan dianalisis secara kualitatif.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Regulasi

Dasar hukum elektrifikasi perdesaan dapat ditemukan dalam Pasal 4 Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan (UU 30/2009) yang menyatakan bahwa untuk penyediaan tenaga listrik, pemerintah dan pemerintah daerah (Pemda) menyediakan dana untuk: (a) Kelompok masyarakat tidak mampu; (b) Pembangunan sarana penyediaan tenaga listrik di daerah yang belum berkembang; (c) Pembangunan tenaga listrik di daerah terpencil dan perbatasan; dan (d) Pembangunan listrik perdesaan (Republik Indonesia 2009).

Kebijakan peningkatan kapasitas infrastruktur pembangkit listrik EBT terdiri dari kebijakan untuk peningkatan infrastruktur yang bersifat komersial dan non-komersial (Susandy dalam (Institute for Essential Services Reform 2019)). Peningkatan kapasitas infrastruktur pembangkit listrik EBT yang bersifat komersial dengan sistem *on-grid* dan *off-grid* komunal dengan sumber dana sektor swasta (investor) diantaranya diatur dalam Peraturan Menteri (Permen) ESDM 50/2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik sebagaimana diubah dengan Permen ESDM 53/2018 dan Permen ESDM 38/2016 tentang Percepatan Elektrifikasi di Perdesaan Belum Berkembang, Terpencil, Perbatasan, dan Pulau Kecil Berpenduduk melalui Pelaksanaan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Skala Kecil.

Peningkatan kapasitas infrastruktur pembangkit listrik EBT yang bersifat non-komersial untuk masyarakat perdesaan, pulau terluar dan kawasan perbatasan dengan sistem *off-grid* dengan sumber dana APBN atau Dana Alokasi Khusus (DAK) diatur dalam Peraturan Presiden (Perpres) 47/2017 tentang Lampu Tenaga Surya Hemat Energi (LTSHE), Permen 33/2017 tentang Tata Cara Penyediaan LTSHE bagi Masyarakat yang Belum Mendapatkan Akses Listrik sebagaimana diubah dengan Permen ESDM 5/2018 dan Permen ESDM 39/2017 tentang Pelaksanaan Kegiatan Fisik Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan dengan mekanisme berdasarkan usulan Pemda sebagaimana diubah dengan Permen ESDM 12/2018.

Permen ESDM 39/2017 menggantikan kebijakan pembangunan pembangkit Energi Baru Terbarukan (EBT) yang sebelumnya diatur dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) 10/2012 (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral 2015). Berdasarkan Permen ESDM 39/2017 *juncto* Permen ESDM 12/2018, pengusulan kegiatan fisik pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan serta Konservasi Energi (EBTKE) berupa instalasi penyediaan tenaga listrik dari EBT harus dilengkapi surat pernyataan yang berisi kesanggupan menerima dan mengelola hasil kegiatan fisik pemanfaatan EBTKE dan kesediaan melakukan dan menyediakan anggaran untuk pembinaan dan pendampingan terhadap pengelola atau penerima manfaat dari Pemda Provinsi dan Kabupaten/Kota, kementerian lainnya, atau lembaga pemerintah non kementerian (Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral 2017; Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral 2018).

Kementerian ESDM memiliki kebijakan bahwa untuk daerah terpencil *(isolated)* yang tidak dapat dijangkau oleh jaringan listrik PLN, diarahkan untuk menggunakan potensi energi setempat seperti PLTS, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dan PLTMH (Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM 2013).

Sejalan dengan hal tersebut Peraturan Daerah Provinsi Jabar Nomor 21 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Ketenagalistrikan (Perda 21/2014) menyatakan bahwa Pemda Provinsi mengakselerasi peningkatan rasio elektrifikasi perdesaan melalui pembangunan ketenagalistrikan yang ditujukan untuk desa. Pembangunan ketenagalistrikan untuk desa tersebut, harus terintegrasi dengan program pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) berbasis potensi energi setempat. Perda 21/2014 juga menyinggung soal pendanaan yang menyatakan pemanfaatan EBT untuk elektrifikasi perdesaan, dapat difasilitasi oleh Pemda Provinsi melalui pembiayaan yang bersumber dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) serta sumber pembiayaan lainnya yang sah dan tidak mengikat (Provinsi Jawa Barat 2014).

Dengan demikian, setidaknya terdapat 2 (dua) kriteria elektrifikasi perdesaan lepas

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

jaringan, yaitu: (a) wilayah yang tidak terjangkau listrik PLN, dan (b) memanfaatkan EBT berbasis potensi energi setempat.

3.2 Strategi dan Rencana Aksi

Program pemerintah yang berkaitan dengan elektrifikasi perdesaan adalah Program Listrik Perdesaan dan Program Listrik Hemat dan Murah, Pembangunan Pembangkit EBT, DAK Bidang Energi Perdesaan dan Pengembangaan Listrik Perdesaan oleh Pemda. Kebijakan program listrik perdesaan bertujuan memperluas akses listrik pada wilayah yang belum terjangkau jaringan distribusi tenaga listrik di daerah perdesaan. Program listrik hemat dan murah merupakan program penyediaan listrik pada jaringan *(on grid)* untuk instalasi rumah tinggal berupa penyambungan instalasi rumah tinggal untuk 3 titik lampu dan 1 stop kontak serta 3 buah lampu hemat energi (Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM 2013).

Program elektrifikasi perdesaan di Jabar tidak sepenuhnya merupakan elektrifikasi lepas jaringan, namun juga bisa merupakan perluasan dari jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang sudah ada *(grid extension)*. Modelnya adalah berupa bantuan sambungan listrik dari Pemerintah Provinsi Jabar (Pemprov Jabar) yang ditentukan oleh ketersediaan jaringan. Jaringan pasokan aliran listrik ini menjadi tangggungjawab Pemerintah Pusat melalui PLN. Sementara Pemprov Jabar membantu penyambungan dari jaringan distribusi PLN ke rumah warga, termasuk instalasinya (Pemprov Jabar 2013).

Salah satu misi pengelolaan energi Jabar adalah mengakselerasi pemanfaatan energi baru, energi terbarukan, dan konservasi energi. Salah satu prinsipnya dengan mengembangkan pemanfaatan EBT dan memprioritaskan pembangkitan energi dari energi surya baik dalam skala industri maupun masyarakat baik di perkotaan maupun perdesaan. Kegiatan pengembangan energi untuk penyediaan kapasitas pembangkit listrik antara lain mengembangkan sistem tenaga listrik kecil berbasis EBT untuk penyediaan listrik di wilayah-wilayah yang tidak terjangkau oleh perluasan jaringan *(grid)* serta menyempurnakan harga dan skema pembelian tenaga listrik dari pembangkit listrik berbasis EBT (Jawa Barat 2019).

3.3 Mekanisme Pendanaan

Mekanisme pendanaan untuk kegiatan elektrifikasi perdesaan *off-grid* dapat berasal dari dana pemerintah (APBN dan APBD) atau diluar dana pemerintah. Dana pemerintah dapat berupa Program Listrik Perdesaan dan Program Listrik Hemat dan Murah, Pembangunan Pembangkit Energi Baru Terbarukan (EBT), DAK Bidang Energi Perdesaan atau Pengembangan Listrik Perdesaan oleh Pemda. Dana non pemerintah dapat berupa pembangunan pembangkit dan perluasan jaringan PLN melalui Anggaran PLN atau pembangunan pembangkit Energi Baru Terbarukan oleh Koperasi, Swasta dan Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) (Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM 2013).

3.4 Realisasi Pembangunan PLTMH dan PLTS di Jawa Barat

Selama periode antara tahun 1995 hingga 2013 tercatat telah dibangun ± 72 unit PLTMH yang menerangi ± 9178 Keluarga dan ± 5 Rumah di ± 9 Kabupaten/Kota di Jabar. PLTMH yang dibangun memiliki daya antara ± 2 – 4400 *kilowatt* (kW). Sumber dana untuk pembangunan PLTMH tersebut berasal dari APBN ± 17 unit, APBD Provinsi ± 29 unit, dan sumber dana lainnya ± 26 unit. Kurang lebih tiga unit PLTMH sudah tersambung ke jaringan PLN *(on grid)* (Dinas ESDM Jawa Barat 2018).

Untuk PLTS, selama periode antara tahun 2001 hingga 2014 telah dibangun sebanyak ± 137 unit dengan total keluarga yang mendapatkan listrik sejumlah ± 7629 keluarga di ± 14 Kabupaten/Kota di Jabar. Kapasitas PLTS yang dibangun antara ± 20 – 180 *watt-peak (Wp)*. Sumber dana berasal dari APBN sebanyak ± 68 unit, APBD Provinsi sebanyak ± 29 unit, APBD Kabupaten/Kota sebanyak ± 8 unit, Kementerian Pembangunan Daerah Tertinggal (KPDT) sebanyak ± 3 unit, dan sumber dana lainnya sebanyak ± 29 unit (Dinas ESDM Jawa Barat 2018).

3.5 Kebijakan Insentif

Salah satu kebijakan insentif yang terkait dengan elektrifikasi perdesaan lepas jaringan berbasis energi terbarukan adalah Peraturan Menteri Keuangan Nomor 21/2010 yang memberikan fasilitas perpajakan dan kepabeanan untuk kegiatan pemanfaatan sumber energi terbarukan berupa fasilitas Pajak

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Penghasilan (PPh), fasilitas Pertambahan Nilai (PPN), fasilitas Bea Masuk dan fasilitas pajak ditanggung Pemerintah (Menteri Keuangan 2010).

3.6 Kebijakan Harga Listrik dan Subsidi

Kebijakan harga listrik dari pembangkit listrik perdesaan lepas jaringan sangat berpengaruh terhadap keberlanjutan layanan. Hal ini terkait dengan biaya untuk operasional dan pemeliharaan yang mekanismenya mungkin diserahkan pada kelompok masyarakat atau organisasi pengelola.

Layanan kelistrikan lepas jaringan biasanya mencakup suatu wilayah tertentu yang sangat kecil dalam satu desa, sehingga kebijakan mengenai tarif listriknya berada dalam kewenangan Kabupaten/Kota. Pedoman penetapan tarif tenaga listrik untuk konsumen merupakan kewenangan pemerintah pusat. Sedangkan Pemda sesuai dengan kewenangannya menetapkan tarif tenaga listrik untuk konsumen dengan persetujuan Dewan Perwakilan Rakyat Daerah berdasarkan pedoman yang ditetapkan oleh pemerintah pusat. Tarif tenaga listrik untuk konsumen berkaitan dengan wilayah usaha ketenagalistrikan di mana tarif dapat ditetapkan secara berbeda di setiap daerah dalam suatu wilayah usaha (Republik Indonesia 2009). Dengan demikian, pemerintah terlebih dahulu harus menetapkan wilayah usaha bagi suatu pengelola usaha ketenagalistrikan lepas jaringan sebelum menetapkan kebijakan tentang harga jual listrik.

Kebijakan harga listrik juga berkaitan dengan subsidi, di mana agar masyarakat miskin perdesaan dapat menikmati layanan dasar listrik, maka perlu subsidi untuk mereka agar dapat menutup gap antara kapasitas mereka untuk membayar dengan tingginya biaya untuk menyediakan listrik (Covarrubias dan Reiche 2000). Relevansi kebijakan subsidi ini terkait dengan lemahnya aspek ekonomi dalam pengelolaan pembangkit listrik lepas jaringan oleh pengelola. Misalnya yang terjadi dengan PLTMH Rimba Lestari. Aspek investasi finansial merupakan satu-satunya sub-domain yang dinilai masih kurang meskipun sumber pembiayaannya operasional dan pemeliharaan berasal dari iuran bulanan komunitas. Mekanisme finansial sebagai upaya untuk membangun baru atau merevitalisasi PLTMH lama ada bentuk tabungan yang disisihkan dari iuran bulanan. Usaha produktif dengan memanfaatkan listrik PLTMH dirintis dengan pabrik pengolahan kopi (Permadi dan Putro 2014).

Subsidi listrik, sebagai belanja negara yang dialokasikan oleh Pemerintah dalam APBN sebagai bantuan kepada konsumen atau pelanggan agar dapat menikmati listrik dengan tarif yang terjangkau (Menteri Keuangan 2019), selayaknya tidak hanya dapat dinikmati oleh pelanggan PLN agar lebih berkeadilan.

3.7 Kebijakan Integrasi dengan Jaringan PLN

Kebijakan penting lainnya yang perlu dipersiapkan adalah langkah integrasi pembangkit listrik yang telah dibangun pasca masuknya jaringan listrik PLN. Bagaimanapun, kebutuhan masyarakat akan kapasitas listrik yang lebih besar akan membuat masyarakat lebih memilih untuk mendapatkan listrik dari jaringan PLN dibanding suplai listrik lepas jaringan di mana kapasitas yang dihasilkannya biasanya jauh lebih rendah, hanya cukup untuk penerangan saja. Sementara kebutuhan listrik masyarakat cenderung meningkat, baik untuk usaha produktif, pendidikan, informasi atau hiburan yang berkaitan dengan peningkatan taraf hidup masyarakat.

4 PENUTUP

Strategi, rencana pembangunan, rencana aksi serta mobilisasi keuangan yang berkaitan dengan elektrifikasi perdesaan berbasiskan energi terbarukan lepas jaringan di Jawa Barat, penting untuk disertai dengan kebijakan tarif listrik dan subsidi yang berkeadilan untuk para pengguna. Hal tersebut agar kebijakan yang ada bersifat stabil dan jangka panjang serta komprehensif, dalam perspektif keadilan ekologis.

DAFTAR PUSTAKA

Covarrubias, Alvaro J., dan Kilian Reiche. 2000. “A case study on exclusive concessions for rural off-grid service in Argentina.” Dalam *Energy Services for the World’s Poor: Energy and Development Report 2000*, disunting oleh P. J. Brook dan S. Smith. Washington: World Bank.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Dinas ESDM Jawa Barat. 2018. *Profil Data dan Statistik Energi dan Sumber Daya Mineral Jawa Barat*. Bandung: Dinas ESDM Jawa Barat.

Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM. 2013. "Program Listrik Perdesaan di Indonesia Kebijakan, Rencana dan Pendanaan." http://www.iesr.or.id/Hasril_Program%20Listrik%20Perdesaan.pdf.

Franz, Michael, Nico Peterschmidt, Michael Rohrer, dan Bozhil Kondev. 2014. *Mini-grid Policy Toolkit: Policy and Business Frameworks for Successful Mini-grid Roll-outs*. Eschborn: European Union Energy Initiative Partnership Dialogue Facility (EUEI PDF).

Gibson, William E., ed. 2004. *Eco-Justice the Unfinished Journey*. Albany: State University of New York Press.

Institute for Essential Services Reform. 2019. *Akses Energi yang Berkelanjutan untuk Masyarakat Desa: Status, Tantangan, dan Peluang*. Jakarta: Institute for Essential Services Reform.

Jawa Barat. 2019. *Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 2 Tahun 2019 Tentang Rencana Umum Energi Daerah Provinsi Jawa Barat Tahun 2018-2050*.

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. 2015. *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 2015 Tentang Petunjuk Teknis Penggunaan Dana Alokasi Khusus Bidang Energi Perdesaan Tahun Anggaran 2015*.

Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral. 2017. *Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 39 Tahun 2017 Tentang Pelaksanaan Kegiatan Fisik Pemanfaatan Energi Baru dan Energi Terbarukan Serta Konservasi Energi*.

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. *Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 12 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 39 Tahun 2017 Tentang Pelaksanaan Kegiatan Fisik Pemanfaatan Energi Baru dan Energi Terbarukan Serta Konservasi Energi*.

Menteri Keuangan. 2010. *Peraturan Menteri Keuangan Nomor 21/PMK.011/2010 tentang Pemberian Fasilitas Perpajakan dan Kepabeanan untuk Kegiatan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan*.

———. 2019. *Peraturan Menteri Keuangan Nomor 174/PMK.02/2019 Tentang Tata Cara Penyediaan, Penghitungan, Pembayaran, dan Pertanggungjawaban Subsidi Listrik*.

Pemprov Jabar. 2013. "2014, Pemprov Jabar Bantu 70 Ribu Sambungan Listrik Desa." 2013. https://jabarprov.go.id/index.php/news/7707/2014_Pemprov_Jabar_Bantu_70_Ribu_Sambungan_Listrik_Desa.

Permadi, Mohamad N., dan Heru Purboyo Hidayat Putro. 2014. "Penilaian Kapasitas Komunitas Dalam Mendukung Keberlanjutan Pembangkit Listrik tenaga Mikrohidro 'Rimba Lestari' di Desa Gununghalu, Kabupaten Bandung Barat." *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota B SAPPK V2N1*, 55–64.

Presiden Republik Indonesia. 2015. *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2015 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2015-2019*.

Provinsi Jawa Barat. 2014. *Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 21 Tahun 2014 Tentang Penyelenggaraan Ketenagalistrikan*.

REN21. 2019. *Renewables 2019 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat.

Republik Indonesia. 2009. *Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan*.

Sekretariat Jenderal Ketenagalistrikan. 2019. *Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2018*. Jakarta: Sekretariat Jenderal Ketenagalistrikan.

Shelton, Dinah. 2008. "Making Law out of Principles of Environmental Justice." Dalam . Mexico City. http://www.iucnael.org/en/documents/192-dinah-shelton-making-law-out-of-principles-of-environmental-justice/file.

Tran, Quang Cu. 2013. *ASEAN Guideline on Off-grid Rural Electrification Approaches*. Jakarta: ASEAN Centre for Energy.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

KELAYAKAN FINANSIAL *NEAR ZERO ENERGY BUILDING* DENGAN PERATURAN KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL NO. 49 TAHUN 2018 MENGENAI INSENTIF ENERGI TERBARUKAN

(Near Zero Energy Building Financial Feasibility Under Ministry Of Energy And Mineral Resource Regulation No. 49 Year 2018 On Renewable Energy Incentive)

Ario Bintang Koesalamwardi[1], Andre Eldrian[1], Irene[1], Wellie Tjahyadi[1]
[1]Program Studi Manajemen dan Rekayasa Konstruksi Universitas Agung Podomoro
E-mail: ario.bintang@podomorouniversity.ac.id

Diterima 15 April 2020, Disetujui 21 April 2020

ABSTRAK

Industri konstruksi dan bangunan bertanggung jawab atas lebih dari 35% konsumsi energi di dunia dan menghasilkan hampir 40% emisi gas rumah kaca seperti CO_2. Emisi CO_2 berasal dari konsumsi energi bangunan dimana lebih dari 65% yang masih bersumber dari bahan bakar fosil. Near Zero-Energy Building (nZEB) adalah sistem bangunan yang memiliki efisiensi energi tinggi dan dapat menghasilkan listrik secara mandiri dari sumber energi terbarukan, sehingga mengurangi biaya operasional dari tagihan listrik tahunan secara signifikan di dalam umur pakainya. Pembangunan berkonsep ini akan menambah biaya konstruksi awal untuk penerapan desain hemat energi dan sistem pembangkit energi terbarukan pada bangunan. Kelayakan finansial bangunan dengan desain seperti ini diukur dengan metode analisis Life Cycle Cost yang juga memperhitungkan biaya operasional sepanjang umur pakainya. Insentif energi terbarukan merupakan faktor penting dalam analisis kelayakan finansial karena insentif ini secara langsung mengurangi biaya operasional (biaya listrik tahunan) bangunan. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) telah menerbitkan peraturan baru mengenai besaran insentif yang diberikan kepada pemilik bangunan yang memasang pembangkit listrik dari sumber terbarukan. Perlu ada kajian mengenai dampak finansial dari diterbitkannya peraturan baru ini terhadap nilai finansial nZEB sebagai sebuah sistem bangunan utuh yang terintegrasi dengan pembangkit energi dari sumber terbarukan, terutama bangunan pemukiman padat. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan kelayakan finansial nZEB yang menggunakan peraturan tahun 2013, dengan Peraturan Kementerian ESDM no. 49 tahun 2018, pada bangunan pemukiman padat berkonsep desain nZEB. Penelitian ini menemukan nilai kelayakan finansial konsep desain nZEB di bawah peraturan insentif tahun 2013 lebih besar daripada di bawah peraturan tahun 2018.

***Kata Kunci**: Near Zero Energy Building, Analisis Life Cycle Cost, insentif energi terbarukan*

ABSTRACT

The construction industry and building are responsible for more than 35% of the world's energy consumption and produces almost 40% of greenhouse gas emissions such as CO_2. The CO_2 emissions come from building energy consumption where more than 65% of them is still generated from fossil fuels. Net Zero-Energy Building (NZEB) is a building system that has high energy efficiency and can generate electricity on-site from renewable energy sources, thereby reducing the operational costs of the annual electricity bill significantly in its whole life cycle. This design concept will add initial construction costs for the application of energy-efficient designs and renewable energy generation systems in buildings. The financial feasibility of a building with this design is measured by a Life Cycle Cost analysis method that also takes into account operational costs over its whole life cycle. Renewable energy incentives are an important factor in financial feasibility analysis because these incentives directly reduce the operational costs (annual electricity costs) of buildings. The Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM) has issued new regulations regarding the amount of incentives given to building owners who install renewable energy generators i.e. Photovolvtaic (PV) panels. There needs to be a study of the financial impact of the issuance of this new regulation on the financial value of NZEB as a whole building system that is integrated with energy generation from PV Panels, especially residential buildings. The purpose of this study is to compare the financial feasibility of NZEB using 2013 regulations, with Ministry of Energy and Mineral Resources Regulation no. 49 of 2018, in dense residential buildings with NZEB design concept. This research concludes the nZEB design is more financialy feasible under the 2013 renewable energy incentive regulation than the 2018 regulation.

***Keywords**: Near Zero Energy Building, Life Cycle Cost Analysis, renewable energy incentive*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

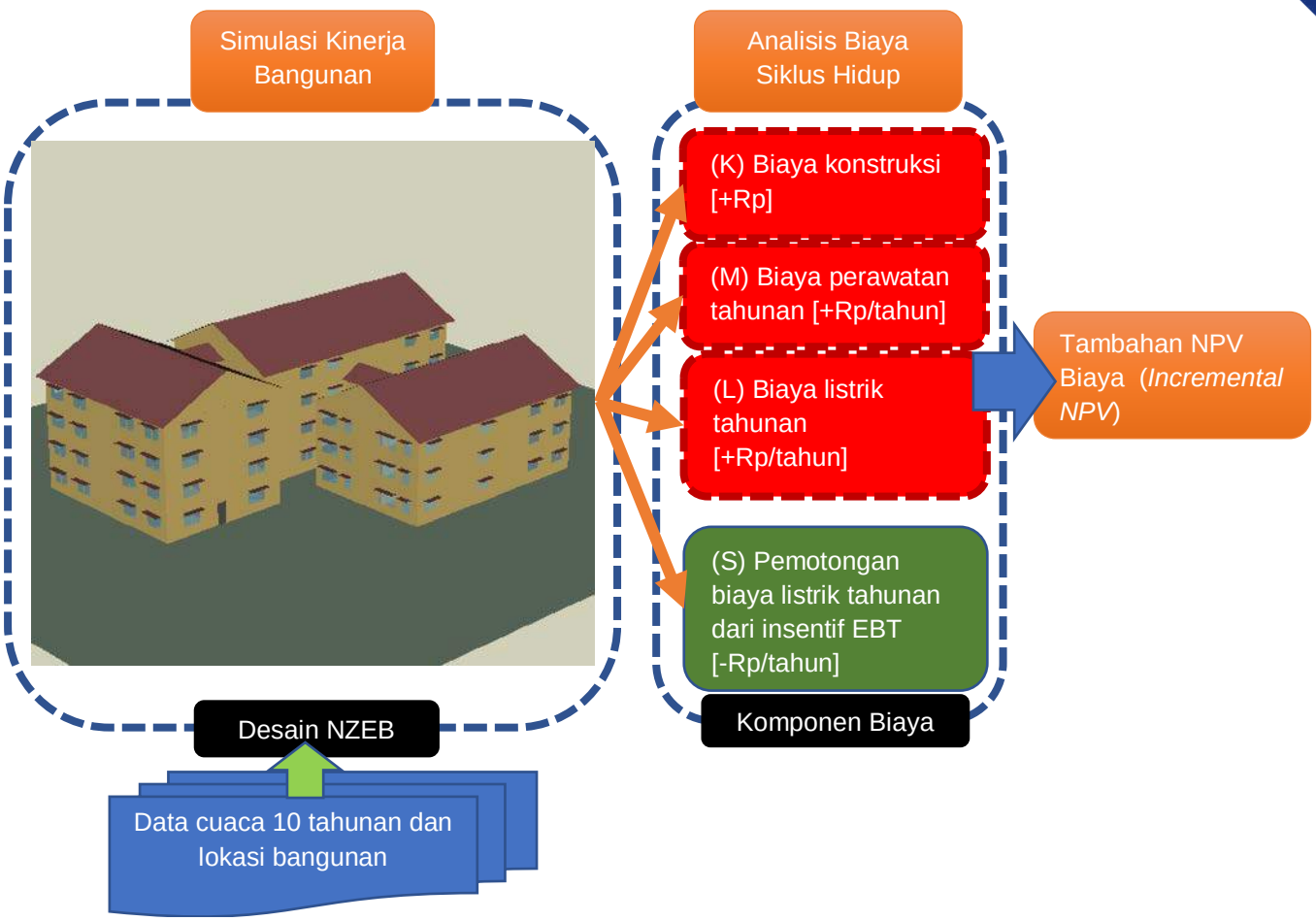
PENDAHULUAN

Tingkat pertumbuhan populasi penduduk kawasan perkotaan di Indonesia adalah yang tercepat di kawasan Asia dengan nilai pertumbuhan 4,1% per tahun. Pada tahun 2025, 68% dari penduduk Indonesia akan menghuni wilayah perkotaan. Sejak tahun 2010, kepadatan penduduk perkotaan di Indonesia melonjak dari 7.400 penduduk/km^2 menjadi 9.400 penduduk/km^2, sedangkan pertumbuhan lahan per penduduk hanya mencapai 40m^2 (World Bank, 2016). Hal ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan bangunan hunian padat seperti rumah susun (Bank Indonesia, 2018). Peningkatan kebutuhan bangunan hunian padat berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan. Badan Lingkungan Hidup dan Energi Internasional PBB padan tahun 2017 melaporkan industri konstruksi dan bangunan bertanggung jawab atas lebih dari 35% konsumsi energi di dunia dan menghasilkan hampir 40% emisi gas rumah kaca seperti CO_2. Emisi CO_2 berasal dari konsumsi energi bangunan dimana lebih dari 65% yang masih bersumber dari bahan bakar fosil. Pada laporan yang sama, kunci dari pengurangan emisi gas rumah kaca seperti CO_2 dari sektor ini adalah dengan mempercepat pengembangan teknologi dan konsep desain bangunan yang memiliki efisiensi energi tinggi dan beralih kepada penggunaan sumber energi baru dan terbarukan (EBT) untuk mencapai *net-zero - emission* (emisi nol) pada sektor bangunan sebelum tahun 2060. Hal ini akan membutuhkan mekanisme pendanaan yang layak untuk memastikan pengembangan dan penerapan teknologi bangunan berkelanjutan dapat diimplementasikan secara menyeluruh (International Energy Agency and United Nations Environment Programme, 2017).

Konsep desain *near Zero-Energy Building* (nZEB) adalah konsep desain bangunan yang sangat hemat energi hingga angka konsumsi energi listriknya mendekati nol. Pencapaian ini diperoleh dengan menggunakan material dan desain selimut bangunan penghemat energi, dan kemudian mengaplikasikan sistem pembangkit energi listrik dari sumber yang bersih, berkelanjutan, baru dan terbarukan (EBT) seperti panel surya atau panel *photovolataic* (PV) (Abdellah, Masrom, Chen, Mohammed, & Omar, 2017). Indonesia adalah negara yang terletak di garis khatulistiwa yang disinari oleh matahari sepanjang tahun. Hal ini menjadi potensi sekaligus tantangan dalam pengembangan konsep desain nZEB di Indonesia. Konsep desain nZEB yang memakai panel PV pada atapnya memiliki potensi untuk menghasilkan energi listrik dalam jumlah besar sepanjang tahun, sedangkan tantangannya adalah meminimalisir pemakaian pendingin udara. Sehingga desain nZEB pada daerah tropis akan memprioritaskan desain pasif untuk meminimalisir penetrasi radiasi panas dari luar dan sistem pembangkit listrik tenaga surya. Desain nZEB di daerah tropis dapat dicapai dengan beberapa langkah, yaitu: (1) mengarahkan fasad bangunan yang memiliki bukaan seperti pintu d jendela tidak langsung ke arah terbit dan tenggelam matahari; (2) menggunakan material insulasi pada elemen selimut bangunan seperti atap, dan dinding luar untuk memperlambat laju penetrasi panas dari luar; (3) memperbesar rasio luas bukaan jendela dengan dinding fasad (*window-to-wall ratio*) untuk memaksimalkan pencahayaan alami; (4) akan tetapi, agar penetrasi panas tidak memasuki bukaan jendela yang diperluas secara berlebihan, pemasangan kanopi pada jendela juga perlu diterapkan; (5) pemakaian lapisan film pada kaca jendela juga perlu untuk meminimalisir penetrai panas berlebihan dari jendela; (6) menggunakan lampu hemat energi seperti lampu LED, dan peralatan rumah tangga hemat energi, dan; (7) mengarahkan panel PV menghadap arah matahari untuk memaksimalkan serapan cahaya matahari (Latief, Berawi, Koesalamwardi, Riantini, & Petroceany, 2017). Dengan adanya sistem pembangkit listrik EBT seperti panel PV, nZEB membutuhkan interaksi dengan jaringan infrastruktur energi listrik (grid) agar listrik yang dihasilkan oleh nZEB dapat langsung diekspor ke jaringan listrik pusat. Interkoneksi dengan jaringan listrik pusat akan mengeliminasi kebutuhan baterai penyimpanan listrik yang mahal dan memerlukan perawatan tambahan. Listrik yang diekspor dapat mengurangi tagihan listrik pemilik bangunan yang memasang sistem pembangkit listrik EBT seperti panel PV (Dávi, Caamaño-Martín, Rüther, & Solano, 2016; Latief, et al., 2017). Harga beli tersebut yang menjadi unsur dalam skema insentif bagi pemilik bangunan yang memasang panel PV pada bangunannya. Salah satu bentuk skema insentif EBT adalah *net-metering.*

Tingginya biaya awal konstruksi akibat dari peningkatan desain bangunan, menjadi kendala untuk pengembangan desain bangunan berkelanjutan seperti nZEB dan Green Building (Sarkar, Kumar, & Sadhu, 2019; Berawi, Basten, Latief, & Crévits, 2020). Desain konsep bangunan berkelanjutan seperti nZEB mendapatkan manfaat finansial berupa penghematan biaya listrik tahunan selama masa operasiionalnya. Besarnya insentif diatur oleh pemerintah, Indonesia melalui Perusahaan Listrik Negara (PLN) pada tahun 2013 melalui surat edaran Direksi Peraturan Direksi PLN no. 0733.K/DIR/2013 menerbitkan skema insentif EBT, *net metering*, yang menyatakan PLN membeli listrik yang dihasilkan oleh panel PV milik konsuen dengan harga sama dengan harga retail konsumen. Pada tahun 2018, Kementerian ESDM mengeluarkan peraturan insentif *net-metering* baru dengan Peraturan Menteri ESDM No. 49 tahun 2018 yang mengatur besaran harga beli PLN kepada konsumen pemilik panel PV, yaitu sebesar 65% dari harga retail. Dengan adanya peraturan baru ini, maka besarnya pengurangan biaya tagihan listrik juga akan mengalami perubahan, sehingga mempengaruhi nilai kelayakan finansial konsep desain nZEB yang menggunakan panel PV.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 1. Bagan alur penelitian

Penelitian bertujuan untuk menghitung seberapa besar dampak diberlakukannya Permen ESDM no. 49 tahun 2018 terhadap nilai kelayakan finansial nZEB. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan perangkat lunak simulasi kinerja energi bangunan untuk mendapatkan data konsumsi listrik tahunan sebuah bangunan. Berdasarkan hasil simulasi, semua kompinen biaya bangunan termasuk biaya listrik tahunan akan dihitung nilai pertambahan NPV biaya siklus hidup (*Incremental Net Present Value*) bangunan nZEB.

METODE PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan penelitian, metode eksperimen menggunakan bantuan perangkat lunak simulasi kinerja energi bangunan. Penggunaan perangkat lunak dalam penelitian ini adalah untuk mensimulasikan kinerja konsumsi energi sebuah desain bangunan dalam kondisi cuaca dan lokasi tertentu.

Bangunan yang dijadikan sampel dalam penelitian ini adalah bangunan hunian sewa sederhana sebanyak 99 unit, terdiri dari 4 lantai, dengan luas keseluruhan bangunan 1.821 m^2 termasuk area koridor dan area umum. Setiap unit rumah susun sudah dilengkapi dengan 1 kamar mandi per unit, sehingga total luas 1 unit adalah 18 m^2. Spesifikasi material bangunan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan spesifikasi desain dan material Zero-Energy Building yang sudah dioptimalkan secara biaya dan konsumsi energi (Latief, Berawi, Koesalamwardi, Sagita, & Herzanita, 2019; Koesalamwardi & Rostiyanti, 2019).

Setelah memasukan data berupa spesifikasi desain dan material NZEB dan menjalankan simulasi, akan didapatkan data luaran berupa: (1) Biaya konstruksi; (2) Biaya perawatan bangunan tahunan; (3) konsumsi energi listrik tahunan; (4) Listrik yang dihasilkan dari sumber energi terbarukan, yaitu panel *photovoltaic* (PV). Gambar 1 di atas adalah skema alur penelitian hingga didapatkan jawaban dan tujuan penelitian.

Peningkatan desain sebuah bangunan dari konsep konvensional menuju konsep berkelanjutan seperti Green building dan nZEB akan menambah biaya konstruksi di awal karena konsep desain ini menggunakan material penghemat energi dan sistem pembangkit listrik dari sumber energi baru dan terbarukan (EBT) seperti panel PV (Gagliano, Giuffrida, Nocera, & Detommaso, 2017). Tingginya biaya awal konstruksi menjadi salah satu kendala dalam pengembangan desain berkonsep bangunan berkelanjutan. Maka manfaat yang didapat berupa penghematan biaya operasional dan perawatan bangunan berkonsep desain ini juga patut diperhitungkan dalam sebuah analisis biaya siklus hidup (Ruparathna, Hewage, & Sadiq, 2017).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Penelitian menggunakan analisis pertambahan biaya siklus hidup (*incremental life cycle cost analysis*) yang hanya memperhitungkan pertambahan dan pengurangan seluruh komponen biaya. Angka yang akan dicari untuk menentukan kelayakan finansial adalah angka *incremental Net Present Value* (ΔNPV) atau Nilai Nett Pertambahan Biaya Saat Ini. Nilai ini adalah nilai netto (kas masuk dikurangi kas keluar) dari semua arus kas yang terjadi dalam seluruh siklus hidup dikonversi ke sebuah nilai ekuivalen dengan nilai saat ini. Nilai Analisis ini digunakan untuk mempertimbangkan dua atau lebih alternatif yang bersifat saling eksklusif (*mutually exclusive*). Analisis ini memperhitungkan hanya perubahan atau pertambahan dalam arus kas alternatif yang sedang dianalisis. Misal, apabila alternatif baru yang sedang dianalisis menyebabkan pertambahan biaya di awal, maka pertambhan itu dapat diperhitungkan dengan sebuah nilai positif. Sedangkan apabila dalam arus kas alternatif baru ini menyebabkan adanya pengurangan atau penghematan biaya, maka dalam analisis arus kas penghematan ini diberi nilai negatif (Blank & Tarquin, 2005). Dalam penelitian ini, pengembangan desain dari desain konvensional menjadi desain nZEB adalah alternatif yang saling eksklusif, hanya bisa memilih salah satu dari dua alternatif, menerapkan desain nZEB atau sama sekali tidak mengembangkan desain (tetap mempertahankan desain konvensional). Maka, apabila seluruh biaya tambahan netto (*incremental NPV*/ΔNPV) dalam siklus hidup yang harus diinvestasikan untuk menerapkan desain nZEB ini bernilai positif (+) karena pertambahan biaya dalam arus kas lebih besar dari pada penghematan biaya yang dihasilkan, maka alternatif pengembangan ke arah desain NZEB dapat dinyatakan tidak layak secara finansial. Sebaliknya, apabila seluruh biaya tambahan netto (*incremental NPV*/ΔNPV) dalam siklus hidup yang harus diinvestasikan untuk menerapkan desain nZEB ini bernilai negatif (-) karena pertambahan biaya dalam arus kas lebih sedikit daripada penghematan biaya yang dihasilkan, maka alternatif pengembangan ke arah desain nZEB dapat dinyatakan layak secara finansial. Rumus yang digunakan untuk mendapatkan tambahan nilai nett saat ini untuk pengembangan desain adalah:

$$\Delta NPV = \Delta K + \Delta[(P/A;r;n)*M] + \Delta[(P/A;r;n)*L] \quad \text{.....(1)}$$

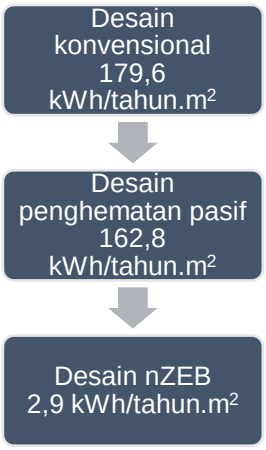
dimana:

ΔNPV = Nilai net pertambahan biaya saat ini
ΔK = Pertambahan biaya konstruksi
M = Biaya perawatan banguan tahunan
L = Biaya tagihan listrik tahunan
(P/A;r;n) = *uniform series present worth*
r = tingkat suku bunga dalam persen
n = umur periode analisis dalam tahun

Dalam memakai rumus ini, beberapa asumsi dasar digunakan, yaitu: (1) semua biaya yang dikeluarkan (*cash outflow*) akan diberi tanda positif, sedangkan semua pemasukan dan atau penghematan biaya (*cash inflow*) akan diberi tanda negatif; (2) maka apabila nilai ΔNPV bernilai negatif, maka nilai tersebut mengindikasikan adanya penghematan biaya; (3) tingkat suku bunga yang digunakan dalam perhitungan adalah 5,625% pertahun berdasarkan nilai rata-rata tingkat su bunga di tahun 2019; (4) periode analisis biaya siklus hidup yang digunakan (n) adalah 10 tahun; (5) harga listrik menggunakan harga tahun 2019 untuk wilayah DKI Jakarta sebesar Rp. 1.467,28/kWh; (6) Peraturan insentif terdahulu, Peraturan Direksi PLN no. 0733.K/DIR/2013 menyatakan harga beli PLN dari listrik yang dihasilkan panel PV adalah sama dengan harga beli konsumen (retail), sedangkan Peraturan Menteri ESDM no. 49 tahun 2018, menyatakan harga beli PLN untuk listrik dari konsumen pemilik panel PV adalah 65% dari harga retail.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi material penghemat energi dan panel PV menghasilkan pertambahan biaya awal konstruksi sebesar Rp. 2.079.312.000,00. Penambahan biaya berasal dari pemakaian material penghemat energi dan sistem pembangkit listrik dari sumber EBT, yaitu berupa: insulasi selulosa R-30 pada struktur atap, pemasangan *drywall* pada dinding bagian dalam, pemasangan kaca emsivitas rendah pada seluruh jendela, penggantian lampu CFL menjadi lampu LED untuk seluruh lampu, pemasangan kanopi 60 cm pada seluruh jendela, dan pemasangan panel PV pada atap bangunan berkapasitas 5.000 kWp. Adanya material tambahan ini, juga menambah biaya perawatan material tersebut. Biaya perawatan tahunan bertambah sebesar Rp. 107.211.390,79 per tahun.



Gambar 2. Penurunan indeks energi bangunan

Walaupun biaya awal konstruksi dan perawatan tahunan bangunan bertambah, hasil simulasi kinerja energi bangunan juga mencatat adanya pengurangan (penghematan) konsumsi listrik pada bangunan per tahun. Penghematan konsumsi energi listrik setelah mengaplikasikan konsep desain nZEB mencapai 98,38% per tahun, seperti yang digambarkan pada Gambar 2 di atas, dimana indeks konsumsi energi listrik tahunan bangunan ini berkurang dari 179,6 kWh/tahun.m^2 menjadi 2,9 kWh/tahun.m^2. Penurunan konsumsi energi listrik tahunan dalam bangunan ini sebagian besar (98,22%) akibat dari pemasangan panel PV. Maka dari itu 98,22% pengurangan biaya (tagihan) listrik tahunan diperhitungkan dengan menerapkan peraturan insentif energi baru terbarukan (EBT) yang berlaku.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1. Biaya listrik tahunan tiap desain bangunan

	Konsumsi listrik (kWh/tahun)	Tagihan listrik tahunan (Rp/tahun)	Penghematan tagihan listrik (Rp/tahun)
Desain Konvensional	327.178	480.061.735,84	0
Desain Penghematan Pasif	296.521	435.079.332,88	44.982.402,96
Desain nZEB dengan panel PV (Peraturan Direksi PLN no. 0733.K/DIR/2013)	5.554	8.149.273,12	471.912.462,72
Desain nZEB dengan panel PV (Peraturan Menteri ESDM no. 49 tahun 2018)	5.554	157.574.794,04	322.486.941,80

Desain konvensional bangunan mengkonsumsi energi listrik per tahun sebesar 327.178 kWh/tahun dengan biaya listrik tahunan sebesar Rp. 480.061.735,84 per tahun. Apabila bangunan ini menerapkan desain pasif, maka banguan ini akan mengkonsumsi energi listrik sebesar 296.521 kWh/tahun dengan biaya listrik tahunan sebesar Rp. 435.079.332,88 per tahun. Desain pasif secara keseluruhan bangunan menghemat biaya listrik tahunan sebesar Rp. 44.982.402,96 per tahun. Desain nZEB yang mengaplikasikan sistem pembangkit listrik EBT dari panel PV, mengkonsumsi energi listrik tahunan sebesar 5.554 kWh/tahun. Dengan adanya sumber EBT ini, maka pemilik bangunan dapat menjual listrik yang dihasilkan oleh panel PV ke jaringan listrik PLN dengan harga tertentu sesuai peraturan mengenai insentif EBT. Apabila menggunakan peraturan insentif terdahulu yakni Peraturan Direksi PLN no. 0733.K/DIR/2013 yang menyatakan harga beli listrik dari panel PV milik konsumen adalah sebesar harga beli retail, maka tagihan listrik untuk seluruh bangunan adalah sebesar Rp. 8.149.273,12 per tahun. Dengan peraturan insentif tahun 2013 ini, pemilik bangunan dapat menghemat biaya listrik tahunan sebesar Rp. 471.912.462,72 per tahun. Namun, apabila menggunakan peraturan insentif EBT tahun 2018 yakni Peraturan Menteri ESDM no. 49 tahun 2018 yang menyatakan harga beli listrik dari panel PV milik konsumen adalah sebesar 65% dari harga retail, maka tagihan listrik untuk seluruh bangunan adalah sebesar Rp. 157.574.794,04 per tahun. Dengan peraturan insentif EBT tahun 2018 ini, pemilik bangunan menghemat biaya listrik tahunan sebesar Rp. 322.486.941,80 per tahun. Hal ini dirangkum dan ditunjukkan pada Tabel 1 di atas.

Nilai penghematan tagihan listrik tahunan ini kemudian digunakan dalam analisis pertambahan NPV biaya (ΔNPV). Pertambahan NPV biaya untuk komponen bangunan, konstruksi dan perawatan adalah Rp. 1.276.016.000,00. Berdasarkan Tabel 1 sebelumnya, penerapan desain nZEB dengan panel PV akan menghasilkan penghematan biaya listrik tahunan yang bersifat mengurangi biaya. Maka dari itu, dalam analisis pertambahan nilai biaya saat ini, penghematan bernilai negatif. Penghematan biaya listrik tahunan tersebut apabila diekuivalensikan ke nilai saat ini (*present*), maka seluruh penghematan biaya listrik tahunan dalam 10 tahun adalah sebesar Rp. 3.535.868.631,80 di bawah peraturan insentif EBT tahun 2013 dan sebesar Rp. 1.140.261.491,63 di bawah peraturan insentif EBT tahun 2018. Penghematan biaya listrik tahunan yang ditunjukkan pada Tabel 1 sebelumnya, menjadi pertambahan negatif dalam analisis pertambahan NPV biaya. Maka sesuai dengan persamaan (1), nilai pertambahan NPV biaya dari nZEB adalah -Rp. 2.259.852.631,80 (di bawah peraturan insentif EBT tahun 2013) dan -Rp. 1.140.261.491,63 (di bawah peraturan insentif EBT tahun 2018). Nilai negatif untuk masing-masing pertambahan NPV biaya mengindikasikan dalam 10 tahun analisis biaya, desain nZEB akan menghasilkan penghematan bahkan keuntungan secara finansial. Selain itu, periode pengembalian penambahan biaya akibat penerapan konsep desain nZEB dapat dicapai selama 2,55 tahun apabila menggunakan peraturan insentif EBT tahun 2013 dan selama 5,61 tahun dengan menggunakan peraturan insentif EBT tahun 2018. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis pertambahan NPV biaya nZEB di bawah peraturan insentif EBT tahun 2013 dan 2018

	Peraturan Direksi PLN no. 0733.K/DIR/2013	Peraturan Menteri ESDM no. 49 tahun 2018
Pertambahan NPV biaya material konstruksi: Biaya konstruksi dan perawatan	Rp. 1.276.016.000,00	
Pertambahan NPV biaya listrik tahunan: Penghematan biaya listrik	-Rp. 3.535.868.631,80	-Rp. 2.416.277.491,63
Jumlah pertambahan NPV biaya seluruh siklus hidup nZEB	-Rp. 2.259.852.631,80	-Rp. 1.140.261.491,63
Periode pengembalian biaya tambahan	2,55 tahun	5,61 tahun

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

KESIMPULAN

Penerapan dan peningkatan desain bangunan untuk menjadi berkelanjutan, nyaman, dan ramah lingkungan menjadi suatu kebutuhan pada saat ini. Penerapan desain yang berkelanjutan dan ramah lingkungan seperti konsep desain nZEB membutuhkan biaya tambahan baik pada awal konstruksi hingga pada saat fase operasional bangunan untuk perawatannya. Model bangunan penelitian ini mengalami penambahan biaya awal konstruksi sebesar Rp. 2.079.312.000,00 dan biaya perawatan tahunan sebesar Rp. 107.211.390,79 per tahun untuk menerapkan material, alat dan sistem penghemat energi serta panel photovoltaic untuk menghasilkan listrik dari sinar matahari.

Penerapan konsep desain nZEB berhasil menurunkan indeks konsumsi energi listrik sejauh 98,38%, dari 179,6 kWh/tahun.m^2 menjadi 2,9 kWh/tahun.m^2. Sebagian besar pengurangan konsumsi listrik dari bangunan tersebut berasal dari energi listrik yang dihasilkan oleh panel photovoltaic yang dipasang di atap bangunan. Pengurangan konsumsi listrik pada bangunan ini tentu akan diikuti dengan penghematan biaya listrik tahunan bangunan. Besaran dari penghematan biaya listrik tahunan bangunan nZEB sangat bergantung dari peraturan insentif EBT yang digunakan. Peraturan Direksi PLN no. 0733.K/DIR/2013 tahun 2013 menyatakan harga beli PLN dari listrik yang dihasilkan panel PV adalah sama dengan harga beli konsumen (retail), sedangkan Peraturan Menteri ESDM no. 49 tahun 2018, menyatakan harga beli PLN untuk listrik dari konsumen pemilik panel PV adalah 65% dari harga retail. Penghematan biaya istrik tahunan model nZEB dengan menggunakan peraturan insentif EBT tahun 2013 mencapai Rp. 471.912.462,72 per tahun, sedangkan dengan peraturan insentif EBT tahun 2018 ini, pemilik bangunan menghemat biaya listrik tahunan sebesar Rp. 322.486.941,80 per tahun.

Akumulasi penghematan biaya listrik tahunan tersebut selama 10 tahun masa analisis pertambahan NPV biaya nZEB menyimpulkan bahwa kedua peraturan insentif EBT dapat menghasilkan nilai pertambahan NPV biaya negatif yang mengindikasikan desain nZEB akan menghasilkan penghematan bahkan keuntungan secara finansial. Akan tetapi, besarnya nilai kelayakan finansial untuk tiap peraturan insentif berbeda. Nilai pertambahan NPV biaya siklus hidup nZEB di bawah peraturan insentif EBT tahun 2013 memiliki nilai NPV negatif yang lebih besar yakni -Rp. 2.259.852.631,80 . Selain itu, peraturan insentif EBT 2013 dapat mengembalikan modal pertambahan biaya untuk penerapan konsep desain nZEB kepada pemilik bangunan dalam periode 2,55 tahun; 2 kali lebih cepat apabila menggunakan peraturan insentif tahun 2018. Kedua indikator analisis kelayakan finasial ini menyimpulkan keuntungan finansial yang dihasilkan peraturan insentif EBT tahun 2013 lebih besar daripada peraturan insentif EBT tahun 2018.

REFERENSI

Abdellah, R. H., Masrom, A. N., Chen, G. K., Mohammed, S., & Omar, R. (2017). The potential of net zero energy buildings (NZEBs) concept at design stage for healthcare buildings towards sustainable development . *Global Congress on Construction, Material and Structural Engineering 2017 (GCoMSE2017).* Johor Bahru: IOP Publishing Ltd.

Bank Indonesia. (2018, May 14). *Perkembangan Properti Komersial*. Diambil kembali dari Bank Sentral Republik Indonesia: https://www.bi.go.id/id/publikasi/survei/properti-komersial/Default.aspx

Berawi, M. A., Basten, V., Latief, Y., & Crévits, I. (2020). Green building incentive model during design recognition to ensure the reliability of green building operation and maintenance achievement. *International Conference on Eco Engineering Development.* Solo: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. doi:https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012020

Blank, L., & Tarquin, A. (2005). *Engineering Economy* (6th ed.). New York: McGraw-Hill.

Dávi, G. A., Caamaño-Martín, E., Rüther, R., & Solano, J. (2016). Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil. *Energy and Buildings*, 19-29.

Gagliano, A., Giuffrida, S., Nocera, F., & Detommaso, M. (2017). Energy efficient measure to upgrade a multistory residential in a nZEB. *AIMS Energy*, 601-624.

International Energy Agency and United Nations Environment Programme. (2017). *2017 Global Status Report: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector.* United Nations Environment Programme.

Koesalamwardi, A. B., & Rostiyanti, S. F. (2019). Cost Optimum Design of Zero-Energy Residential Building. *International Seminar on Tropical Eco-Settlements* (hal. 96-112). Denpasar, Bali: Knowledge-E.

Latief, Y., Berawi, M. A., Koesalamwardi, A. B., Riantini, L. S., & Petroceany, J. S. (2017, December 27). Defining Design Parameters for Housing Development in Tropical Climates Using The Near Zero Energy House (nZEH) Concept. *International Journal of Technology, 8*(6), 1134-1140. doi:https://doi.org/10.14716/ijtech.v8i6.719

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Latief, Y., Berawi, M. A., Koesalamwardi, A. B., Sagita, L., & Herzanita, A. (2019, Februari). Cost Optimum Design of Tropical Near Zero Energy House. *International Journal of Technology, 10*(2), 376-385.

Latief, Y., Berawi, M. A., Supriadi, L., Koesalamwardi, A. B., Petroceany, J., & Herzanita, A. (2017). Integration of net zero energy building with smart grid to improve regional electrification ratio towards sustainable development. *The International Conference on Eco Engineering Development 2017. 109.* Yogyakarta: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. doi:https://doi.org/10.1088/1755-1315/109/1/012041

Ruparathna, R., Hewage, K., & Sadiq, R. (2017). Economic evaluation of building energy retrofits: A fuzzy based approach. *Energy and Buildings*, 395-406.

Sarkar, D., Kumar, A., & Sadhu, P. K. (2019). A Survey on Development and Recent Trends of Renewable Energy Generation from BIPV Systems. *IETE Technical Review*. doi:10.1080/02564602.2019.1598294

World Bank. (2016, June 14). *Feature Story: Indonesia's Urban Story*. Dipetik June 08, 2018, dari http://www.worldbank.org/en/news/feature/2016/06/14/indonesia-urban-story

.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

KINERJA PEMBANGKIT BIOLISTRIK *SALT BRIDGE MICROBIAL FUEL CELL* VARIASI RASIO KARAGENAN- KARBOKSIMETIL SELULOSA

Bustami Ibrahim[1*], Safrina Dyah Hardiningtyas, Steffen
Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor,Kampus IPB Dramaga, Jalan Agatis, Bogor 16680 Jawa Barat
Telepon (0251) 8622909-8622906, Faks. (0251) 8622915

Diterima: 8 Februari 2022/Disetujui: 26 Juli 2022
*Korespondensi: bibrahim@apps.ipc.ac.id

Cara sitasi (APA Style 7th): Ibrahim, B., Hardiningtyas, S. D., Steffen. (2022). Kinerja Pembangkit Biolistrik Salt Bridge Microbial Fuel Cell Variasi Rasio Karagenan-Karboksimetil Selulosa. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia,* 25(2), 214-225. http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v25i2.39872

Abstrak

Sistem *microbial fuel cell (MFC)* adalah teknologi terbarukan yang dapat mengubah materi organik menjadi energi berupa listrik. Tujuan penelitian ini menentukan rasio karagenan (K): karboksimetil selulosa (KMS) yang optimal pada jembatan garam untuk menghasilkan energi listrik dalam sistem MFC dan menentukan hasil listrik tertinggi dari limbah cair pindang ikan melalui teknologi *microbial fuel cell (MFC) salt bridge. J*embatan garam K:KMS dibuat dengan perlakuan rasio K:KMS 1:1, 0,5:1, 0,6:1 (b/b). Perlakuan terbaik adalah K:KMS dengan perbandingan 1:1 menghasilkan tegangan listrik tertinggi sebesar 0,88 V. Jembatan garam K:KMS dengan perbandingan 0,5:1 menghasilkan kuat arus tertinggi sebesar 1,22 mA, serta daya listrik tertinggi sebesar 0,85 mW. Nilai efisiensi penurunan BOD, dan TAN mengalami penurunan sebesar 90,36%, dan 60,45% pada perlakuan rasio K:KMS 1:1. Sistem *salt bridge* MFC ini menunjukkan kinerja yang sangat baik dan berpotensi untuk dikembangkan di masa depan.

Kata kunci: jembatan garam karagenan-karboksimetil selulosa, limbah cair pemindangan ikan, *microbial fuel cell*

The Performance of Salt Bridge Microbial Fuel Cell Bioelectric Generator in Variated Carrageenan-Carboxymethyl Cellulose Ratio

Abstract

The microbial fuel cell (MFC) system is a renewable technology that converts organic matter into energy in the form of electricity. The purpose of this study was to determine the highest electrical yield from fish 'pindang' liquid waste through salt bridge microbial fuel cell (MFC) technology and determine the optimal ratio of carrageenan: carboxylmethyl cellulose in salt bridges to generate electrical energy in the MFC system. The carrageenan-carboxylmethyl cellulose salt bridges were prepared by treating the different carrageenan-carboxylmethyl cellulose compositions of 1: 1, 0.6:1, and 0.5: 1 (w/w). The highest electric voltage was produced from the carrageenan-carboxylmethyl cellulose salt bridge treatment with a ratio of 1:1 with a value of 0.88 V. The carrageenan-carboxylmethyl cellulose salt bridge with a ratio of 0.5:1 was produced the highest current strength of 1.22 mA and the highest electrical power of 0.85 mW. In addition, the reduction efficiency values of BOD and TAN on fishery waste with the treatment of C:CMC ratio of 1:1 were 90.36%, and 60.45%. System salt bridge MFC showed excellent performance and has the potential to be developed in the future.

Keywords: carrageenan-carboxylmethyl cellulose salt bridge, fishery waste, microbial fuel cell

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil dan proses energi tidak terbarukan mendominasi pasokan energi dengan batubara, minyak mentah, dan gas alam yang mewakili lebih dari 80% pada tahun 2018 (Rabaia *et al.*, 2020). Produksi pembangkit listrik Indonesia pada tahun 2018 mencapai 283,8 TWh (DEN 2019). Perkembangan industri dan pertumbuhan ekonomi yang pesat di berbagai belahan dunia telah menghasilkan fenomena pemanasan global dan perubahan iklim akibat dari peningkatan emisi karbondioksida (Mbarek *et al.*, 2018). Emisi gas rumah kaca terus mengalami kenaikan hampir pada setiap tahunnya. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa jumlah total emisi gas tahun 2017 sebesar 1,35 Tg CO_2 meningkat di tahun 1,63 Tg CO_2 (Badan Pusat Statistik [BPS], 2020). Ibrahim *et al.* (2014) menyatakan bahwa limbah cair perikanan dapat digunakan sebagai salah satu sumber energi alternatif yang berpotensi sebagai penghasil energi listrik.

Limbah cair industri perikanan merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan produk perikanan. Limbah tersebut mengandung banyak bahan organik seperti lemak, protein, dan nutrien lainnya (Ibrahim *et al.*, 2017). Kandungan bahan organik tersebut dapat menimbulkan masalah lingkungan karena menimbulkan bau yang tidak sedap serta merupakan polusi berat pada perairan (Scott & Hui, 2004). Pencemaran yang disebabkan oleh limbah cair perikanan dapat diatasi dengan memanfaatkan limbah cair itu sendiri. Limbah cair perikanan dapat dimanfaatkan sebagai substrat pada sel elektrokimia berbasis mikroba atau *microbial fuel cell* (MFC) (Ibrahim *et al.*, 2014).

Penelitian menggunakan sistem MFC satu bejana dengan substrat limbah cair perikanan menghasilkan nilai voltase 0,34 V (Ibrahim *et al.*, 2017). Pengoptimalan sistem MFC tersebut diperlukan separator untuk membuat pembangkit listrik yang berkelanjutan. Separator memainkan peran yang sangat penting dalam desain MFC karena dapat meningkatkan produksi daya dan *columbic efficiency* (CE). Bahan separator yang ideal harus memiliki koefisien transfer proton yang tinggi. Peighambardoust *et al.* (2010) menyatakan bahwa sistem MFC dua bejana pada umumnya menggunakan mediator penukar proton yang berfungsi untuk mengalirkan ion yang dihasilkan dari anoda ke katoda.

Mediator penukar proton dapat berupa membran atau jembatan garam (*salt bridge*). Membran penukar proton yang digunakan umumnya adalah nafion (Fan *et al.*, 2020) dan CMI-7000 (Di Palma *et al.*, 2020). Membran tersebut mempunyai harga yang sangat mahal serta harus diimpor. Uddin *et al.* (2016) berpendapat bahwa alternatif yang dapat dilakukan adalah membuat jembatan garam menggunakan polimer alami. Agar-agar memiliki kemampuan elektrofisiologis yang dapat membantu menyeimbangkan konsentrasi ion antara elektroda dan dapat mencegah difusi oksigen pada larutan elektrolit (Kreiter & Pohl 2019).

Polimer karagenan-karboksimetil selulosa berpotensi dijadikan jembatan garam. Penelitian Zainuddin *et al.* (2018) menunjukkan konduktivitas optimal polimer elektrolit karagenan: karboksimetil-selulosa (20:80 (b/b)) 10^{-7} S/cm dalam bentuk membran. Riset yang dilakukan Ibrahim *et al.* (2020) menggunakan karagenan sebagai membran yang dicampur dengan kitosan (1:1 (b/b)) memiliki konduktivitas 10^{-3} S/cm. Penggunaan jembatan garam polimer karagenan-karboksimetil selulosa (K:KMS) sebagai mediator MFC dengan memanfaatkan limbah perikanan berfungsi sebagai pembangkit energi biolistrik. Tujuan penelitian *salt bridge* MFC ini adalah menentukan hasil listrik tertinggi dari limbah cair pindang ikan melalui teknologi *salt bridge microbial fuel cell*, serta menentukan rasio karagenan: karboksimetil selulosa yang optimal pada jembatan garam untuk menghasilkan energi listrik dalam sistem MFC.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Limbah cair pindang ikan jenis bawean diambil dari lokasi pembuangan limbah CV. Limbah cair pindang ikan yang dipakai dari perebusan lima kali dengan umur satu hari.

Cindy Group Parung, Bogor menggunakan jeriken tanpa penyaringan. Lumpur aktif diambil dari PT Pahala Bahari Nusantara, Karawang. Bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah substrat limbah cair perikanan (limbah pengolahan pindang CV Cindy Group Parung, Bogor), lumpur aktif, karagenan $(C_{24}H_{36}O_{25}S_2^{-2})_n$ (IndoGum), karboksimetil selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ (IndoGum), KCl (Merck), akuades, KOH (Merck), $KMnO_4$ (Merck), H_2SO_4 (Merck), C_6H_6O (Merck), $C_5FeN_6Na_2O$ (Merck), NaClO (Merck), lem kaca (Dextone), dan lem akrilik (Fulloc). Alat-alat yang digunakan dalam penelitian antara lain kaca silica (Magi) berbentuk balok dengan dimensi 8×8×40 cm^3dan tebal 5 mm, kabel (Kabelindo) 10 cm, elektroda tembaga dimensi 1×0,1×7 cm^3 (PUDAK), batang grafit dimensi 1×1×7 cm^3 (IUGIS), aerator (Recent RC-410), multimeter digital (DT 831B), tabung erlenmeyer 50 mL, botol *wrinkle*, timbangan digital (Tanita KD 160), gelas piala, pipa paralon PVC (0,75 inchi), *stopwatch*, buret, oven, *vortex*, kuvet, spektrofotometer *single beam* (Optima SP-300), dan pH meter (ATC).

Metode Penelitian

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian meliputi lima tahap. Kelima tahapan tersebut yaitu (1) pembuatan *microbial fuel cell* dua bejana, (2) pembuatan jembatan garam, (3) karakterisasi awal limbah cair pindang ikan, (4) pengukuran elektrisitas *salt bridge* MFC, dan (5) karakterisasi beban polutan limbah cair pindang ikan setelah pengukuran elektrisitas MFC selama 120 jam.

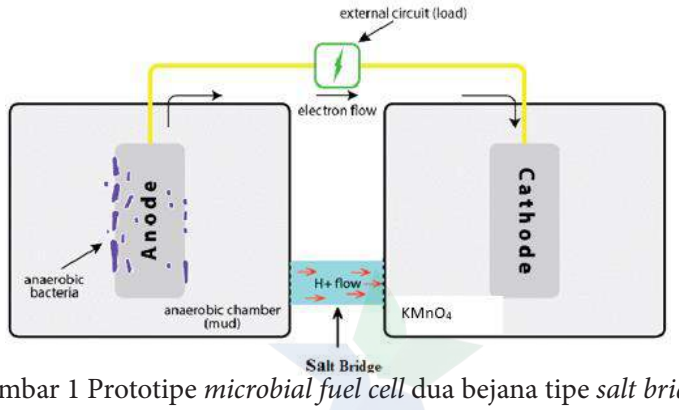
Pembuatan MFC dua bejana

Model alat MFC yang digunakan mengacu pada Parkash *et al.* (2015) dengan modifikasi. Pembuatan rancangan model dilakukan dengan wadah kaca berukuran 10×10×40 cm^3. Katoda berbahan dasar grafit berdimensi 1×1×7 cm^3. Anoda terbuat dari lempeng tembaga dengan dimensi 1×0,1×7 cm^3. Kedua elektroda dipasangkan di bagian dalam wadah. Elektroda anoda dan katoda dipasang di bagian tengah wadah. Kedua elektroda dihubungkan dengan kawat tembaga yang ditambahkan pencapit tembaga sebagai pengalir listrik ke alat multimeter. Prototipe MFC dua bejana dapat dilihat pada Gambar 1.

Prinsip kerja alat MFC tipe *salt bridge* yang terdiri dari sepasang rangkaian elektroda katoda dan anoda dengan dua chamber adalah sebagai berikut: ruang katodik menggunakan elektroda berupa batang karbon grafit dan ruang anodik menggunakan elektroda berupa batang tembaga. Mikroba di ruang anodik dalam keadaan planktonik atau dengan membentuk biofilm, mengoksidasi substrat menghasilkan elektron, proton, dan metabolit lain sebagai produk akhir. Elektron yang dilepaskan oleh mikroba dikumpulkan oleh anoda dan mengalir ke katoda melalui rangkaian eksternal. Aliran elektron yang melalui rangkaian eksternal menghasilkan arus listrik. Proton mengalir menuju katoda melalui jembatan garam (Das, 2018). Reaksi yang berlangsung pada MFC dengan substrat berupa asam amino bebas dan NAD+ sebagai elektron aseptor berdasarkan Hermayanti & Nugraha (2014) adalah:

$$\text{Ruang anoda: Asam amino} + NAD^+ \xrightarrow{\text{mikroba}} NH_4^+ + e^- + H_3O^+$$

$$\text{Ruang katoda: } MnO_4^- + H_3O^+ + e^- \longrightarrow MnO_2 + 2H_2O$$



Gambar 1 Prototipe *microbial fuel cell* dua bejana tipe *salt bridge*

Jembatan garam berperan untuk mempertahankan kenetralan muatan listrik antara ruang anoda serta ruang katoda. Kation pada ruang katoda (H_3O^+) yang berlebih berdifusi ke jembatan garam, sedangkan elektron berdifusi melalui jembatan garam ke ruang anoda MFC.

Pembuatan jembatan garam

Jembatan garam karagenan dibuat dengan memodifikasi prosedur yang dilakukan oleh Drisya & Manjunath (2017). Pembuatan jembatan garam karagenan menggunakan larutan KCl 1 M. Larutan KCl 1 M dibuat dengan melarutkan 74,55 g KCl dalam 1 L akuades. Rasio karagenan-karboksimetil selulosa yang digunakan untuk jembatan garam antara lain 1:1, 0,6:1, dan 0,5:1 (b/b). Campuran karagenan-karboksimetil selulosa 15 g dengan rasio berbeda masing-masing dicampurkan larutan 100 mL KCl 1 M di dalam beaker glass. Campuran tersebut lalu dipanaskan 70—80 °C selama dua sampai tiga menit, kemudian dituang ke dalam pipa PVC berdiameter 0,75 in dengan panjang 10 cm.

Karakterisasi awal limbah cair pemindangan ikan

Limbah cair pindang ikan jenis bawean diambil dari lokasi pembuangan limbah CV Limbah cair pindang ikan yang dipakai dari perebusan lima kali dengan umur satu hari. Cindy Group Parung, Bogor menggunakan jerigen tanpa penyaringan. Lumpur aktif diambil dari PT Pahala Bahari Nusantara, Karawang menggunakan jerigen dan ditaruh di dalam *coolbox* selama perjalanan. Limbah cair kemudian diaklimatisasi dengan penambahan lumpur aktif dengan perbandingan 3:1 (v/v) selama seminggu di suhu ruang. Proses aklimatisasi lumpur aktif dan limbah cair di dalam wadah tertutup dan diberi aerator. Limbah selanjutnya dikarakteristisasi dengan mengukur beberapa parameter seperti pH, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), dan analisis *Total Ammonia Nitrogen* (TAN).

Pengukuran elektrisitas *salt bridge* MFC

Pengukuran tegangan dan arus listrik dilakukan menggunakan multimeter setiap jam selama 120 jam. Masing-masing elektroda dihubungkan dengan kabel. Kedua kabel dihubungkan oleh multimeter. Multimeter diatur untuk pengukuran tegangan dan arus listrik pada skala terkecil terlebih dahulu kemudian nilai yang tertera pada layar multimeter diamati pada selang waktu tertentu. Pengukuran nilai tegangan dan arus listrik dilakukan 3 kali ulangan pada masing-masing perlakuan.

Karakterisasi beban polutan limbah cair pindang ikan setelah pengukuran elektrisitas MFC selama 120 jam.

Pengukuran karakterisasi beban polutan limbah cair pemindangan ikan setelah diberikan perlakuan untuk menghasilkan elektrisitas MFC selama 120 jam.

Prosedur analisis

Analisis BOD

Analisis nilai BOD dilakukan dengan cara sampel limbah dimasukkan ke dalam erlenmeyer lalu diencerkan menggunakan akuades dengan faktor pengenceran 10 sampai 200 mL. Sampel kemudian diaerasi selama 30 menit. Sampel dipisahkan pada dua botol BOD, satu untuk inkubasi dan botol lainnya untuk mengukur DO pada larutan sampel. Botol sampel yang diinkubasi menggunakan botol khusus BOD dan pada saat diinkubasi tidak boleh ada gelembung udara dalam botol BOD tersebut. Sampel kemudian diinkubasi selama lima hari di tempat gelap pada suhu 20 °C. Nilai DO diukur untuk sampel yang telah diinkubasi dan kontrol.

Analisis TAN

Penentuan nilai total amoniak nitrogen (TAN) dilakukan dengan cara sampel dipipet sebanyak 25 mL dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 50 mL. Sampel kemudian ditambahkan 1 mL larutan fenol lalu dihomogenkan. Sampel selanjutnya ditambahkan 1 mL natrium nitroprusid lalu dihomogenkan. Sampel kemudian ditambahkan 2,5 mL larutan pengoksidasi lalu dihomogenkan. Larutan pengoksidasi dibuat dengan mencampurkan 100 mL larutan alkalin sitrat dengan 25 mL Natrium hipoklorit. Sampel pada erlenmeyer

kemudian ditutup menggunakan plastik atau parafin *film*. Sampel kemudian dibiarkan selama 1 jam sampai terbentuknya warna. Sampel kemudian dimasukan ke dalam kuvet pada alat spektrofotometer dengan panjang gelombang 640 nm.

Rancangan Penelitian dan Analisis Data

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 1 faktor yaitu rasio jembatan garam karagenan-karboksimetil selulosa 1:1, 0.6:1, dan 0.5:1. Percobaan yang dilakukan sebanyak tiga ulangan. Model rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut. $Yij=\mu+\tau i+\varepsilon ij$

Keterangan:
Yij = nilai pengamatan pada taraf ke-i (i = 1, 2, 3) ulangan ke-j (j = 1, 2, 3)
μ = nilai tengah atau rataan umum pengamatan
τi = pengaruh perlakuan rasio jembatan garam karagenan- karboksimetil selulosa ke-i
εij = galat pada perlakuan ke-i ulangan ke-j

Data penelitian ini diuji kenormalan dan kehomogenannya. Uji ANOVA dilakukan jika uji kenormalannya tidak signifikan. Parameter yang dianalisis antara lain COD, BOD, TAN, pH, tegangan, arus, dan daya listrik.

Analisis regresi polinomial pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara lamanya waktu pengamatan dengan nilai elektrisitas MFC yang dihasilkan. Model regresi polinomial dapat ditulis sebagai berikut. $Yi=b0+b1X+b2X2+....+ bkXk+\varepsilon$

Keterangan:
Y = nilai elektrisitas
b0 = intersep
b1, b2...., bk = koefisien-koefisien regresi
X = waktu pengamatan
ε = galat model regresi dikatakan signifikan jika *p-value* tidak melebihi α= 0,05

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Cair Pemindangan Ikan

Limbah cair yang digunakan pada penelitian ini yaitu limbah pindang ikan yang diambil dari CV Cindy Group, Dramaga, Bogor. Limbah cair pindang ikan mengandung *biochemical oxygen demand* (BOD) serta senyawa nitrogen yang sangat tinggi (Chowdhury *et al.* 2010). Parameter yang dianalisis diantaranya pH, *biochemical oxygen demand* (BOD), *total ammonia nitrogen* (TAN). Karakteristik limbah cair pindang dan lumpur aktif dapat dilihat pada Tabel 1. Karakteristik limbah cair pindang ikan menunjukkan nilai BOD 216,67±4,93 mg/L, TAN 0,55±0,05 mg/L, dan nilai pH 6,70± 0,10. Nilai BOD tersebut dapat berasal dari senyawa karbon dan nitrogen (protein, peptida, dan senyawa volatil). Karakteristik campuran limbah cair pindang ikan dan lumpur aktif melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). Nilai pH dan TAN limbah pindang cair masih cenderung di bawah baku mutu limbah cair perikanan yang disarankan oleh KLH, namun jika terus dibuang ke badan sungai dapat menimbulkan risiko serius terhadap ekosistem perairan tersebut.

Nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Persentase penurunan nilai BOD terbesar terdapat pada perlakuan dengan rasio jembatan garam K:KMS 1:1 yaitu sebesar

Tabel 1 Karakteristik limbah cair pindang dan lumpur aktif

Parameter	Limbah cair pindang dan lumpur aktif	Setelah pengoperasian salt bridge MFC pada rasio karagenan : karboksimetil selulosa			Baku mutu limbah cair perikanan (KLH 2014)
		0,5:1	0,6:1	1:1	
pH	6,70±0,10	8,20±0,10	8,40±0,10	8,60±0,10	6—9
BOD (mg/L)	216,67±4,93	20,88±1,1	19,54±1,60	15,15±1,00	75
TAN (mg/L)	0,55±0,05	0,31±0,0	0,29±0,00	0,22±0,00	5

93,01%. Penurunan nilai BOD disebabkan mikroorganisme mendegradasi materi organik limbah pindang ikan. Hasil metabolisme mikroorganisme antara lain karbon dioksida, elektron, dan hidronium (Hermayanti & Nugraha 2014). BOD setelah proses operasi MFC menunjukkan adanya penurunan yang disebabkan oleh aktivitas bakteri pada lumpur aktif. Bakteri memanfaatkan bahan organik dalam limbah sebagai nutrisi bagi hidupnya. Mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi elektron dan proton pada ruang anoda (Jatoi *et al*. 2020).

Nilai Total Amonia Nitrogen (TAN)

Efisiensi penurunan nilai TAN terbesar terdapat pada perlakuan dengan rasio jembatan garam K:KMS 1:1 yaitu sebesar 60,45%. Penurunan nilai TAN pada limbah cair pindang ikan mengindikasikan adanya bakteri nitrifier pada lumpur aktif. Bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi efektif dalam menangani limbah dengan kandungan amonia yang tinggi (Huang *et al*. 2020). Proses degradasi bahan organik menghasilkan proton contohnya hidronium dan amonium. Efisiensi penghilangan TAN dengan transfer ion amonium ke ruang katoda melalui jembatan garam (Kim *et al*., 2016). Penelitian Akaluka *et al*. (2016) mengenai *salt bridge* MFC yang mampu menurunkan nilai TAN limbah 88,4%. Akaluka *et al*. (2016) menyatakan bahwa penurunan nilai yang TAN disebabkan oleh aktivitas denitrifikasi dan oksidasi amonia yang terjadi di ruang anoda dalam kondisi oksigen tereduksi.

Nilai pH

Kenaikan nilai pH terbesar terdapat pada perlakuan dengan rasio jembatan garam K:KMS 1:1 yaitu sebesar 28,35%. Nilai pH yang sedikit lebih tinggi biasanya direkomendasikan saat mengoperasikan MFC untuk menyeimbangkan reaksi biologis dan elektrokimia. Kaushik dan Chetal (2013) menyatakan bahwa kisaran pH anodik yang baik di MFC ditemukan bervariasi dari 7 hingga 9. Peningkatan derajat keasaman limbah cair pindang ikan disebabkan oleh penguraian senyawa organik oleh menjadi trimetilamin dan senyawa volatil (Retnosari & Shovitri 2013).

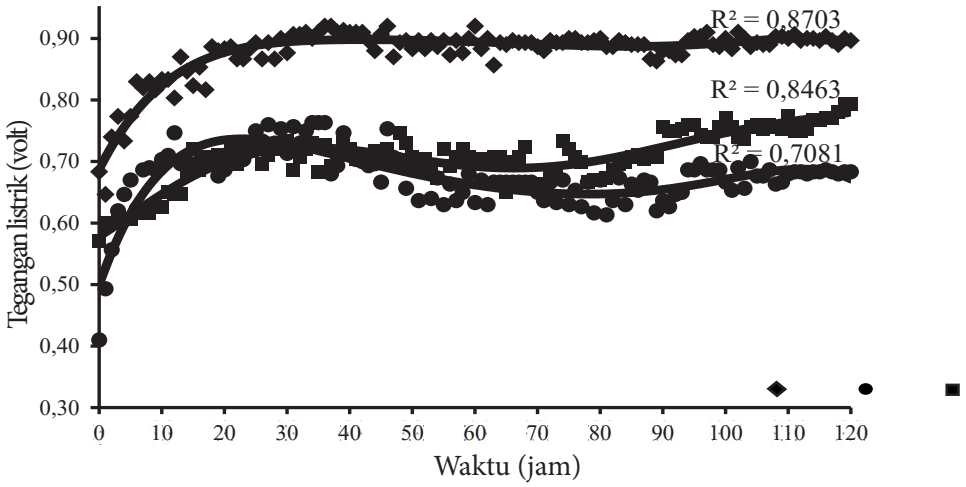
Zhang *et al*. (2020) menyatakan bahwa kenaikan nilai pH juga dapat disebabkan oleh menurunnya jumlah oksigen yang digunakan oleh bakteri saat menguraikan bahan organik. Metabolisme bakteri biasanya mengarah pada produksi senyawa asam lemah untuk mempertahankan pH intraselulernya (He *et al*. 2008). Peningkatan nilai pH dalam ruang anoda menyebabkan potensi anoda menjadi lebih negatif yang meningkatkan kinerja MFC. Nilai pH yang sedikit lebih tinggi biasanya direkomendasikan saat mengoperasikan MFC untuk menyeimbangkan reaksi biologis dan elektrokimia (Das 2018). Penelitian Sivakumar (2021) menunjukkan nilai pH limbah akhir sistem *salt bridge* MFC 7,4±0,6.

Nilai Tegangan Listrik

Perbedaan potensial listrik antara katoda dan anoda menghasilkan tegangan yang diukur dengan satuan volt. Hasil tegangan listrik yang terukur dari alat MFC dengan jembatan garam dapat dilihat pada Gambar 2.

Rataan nilai tegangan listrik sistem *salt bridge* MFC fluktuatif selama pengamatan. Perlakuan jembatan garam dengan dengan rasio jembatan garam K:KMS=1:1 menghasilkan nilai rata-rata tegangan listrik tertinggi yaitu sebesar 0,88±0,04 V. Perlakuan jembatan garam dengan dengan rasio jembatan garam K:KMS = 0,6:1 menghasilkan nilai rata-rata tegangan listrik terendah yaitu sebesar 0,68±0,05 V. Nilai voltase *salt bridge* MFC pada jam ke-0 disebabkan perbedaan muatan potensial pada kedua chamber. Muatan ion Na+ dan Cl- pada limbah cair ikan pindang merupakan pengaruh terbesar perbedaan potensial *salt bridge* MFC jam ke-0 (Hassan *et al*. 2016). Nilai tegangan pada jam berikutnya dipengaruhi oleh bakteri yang mengubah bahan organik (Jatoi *et al*. 2016).

Riset Sivakumar (2021) dengan sistem MFC dua bejana pada limbah industri susu dengan menggunakan jembatan garam agar menghasilkan tegangan listrik paling besar 0,73 V. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh jenis komposit yang

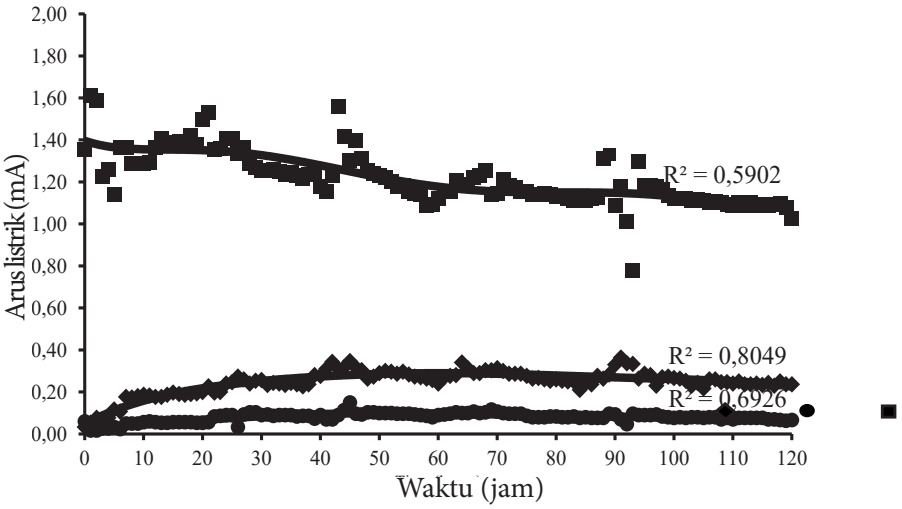


Gambar 2 Hasil tegangan listrik yang terukur dari alat MFC dengan jembatan garam rasio karagenan : karboksimetil selulosa yang berbeda-beda; (◆) 1:1; (●) 0,6:1; (■) 0,5:1; (—) polinom 1:1; (—) polinom 0,6:1; (—) polinom 0,5:1. R^2 menunjukkan koefisien determinasi.

digunakan pada sistem MFC dua bejana. Christwardana *et al.* (2020) mengaplikasikan komposit K:KMS sebagai membran pada *yeast* MFC dengan substrat glukosa. Nilai tegangan listrik yang dihasilkan 0,67 V. Penelitian Hermayanti & Nugraha (2014) menghasilkan voltase sebesar 0,83 V dengan MFC agar *salt bridge* dengan bantuan oksidator $KMnO_4$ 0,1 M. Perbedaan nilai tegangan dengan literatur dapat disebabkan *salt bridge* dan limbah yang berbeda.

Nilai Arus Listrik

Arus listrik adalah aliran elektron yang bergerak atau mengalir dalam satuan waktu yang arahnya berlawanan dengan arah elektron. Elektron akan mengalir dari kutub negatif ke kutub positif, karena elektron yang bermuatan negatif akan tertarik oleh kutub bermuatan positif. Nilai arus listrik yang terjadi pada MFC jembatan garam pada rasio karagenan dan karboksimetil selulosa dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Nilai arus listrik yang terjadi dari alat MFC dengan jembatan garam rasio karagenan : karboksimetil selulosa yang berbeda-beda; (◆) 1:1; (●) 0,6:1; (■) 0,5:1; (—) polinom 1:1; (—) polinom 0,6:1; (—) polinom 0,5:1. R^2 menunjukkan koefisien determinasi.

Nilai rata-rata arus listrik tertinggi dihasilkan oleh perlakuan dengan perbandingan 0,5:1 yaitu sebesar 1,22±0,13 mA. Perlakuan jembatan garam dengan dengan rasio jembatan garam K:KMS = 0,6:1 menghasilkan nilai rata-rata arus listrik terendah yaitu sebesar 0,08±0,02 mA. Penelitian Sivakumar (2021) dengan sistem MFC dua bejana pada limbah industri susu menggunakan jembatan garam agar menghasilkan tegangan listrik paling besar menghasilkan arus listrik paling besar 15,91 mA. Arus listrik didefinisikan banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu (Naik & Jujjavarappu, 2018). Muatan ion pada limbah pindang berupa ion Na+ dan Cl- yang berbeda dengan bejana katoda yang berisikan $KMnO_4$ (l) 1M menciptakan perbedaan potensial, sehingga muatan—muatan tersebut bergerak dan terbaca pada multimeter sebagai arus listrik (Apse-Apsitis *et al*., 2018).

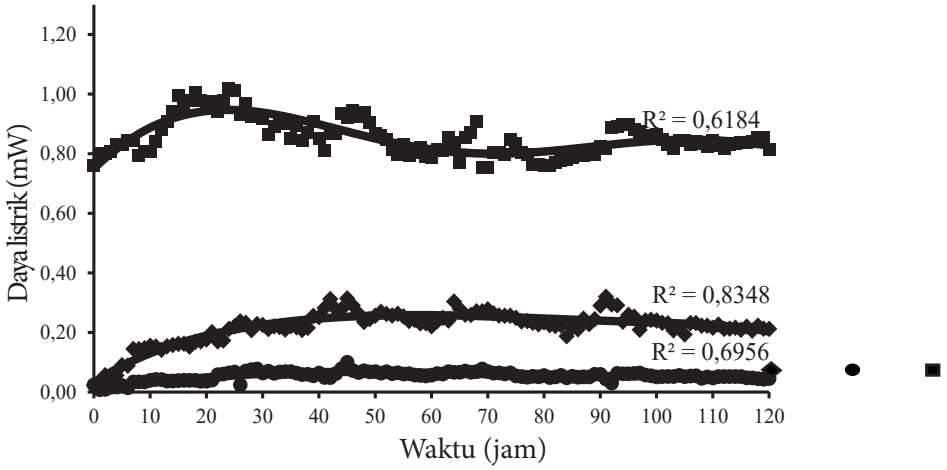
Penelitian Christwardana *et al*. (2020) mengaplikasikan komposit K:KMS sebagai membran pada *yeast* MFC dengan substrat glukosa. Nilai arus listrik yang dihasilkan 1,89 mA. Penelitian Hermayanti & Nugraha (2014) menghasilkan kuat arus sebesar 0,89 mA dengan MFC agar *salt bridge* dengan bantuan oksidator $KMnO_4$ 0,1M. Perbedaan nilai tegangan dengan literatur dapat disebabkan *salt bridge* dan limbah yang berbeda.

Rasio K:KMS 0,5:1 berbeda nyata antara rasio 1:1 dan 0,6:1. Perbedaan tersebut disebabkan oleh nilai zeta potensial. Zeta potensial merupakan potensial listrik yang mampu memindahkan partikel bermuatan dari elektroda satu ke elektroda lainnya (Sapsford *et al*., 2011). Nilai zeta potensial untuk karagenan dan karboksimetil selulosa secara berturut-turut adalah -30 mV (Barbosa *et al*., 2019) dan -15 mV (Cai *et al*., 2013) pada pH 8. Zeta potensial pada rasio K:KMS yang berbeda memengaruhi jumlah muatan listrik yang bergerak pada sistem MFC ini. Komposit antara karagenan dan karboksimetilselulosa memiliki daya tarik elektrostatik yang efektif sehingga dapat digunakan untuk menangkap fluoroquinolones dari dalam air (Li *et al*., 2022).

Nilai Daya Listrik

Sumber energi berupa tegangan listrik akan menghasilkan daya listrik. Sistem MFC dengan jembatan garam yang memiliki tegangan listrik dan menghasilkan arus listrik menunjukkan adanya daya listrik seperti dapat dilihat pada Gambar 4.

Rataan daya listrik tertinggi dan terendah dihasilkan oleh perlakuan dengan perbandingan 0,5:1 yaitu sebesar 0,85±0,06 mW. Perlakuan jembatan garam dengan dengan rasio jembatan garam K:KMS= 0,6:1 menghasilkan nilai rata-rata daya listrik terendah yaitu sebesar 0,05±0,01 mW. Nilai daya listrik yang dihasilkan pada riset Sivakumar (2021) dengan sistem MFC dua



Gambar 4 Daya listrik yang terjadi dari alat MFC dengan jembatan garam rasio karagenan : karboksimetil selulosa yang berbeda-beda; (◆) 1:1; (●) 0,6:1; (■) 0,5:1; (—) polinom 1:1; ( ) polinom 0,6:1; ( ) polinom 0,5:1. R^2 menunjukkan koefisien determinasi.

bejana pada limbah industri susu dengan menggunakan jembatan garam agar sebesar 11,69 mW.

Christwardana *et al.* (2020) mengaplikasikan komposit K:KMS sebagai membran pada yeast MFC dengan substrat glukosa. Nilai arus listrik yang dihasilkan 1,26 mW. Penelitian Hermayanti & Nugraha (2014) menghasilkan kuat arus sebesar 0,07 mW dengan MFC agar *salt bridge* dengan bantuan oksidator $KMnO_4$ 0,1M. Perbedaan nilai tegangan dengan literatur dapat disebabkan *salt bridge* dan limbah yang berbeda.

Nilai elektrisitas yang berbeda tiap perlakuan dapat disebabkan jumlah gugus alkil bermuatan negatif. Selulosa yang berada dalam matriks karagenan kemungkinan besar teroksidasi menjadi oksi-karboksimetil selulosa karena berada dalam kondisi asam untuk waktu yang lama. Asam tersebut berasal dari asam organik dari proses anaerobik oleh bakteri (Christwardana *et al*., 2020).

Potensi MFC perlahan menurun karena terjadi fase lag di mana bakteri beradaptasi dengan lingkungan baru. Potensi meningkat secara eksponensial, diikuti oleh fase stationary hingga potensi menurun sebelum akhir siklus karena penipisan substrat dan denitrifikasi. Hal ini menyebabkan sifat anolit berubah menjadi lebih basa dan berpengaruh pada potensi anoda. Mook *et al.* (2012) menyatakan bahwa denitrifikasi yang berlangsung optimal pada pH 7-8. Nilai pH sistem MFC yang meningkat akan menyebabkan penurunan nilai elektrisitas (Purwono *et al*., 2015).

Gugus karboksil pada oksiselulosa membantu meningkatkan mobilitas elektron. Christwardana *et al.* (2020) berpendapat keberadaan oksi-selulosa berperan penting dalam aktivitas transfer elektron dan sedikit mengubah kondisi lingkungan pada sistem anoda. Polimer komposit K:KMS memiliki ikatan rangkap terkonjugasi pada rantai utama K:KMS yang dapat menginduksi konduktivitas listrik (Zainuddin *et al*., 2018).

Perbedaan rasio K:KMS berimplikasi terhadap nilai voltase, arus, dan daya listrik *salt bridge* MFC. Gugus $-CH_2OH$ dalam karboksimetil selulosa dioksidasi menjadi -COOH (karboksil) dengan melepaskan ion hidronium (proton) dan mendapatkan oksigen dari asam. Variasi rasio K:KMS pada jembatan garam menyebabkan mobilitas elektron berbeda-beda.

Fluktuasi aliran listrik terjadi dapat karena interaksi ion dalam ruang anoda dan katoda. Ion-ion Na^+ dan Cl^- dalam larutan limbah cair pindang ikan dapat mengganggu aliran H_3O^+ ke ruang katoda (Hassan *et al*. 2016). Penurunan atau peningkatan elektrisitas (kuat arus dan tegangan listrik) memiliki hubungan dengan TEA (*Terminal Electron Acceptor*) seperti oksigen, nitrit, nitrat, dan sulfat yang berdifusi melalui sel (Logan *et al*., 2005). Elektron tersebut ditangkap oleh anoda dan proton menuju katoda sehingga menghasilkan biolistrik. Ketidakseimbangan konsentrasi proton dalam sistem MFC yang menyebabkan fluktuasi arus (Hassan *et al*., 2016). Rasio K:KMS terbaik adalah 0,5:1 karena menghasilkan daya listrik terbesar dibandingkan perlakuan lainnya.

KESIMPULAN

Limbah cair pindang ikan mampu menghasilkan listrik melalui konfigurasi *salt bridge* MFC. Rasio K:KMS terbaik adalah 0,5:1 dengan nilai rata-rata daya listrik yang dihasilkan sebesar 0,85±0,06 mW, nilai rata-rata tegangan listrik 0,79±0,04 V, dan nilai rata-rata kuat arus 1,22±0,13 mA. Energi listrik yang dihasilkan sistem MFC ini didapatkan dari pemecahan substrat organik, sehingga menurunkan nilai, BOD, dan TAN limbah cair proses pemindangan ikan. Nilai pH pada limbah cair pindang ikan setelah pengoperasian *salt bridge* MFC meningkat hingga 8,2—8,6.

DAFTAR PUSTAKA

Apse-Apsitis, P., Vitols, K., Grinfogels, E., Senfelds, A., & Avotins, A. (2018). Electricity meter sensitivity and precision measurements and research on influencing factors for the meter measurements. *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*. 7(2), 48—52.

Akaluka, C. K., Orji, J. C, Braide, W., Egbadon, E. O., & Adeleye, S. A. (2016). Abattoir wastewater treatment and energy recovery using a ferricyanide-catholyte microbial fuel cell. *International Letters of*

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Natural Sciences. 55, 68—76.

Barbosa, J. A., Abdelsadig, M.S., Conway, B.R., & Merchant, H.A. (2019). Using zeta potential to study the ionisation behaviour of polymers employed in modified-release dosage forms and estimating their pKa. *International Journal of Pharmaceutics X*. 24(1), 1—11.

Badan Pusat Statistik. (2020). Statistik Lingkungan Hidup Indonesia: Air dan Lingkungan.

Cai, T., Yang, Z., Li, H., Yang, H., Li, A., & Cheng, R. (2013). Effect of hydrolysis degree of hydrolyzed polyacrylamide grafted carboxymethyl cellulose on dye removal efficiency. *Cellulose*. 20(5), 2605—2614.

Chowdhury, P., Viraraghavan, T., & Srinivasan, A. 2010, Biological treatment processes for fish processing wastewater. *Bioresource Technology*. 101:439—449.

Christwardana, M., Handayani, A. S., & Yudianti, R. (2020). Cellulose–carrageenan coated carbon felt as potential anode structure for yeast microbial fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1(1), 1—11.

Das D. (2018). Microbial Fuel Cell: A *Bioelectrochemical System that Converts Waste to Watts*. Springer.

Dewan Energi Nasional. (2019). Outlook Energi Indonesia (OEI) 2019. https://www.esdm.go.id.

Di Palma, L., Bavasso, I., Sarasini, F., Tirillò, J., Puglia, D., Dominici, F., Torre, L.. (2018). Synthesis, characterization and performance evaluation of Fe_3O4/PES nano composite membranes for microbial fuel cell. *European Polymer Journal*. 99, 222—229.

Drisya, C. M., & Manjunath, N. T. (2017). Impact of nanoparticl e incorporated *salt bridge* on bioelectricity production and treatment efficiency of microbial fuel cell. *International Journal for Scientific Research and Development*. 5(6), 2104—2107.

Fan, L., Shi, J., & Xi, Y. (2020). PVDF-modified Nafion membrane for improved performance of MFC. *Membranes*. 10(8), 1—14.

Hassan, H., Jin, B., Dai, S., Ma, T., & Saint, C. (2016). Chemical impact of catholytes on Bacillus subtilis-catalysed microbial fuel cell performance for degrading 2, 4-dichlorophenol. *Chemical Engineering Journal*. 301, 103—114.

He, Z., Huang, Y., Manohar, A. K., & Mansfeld, F. (2008). Effect of electrolyte pH on the rate of the anodic and cathodic reactions in an air-cathode microbial fuel cell. *Bioelectrochemistry*. 74, 78—82.

Hermayanti, A., & Nugraha, I. (2014). Potensi perolehan energi listrik dari limbah cair industri tahu dengan metode *salt bridge* microbial fuel cell. *Sains Dasar*. 3(2), 162—168.

Huang, S., Zhu, G., & Gu, X. (2020). The relationship between energy production and simultaneous nitrification and denitrification via bioelectric derivation of microbial fuel cells at different anode numbers. *Environmental Research*. 184:1—7.

Ibrahim, B., Salamah, E., & Alwinsyah, R. (2014). Pembangkit biolistrik dari limbah cair industri perikanan menggunakan microbial fuel cell dengan jumlah elektroda yang berbeda. *Jurnal Dinamika Maritim*. 4(1), 1—9.

Ibrahim, B., Suptijah, P., & Adzani, Z. N. (2017). Kinerja microbial fuel cell penghasil biolistrik dengan perbedaan jenis elektroda pada limbah cair industri perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 20(2), 296—304.

Ibrahim, B., Uju, & Soleh, A. M. (2020). Kinerja membran komposit kitosan-karagenan pada sistem microbial fuel cell dalam menghasilkan biolistrik dari limbah pemindangan ikan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 23(1), 137—146.

Jatoi, A. S., Baloch, A. G., Jadhav, A., Nizamuddin, S., Aziz, S., Soomro, S. A., Nazir, I., Abro, M., Baloch, H. A., Ahmed, J., & Mubarak, N. M. (2020). Improving fermentation industry sludge treatment as well as energy production with constructed dual chamber microbial fuel cell. *Springer Nature Applied* Sciences. 2(1), 2—9.

Jatoi, A. S., Mahar, H., Aziz, S., Siddique, M., Memon, F., Malik, A. A., Hussain, S., & Kakar, E. (2016). To investigate the optimized conditions of *salt bridge* for bio-electricity generation from distillery waste water using microbial fuel cell. *NUST Journal of Engineering Sciences*. 9(2), 29—34.

Kaushik, A., & Chetal, A. (2013). Power generation in microbial fuel cell fed with post methanation distillery effluent as a function of pH microenvironment. *Bioresource Technology*. 147, 77—83.

Kementerian Lingkungan Hidup. (2014). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.

Kim, T., An, J., Lee, H., Jang, J. K., & Chang, I. S. (2016). pH-dependent ammonia removal pathways in microbial fuel cell system. *Bioresource Technology*. 215, 290—295.

Kreiter, J., & Pohl, E. E. (2019). A micro-agar *salt bridge* electrode for analyzing the proton turnover rate of recombinant membrane proteins. *Journal of Visualized Experiments*. 143, 1—6.

Li, N., Gao, B., Yang, R., & Yang, H. (2022). Simple fabrication of carboxymethyl cellulose and κ-carrageenan composite aerogel with efficient performance in removal of fluoroquinolone antibiotics from water. *Front. Environ. Sci. Eng.* 16, 133 (2022). https://doi.org/10.1007/s11783-022-1568-x.

Logan, B. E., Murano, C., Scott, K., Gray, N. D., & Head, I. M. (2005). Electricity generation from cysteine in a microbial fuel cell. *Water Research*. 39(5), 942—952.

Mbarek, M. B., Saidi, K., & Rahman, M. M. (2018). Renewable and non-renewable energy consumption, environmental degradation and economic growth in Tunisia. *Quality & Quantity*. 52(3), 1105—1119.

Mook, W. T., Chakrabarti, M. H., Aroua, M. K., Khan, G. M. A., Ali, B. S., Islam, M. S., & Hassan, M. A. (2012). Removal of total ammonia nitrogen (TAN), nitrate and total organic carbon (TOC) from aquaculture wastewater using electrochemical technology: A review. *Desalination*. 285, 1—13.

Naik, S., & Jujjavarappu, E. S. (2018). Simultaneous bioelectricity generation from cost-effective MFC and water treatment using various wastewater samples. *Environmental Science and Pollution Research*. 27(22), 27383—27393.

Parkash, A., Aziz, S., & Soomro, S. A. (2015). Impact of salt concentrations on electricity generation using hostel sludge based duel chambered microbial fuel cell. *Journal Bioprocess Biotech*. 5(8), 1—6.

Peighambardoust, S. J., Rowshanzamir, S., & Amjadi, M. (2010). Review of the proton exchange membranes for fuel cell applications. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35, 9349—9384.

Purwono, Hermawan, & Hadiyanto. (2015). Penggunaan teknologi reaktor microbial fuel cell dalam pengolahan limbah cair industri tahu untuk menghasilkan energi listrik. *Jurnal Presipitasi*. 12(2), 57—65.

Rabaia, M. K. H., Abdelkareem, M. A., Sayed, E. T., Elsaid, K., Chae, K. J., Wilberforce, T., & Olabi, A. G. (2021). Environmental impacts of solar energy systems: A review. *Science of the Total Environment*. 754:1—19.

Retnosari, A. A., & Shovitri, M. (2013). Kemampuan isolat *Bacillus* sp. dalam mendegradasi limbah tangki septik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 2(1), 7-11.

Sapsford, K. E., Tyner, K. M., Dair, B. J., Deschamps, J. R., & Medintz, I. L. (2011). Analyzing nanomaterial bioconjugates: a review of current and emerging purification and characterization techniques. *Analytical Chemistry*. 83(12), 4453—4488.

Sivakumar, D. (2021). Wastewater treatment and bioelectricity production in microbial fuel cell: *salt bridge* configurations. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 18(6), 1379-1394.

Türker, O. C., & Yakar, A. (2017). A hybrid constructed wetland combined with microbial fuel cell for boron (B) removal and bioelectric production. *Ecological Engineering*. 102, 411—421.

Uddin, S. S., Roni, K. S., & Shatil, A. H. M.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

(2016). Double compartment microbial fuel cell design using salt bridge as a membrane with sucrose and starch as a substrate. *International Conference on Electrical, Computer & Telecommunication Engineering*. 1(1), 1—4.

Wang, J., Song, X., Wang, Y., Abayneh, B., Li, Y., Yan, D., & Bai, J. (2016). Nitrate removal and bioenergy production in constructed wetland coupled with microbial fuel cell: Establishment of electrochemically active bacteria community on anode. *Bioresource Technology*. 221, 358—365.

Zainuddin, N.K., Saadiah, M. A., Abdul Majeed, A. P. P., & Samsudin, A. S. (2018). Characterization on conduction properties of carboxymethyl cellulose/ kappa carrageenan blend-based polymer electrolyte system. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*. 23(4), 321—330.

Zhang, Y., Xu, Q., Huang, G., Zhang, L., & Liu, Y. (2020). Effect of dissolved oxygen concentration on nitrogen removal and electricity generation in self pH-buffer microbial fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. 45(58), 34099—34109.

FIGURE AND TABLE TITLES

Figure 1 Characteristics of fish boiled processing wastewater and active sludge

Figure 2 Electrical voltage of salt bridge MFC with different K:KMS ratio; (◆) 1:1; (●) 0,6:1; (■) 0,5:1; (—)polinom 1:1; (—) polinom 0,6:1, (—) polinom 0,5:1. R^2 shows the determination of coefficient

Figure 3 Electrical current of salt bridge MFC with different K:KMS ratio; (◆) 1:1; (●) 0,6:1; (■) 0,5:1; (—)polinom 1:1; (—) polinom 0,6:1, (—) polinom 0,5:1. R^2 shows the determination of coefficient

Figure 4 Electrical power of salt bridge MFC with different K:KMS ratio; (◆) 1:1; (●) 0,6:1; (■) 0,5:1; (—)polinom 1:1; (—) polinom 0,6:1, (—) polinom 0,5:1. R^2 shows the determination of coefficient

Table 1 The scheme of salt bridge MFC prototype

Copyright of Indonesian Fisheries Processing Journal / Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia is the property of IPB University and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Legislasi Hijau Regional (Regional Green Legislation) untuk Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan Sektor Energi 2030

Zuhda Mila Fitrana[1], Dhea Veranica Isabella, dan Lupita Sari[2]

Abstrak

Perlindungan lingkungan serta, perkembangan sosial adalah dua hal yang harus ada seiring pertumbuhan ekonomi untuk pencapaian pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Sejak 2015, dalam rangka menyambut ambisi Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB 2030) Nomor 7 tentang energi, diperlukan kerja sama yang baik antara pemerintah pusat dan daerah dalam kebijakan pemerintah agar sesuai dengan asas pertanggungjawaban negara dan asas otonomi daerah. Pemerintah daerah berwenang untuk berperan mulai dari proses perencanaan, penyusunan strategi, penyusunan kebijakan hingga penerbitan izin. Oleh karenanya, pemerintah daerah memiliki peran penting dalam mewujudkan legislasi hijau regional untuk mencapai TPB 2030 nomor 7. Melalui analisis normatif, tulisan ini menghasilkan bahwa, telah adanya dasar hukum peran dan kewenangan pemerintah daerah berkontribusi dalam legislasi hijau regional.

Kata Kunci: legislasi hijau regional, TPB 2030 Nomor 7, Pemerintah Daerah..

Abstract

Environmental protection and social progress are components that must be attached alongside economic development to achieve sustainable development in Indonesia. Since 2015, to achieve the number 7 sustainable development goals (2030 SDG) about energy, those needs good coordination between the central government and regional governments in meaning to construct a government policy so it could be compatible with the state responsibility principle and regional autonomy principle. The regional government is authorized to do the planning, construct the strategy and policy and also authorize to release the permit. Thus, the regional government has an important role to achieve green legislation to embody 2030 SDG number 7. Using normative analysis, this article results that there are regulations that order the regional government authorization to contribute to green legislation.

Keywords: *green legislation, SDGs number 7, regional government.*

[1] Penulis merupakan Dosen Program Studi Hukum Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, korespondensi ke zuhda.mila.ih@upnjatim.ac.id

[2] Penulis merupakan Mahasiswa Program Studi Hukum Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, korespondensi ke 20071010291@student.upnjatim.ac.id & 20071010041@student.upnjatim.ac.id

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

I. Pendahuluan

Hubungan antara pembangunan ekonomi dan pemanfaatan lingkungan hidup melalui kegiatan investasi adalah sebuah keniscayaan yang tidak dapat dihindarkan.[3] Salah satu bentuk aktivitas investasi dalam hal ini adalah eksplorasi sumber daya alam (SDA) sebagai sumber energi tak terbarukan. Energi tak terbarukan berdasarkan Pasal 1 angka 8-9 UU Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi (UU Energi) merupakan energi yang berasal dari sumber energi tak terbarukan yakni, sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang akan habis jika terus menerus dieksploitasi. Energi tak terbarukan antara lain minyak dan gas bumi, batu bara, gambut serta, serpih bitumen.

Energi tak terbarukan merupakan salah satu sumber utama pendapatan negara sehingga memiliki kekuatan politis yang cukup signifikan, termasuk dalam proses perancangan peraturan perundang-undangannya.[4] Tulisan ini akan fokus membahas mengenai energi tak terbarukan sebagai sumber daya minerba dalam pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan 2030 Nomor 7 (TPB 2030 No. 7) yang akan dibahas lebih lanjut di bawah.

Berkaitan dengan energi tak terbarukan sebagai sumber pendapatan utama negara, keseimbangan antara kebutuhan pembangunan ekonomi negara, dan upaya menjaga kelestarian lingkungan menjadi isu penting.[5] Sebuah konsep yang dikenal dengan pembangunan berkelanjutan mengintegrasikan keseimbangan tiga

[3] Oluwabunmi O. Adejumo, "Growth Limits: A Conceptual Analysis for Sustainable Development in Nigeria," *SAGE Open* 10, No. 2 (2020); Mohamad Mova Al'afghani and Bisariyadi Bisariyadi, "Konsep Regulasi Berbasis Risiko: Telaah Kritis Dalam Penerapannya Pada Undang-Undang Cipta Kerja," *Jurnal Konstitusi* 18, No. 1 (2021), hlm. 66; Shashwat Koirala and OECD, "SMEs: Key Drivers of Green and Inclusive Growth OECD Green Growth And Sustainable Development Forum" (2018).

[4] Newswire, "Jadi Sumber Penerimaan Negara, Pemerintah Diminta Utamakan Hulu Migas untuk Transisi Energi," https://ekonomi.bisnis.com/read/20211123/44/1469202/jadi-sumber-penerimaan-negara-pemerintah-diminta-utamakan-hulu-migas-untuk-transisi-energi, diakses pada 3 Agustus 2022.

[5] Rusli Zaili, Adianto, dan Dadang Mashur, *Pembangunan Berkelanjutan Dalam Bingkai Otonomi Daerah*, (Pekanbaru: Taman Karya, 2020), hlm. 11.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dimensi yakni pertumbuhan ekonomi, perkembangan sosial dan perlindungan lingkungan hidup.[6] Konsep pembangunan berkelanjutan mendorong pembentukan konsep legislasi hijau (*green legislation*), yakni pengaturan aspek-aspek pembangunan dan ekonomi berbasis lingkungan, yang bersifat responsif terhadap perlindungan fungsi lingkungan di masa mendatang.[7]

Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) telah menyusun strategi Tujuan Pembangunan Berkelanjutan untuk dicapai negara anggota termasuk Indonesia di tahun 2030 (TPB 2030).[8] TPB 2030 nomor 7 tentang Energi (TPB 2030 No. 7) relevan dengan Pasal 33 ayat (3) dan ayat (4) konstitusi Indonesia yakni Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 (UUD NRI 1945).[9] Selanjutnya, konsep TPB 2030 diatur melalui Peraturan Presiden Nomor 59 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Perpres TPB).

Pasal 2 ayat (1) Perpres TPB mengatur bahwa, Perpres TPB menetapkan sasaran nasional periode 2017-2019 dalam RPJMN (Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional) 2015-2019 yang selaras dengan TPB 2030. Walaupun hanya

---

[6] Perserikatan Bangsa-Bangsa, *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*, A/RES/70/1, Para 2. Lihat juga: R. B. Johnston, "Arsenic and the 2030 Agenda for Sustainable Development," *Arsenic Research and Global Sustainability - Proceedings of the 6th International Congress on Arsenic in the Environment, AS 2016* (2016), hlm. 12–14. Lihat juga: Asian Development Bank, *World Sustainable Development Timeline*, (Maret 2012).

[7] I Gusti Ayu Ketut Rachmi Handayani, "Pembentukan Peraturan Daerah Berbasis Lingkungan Dalam Rangka Mewujudkan Praktik-Praktik Good Governance di Daerah," *Yustisia Jurnal Hukum* 2, No. 1 (2013), hlm. 66–73.

[8] Perserikatan Bangsa-Bangsa.

[9] Victor Imanuel Williamson Nalle, "Hak Menguasai Negara Atas Mineral dan Batubara Pasca Berlakunya Undang-Undang Minerba," *Jurnal Konstitusi* Vol. 9, No. 4 (2012), hlm. 474. Peran pemerintah dalam mewujudkan tujuan pembangunan ini dikategorikan sebagai fungsi pembangunan yang melekat pada pemerintah sejak dekade 70-90an. Salah satu praktiknya adalah pemerintah merancang peraturan perundang-undangan atau kebijakan yang sejalan dengan proses pembangunan nasional R.M. Girindro Pringgodigdo, "Pemerintahan dan Masalah Pelaksanaan atau Penerapan Peraturan Perundang-Undangan," *Jurnal Hukum & Pembangunan*, Vol. 24, No. 1 (1994), hlm. 1.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sampai dengan 2019, hingga saat ini belum ada peraturan perundang-undangan yang menggantikan Perpers TPB sedangkan, dalam Pasal 22 Perpres TPB diatur bahwa peraturan presiden ini berlaku selama belum ada peraturan yang menggantikan.[10] Sehingga, Perpres TPB masih menjadi acuan hukum yang valid.

Selanjutnya, Pasal 3 huruf a Perpres TPB mengatur sasaran nasional digunakan sebagai pedoman untuk menyusun, melaksanakan, memantau dan evaluasi Rencana Aksi Nasional (RAN) TPB bagi pemerintah pusat dalam hal ini kementerian, dan Rencana Aksi Daerah (RAD) bagi pemerintah daerah. Berkaitan dengan arahan tersebut, demi mencapai TPB 2030 No. 7, pemerintah memerlukan beberapa strategi pendukung. Salah satu strateginya adalah melakukan integrasi pengaturan mulai dari perencanaan hingga penegakan hukum antara pemerintah pusat dan daerah dengan baik serta berbasis perlindungan lingkungan hidup.[11]

Strategi pendukung tersebut harus menerapkan asas pertanggungjawaban negara dan asas otonomi daerah sebagaimana masing—masing termuat dalam Pasal 2 huruf a dan Pasal 2 huruf n UU Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (UU PPLH) yang sebagian telah diubah melalui UU Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja (UU Ciptaker). Kemudian, Pasal 3 UU PPLH mengatur mengenai tujuan-tujuan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup yang harus dicapai seiring pencapaian TPB 2030 No. 7.

Lebih lanjut, dengan diadopsinya TPB 2030 No. 7 dan Pasal 2 huruf a dan n UU PPLH, mengantarkan pemerintah untuk menyusun konsep legislasi hijau daerah/regional. Konsep legislasi hijau regional adalah adaptasi dari konsep konstitusi hijau yang menjunjung prinsip hijau. Prinsip ini dimaknai

[10] Indonesia, *Peraturan Presiden Tujuan Pembangunan Berkelanjutan,* Perpres No. 59 Tahun 2017, LN 136 Tahun 2017, Ps. 22.

[11] Bappenas, "Sekilas SDGs," https://sdgs.bappenas.go.id/sekilas-sdgs/, diakses pada 3 Agustus 2022.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sebuah prinsip yang berkomitmen terhadap lingkungan dan meletakkannya dalam aktivitas pembangunan, perancangan, produksi, tata laksana kerja dan cara hidup. Sehingga, konsep legislasi hijau regional adalah sebuah konsep perumusan, perencanaan dan penegakan hukum berprinsip hijau dalam tataran regional atau daerah.[12] Salah satu konsep legislasi hijau daerah di bidang lingkungan hidup, tertuang dan Pasal 15 ayat (1) UU PPLH. Pasal 15 ayat (1) UU PPLH mengatur untuk pemerintah pusat dan daerah membuat instrumen Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) yang merupakan kebijakan dalam bentuk instrumen pencegahan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup sebagaimana ketentuan Pasal 14 huruf a UU PPLH. Model peraturan atau kebijakan daerah yang menggambarkan konsep hijau harus tercitrakan dari setiap tahapan pembentukannya dan substansinya. Berkaitan dengan instrumen legislasi hijau, semakin detail instrumen yang digunakan, maka semakin baik bagi ketercapaian TPB 2030.

Dengan demikian, pemerintah pusat dan daerah berdasarkan Pasal 33 ayat (3) UUD NRI 1945 jo. Pasal 2 huruf a dan huruf n jo. Pasal 3 UU PPLH, bertanggungjawab untuk memastikan perlindungan dan pengelolaan lingkungan dari pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang utamanya diakibatkan oleh aktivitas usaha, seperti kegiatan usaha energi tak terbarukan dalam kerangka mencapai TPB 2030 No 7. Salah satu contoh kegiatan usaha energi tak terbarukan adalah pemanfaatan sumber daya alam mineral dan batu bara sebagai sumber energi nasional. Dalam hal itu pula, legislasi hijau juga harus diterapkan.[13]

UU Energi dan UU Minerba juga menerapkan asas pertanggungjawaban

[12] Eko Nurmardiansyah, "Konsep Hijau: Penerapan Green Constitution dan Green Legislation Dalam Rangka Eco-Democracy," *Veritas et Justitia* 1, No. 1 (2015), hlm. 183–219.

[13] Prue Taylor, "State Responsibility for Environmental Harm," dalam *An Ecological Approach to International Law,* (New York: Routledge, 1998), hlm. 75–157. Lihat juga: Sudi Fahmi, "Asas Tanggung Jawab Negara Sebagai Dasar Pelaksanaan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup," *Jurnal Hukum Ius Quia Iustum* 18, No. 2 (2011), hlm. 212–228.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

negara dan otonomi daerah dalam pengelolaan energi tak terbarukan salah satunya dalam hal, pertambangan minerba. Hal tersebut menjadi peluang penerapan legislasi hijau daerah. Penerapan tersebut akan dibahas lebih lanjut pada bagian pembahasan

Menimbang strategisnya peran pemerintah daerah dalam pengelolaan energi, tulisan ini bertujuan membahas model legislasi daerah yang mengakomodir konsep legislasi hijau regional untuk mendukung keterwujudan TPB 2030 No. 7 tentang energi. Tulisan ini dibagi menjadi beberapa bagian yaitu pendahuluan sebagaimana terjabar di atas, pembahasan berisikan (1) pembahasan mengenai asas pertanggungjawaban negara dan asas otonomi daerah dalam pengelolaan minerba; (2) analisis penerapan legislasi hijau regional dalam pengelolaan minerba di daerah untuk mendukung TPB 2030 No. 7 tentang Energi. Tulisan ini ditutup dengan kesimpulan berdasarkan hasil analisis mengenai penerapan legislasi hijau dalam tataran normatif daerah untuk pengelolaan minerba.

II. Penerapan Asas Pertanggungjawaban Negara dan Asas Otonomi Daerah dalam Legislasi Hijau Regional untuk Mendukung Pencapaian TPB 2030 Nomor 7 tentang Energi

Bertujuan mengetahui pencapaian TPB 2030 No. 7 melalui legislasi hijau regional maka diperlukan beberapa analisis hukum normatif. Pertama yang perlu diketahui adalah asas pertanggungjawaban negara dan asas otonomi daerah yang harus diterapkan dalam pengelolaan energi untuk mendukung mencapai TPB 2030 No. 7. Kemudian, setelah menemukan jawaban atas penerapan asas pertanggungjawaban negara dan asas otonomi minerba dalam tataran normatif pengelolaan minerba, analisis selanjutnya adalah, model legislasi hijau regional untuk mendukung pencapaian TPB 2030 No. 7.

A. Asas Pertanggungjawaban Negara dan Asas Otonomi Daerah dalam Peraturan Perundang-Undangan di Bidang Pengelolaan Minerba

Asas pertanggungjawaban negara dan asas otonomi daerah sebagaimana ketentuan Pasal 2 huruf a dan huruf n

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

UU PPLH adalah asas penting yang dapat digunakan untuk menentukan urgensi pengaturan yang merupakan kewenangan pemerintah daerah dalam pengelolaan SDA. Pengelolaan SDA tersebut termasuk sumber daya minerba, untuk mewujudkan legislasi hijau regional.[14]

1. Asas Pertanggungjawaban Negara

Dalam hukum internasional, asas pertanggungjawaban negara (*state responsibility*) merupakan prinsip dasar yang lahir dari sifat sistem hukum internasional dan doktrin kedaulatan serta kesetaraan masing-masing negara.[15] Tiga hal yang melekat pada negara didasarkan pada doktrin kedaulatan dan kesetaraan adalah: a) yurisdiksi atas wilayah dan penduduk tetap di dalamnya; b) larangan untuk intervensi di teritorial negara lain; dan c) berpedoman atas sumber hukum yang telah disepakati, termasuk perjanjian internasional.[16] Oleh karena ketentuan tersebut merupakan hukum kebiasaan internasional, negara melalui pemerintahnya, wajib bertanggungjawab untuk melindungi wilayah yurisdiksinya, mencegah intervensi negara lain dan menaati perjanjian internasional yang telah disepakatinya.[17]

Indonesia yang terikat dengan asas pertanggung jawaban negara sebagai prinsip lingkungan internasional, wajib menyesuaikan diri dengan peraturan internasional dalam hal proteksi dan pengelolaan lingkungan agar sejalan dengan agenda internasional. Indonesia wajib membuat, mengadopsi dan mengimplementasikan prinsip-prinsip hukum internasional dan melibatkan subjek hukum internasional lainnya dalam proses ini.[18] Indonesia dalam hal asas pertanggungjawaban negara

[14] Sudi Fahmi, "Asas Tanggung Jawab Negara Sebagai Dasar Pelaksanaan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup", *Jurnal Hukum,* No. 2 Vol. 18, (2011), hlm. 212 – 228.

[15] Phillipe Sands, *et.al.*, *Principles of International Environmental Law: Third Edition,* (New York: Cambridge University Press, 2012), hlm. 11.

[16] Malcolm N Shaw, *International Law*, (New York: Cambridge University Press. 2017), hlm. 35.

[17] *Ibid.*

[18] *Ibid.*, hlm. 144, 396, 700, 712, 717-720.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mengadopsinya melalui Pasal 2 huruf a UU PPLH.

Adopsi asas pertanggungjawaban negara dalam Pasal 2 huruf a UU PPLH memiliki dasar konstitusional. Pasal 1 ayat (1) UUD NRI 1945 menegaskan bentuk Negara Indonesia adalah negara kesatuan.[19] Konsep Negara kesatuan NKRI direformasi menjadi Negara kesatuan desentralistik yang sebagian kewenangan pusat didelegasikan dan didistribusikan kepada pemerintah daerah berdasarkan prinsip otonomi.[20]

Selanjutnya, keterkaitan pertanggungjawaban negara, asas otonomi daerah termuat dalam Pasal 18 dan 18A UUD NRI 1945. Pasal 18 dan Pasal 18A UUD NRI 1945 menegaskan bahwa NKRI dibagi menjadi beberapa daerah baik tingkat I maupun II yang masing-masingnya memiliki pemerintah daerah. Dalam menjalankan fungsi dan wewenang antara pemerintah pusat dan daerah harus memperhatikan kekhususan daerahnya secara adil dan selaras. Pasal 18 dan Pasal 18A UUD NRI 1945 relevan dengan status hierarki bahwa pemerintah daerah merupakan perwakilan pemerintah pusat di daerah dalam melaksanakan urusan-urusan yang menjadi urusannya berdasarkan peraturan perundang-undangan.[21] Terkait asas penerapan asas otonomi daerah akan dibahas lebih lanjut pada sub bab selanjutnya.

Kembali membahas mengenai asas pertanggung jawaban negara, asas pertanggungjawaban negara diterapkan peraturan perundang-undangan di bidang energi tak terbarukan yang merupakan lingkup besar dari kegiatan pertambangan. Pasal 2 UU Energi menerapkan Pasal 33 ayat (3) UUD NRI 1945 sebagai asas dan tujuan pengelolaan energi. Ketentuan ini, selain menerapkan Pasal 33 ayat (3) UUD NRI 1945 juga selaras dengan

[19] Mahmuzar, "Model Negara Kesatuan Republik Indonesia di Era Reformasi," *Jurnal Hukum & Pembangunan,* Vol. 50, No. 2 (2020), hlm. 302.

[20] *Ibid.*

[21] Richard Timotius, "Revitalisasi Desa Dalam Konstelasi Desentralisasi Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2014 Tentang Desa," *Jurnal Hukum & Pembangunan,* Vol 48, No. 2 (2018), hlm. 323–344.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

penerapan asas pertanggungjawaban negara sebagaimana termuat dalam Pasal 2 huruf a UU PPLH.

Lebih khusus di bidang pengelolaan minerba, terdapat ketentuan yang mencerminkan keterkaitan antara asas pertanggungjawaban negara dengan asas otonomi daerah. Pasal 35 ayat (4) UU Minerba jo. Pasal 6 ayat (5) Peraturan Pemerintah Nomor 96 Tahun 2021 tentang Pelaksanaan Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara (PP Pertambangan Minerba), mengatur pemerintah daerah menerima delegasi kewenangan pemberian perizinan berusaha pertambangan dari pemerintah pusat. Dalam melaksanakan urusan tersebut, pemerintah daerah berperan sebagai bagian pemerintah pusat yang melekat padanya asas tanggung jawab negara. Oleh karena itu, pemerintah daerah dalam mengeluarkan izin, merancang strategi pembangunan ekonomi dan politik pertambangan, serta menentukan wilayah pertambangan (WP) harus mencerminkan fungsinya sebagai kepanjangan tangan pemerintah pusat.

Tujuan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup serta pemanfaatan sumber daya alam untuk kesejahteraan umum akan tercapai apabila pemerintah baik pemerintah pusat dan pemerintah daerah berkoordinasi dalam melaksanakan asas tanggung jawab negara.[22] Keterlibatan pemerintah daerah dalam menerapkan asas pertanggungjawaban negara adalah konsekuensi dari asas otonomi daerah dan sistem desentralisasi yang diterapkan di Indonesia.

Asas pertanggungjawaban negara tidak hanya menjadi dasar bagi penegakan hukum atas adanya dampak lingkungan lintas batas yurisdiksi, namun juga termasuk mengatur tindakan pencegahan, misalnya bagaimana pemerintah setempat mengatur prosedur lingkungan untuk mencegah pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan akibat pertambangan.[23] Pemerintah pusat

[22] Sudi Fahmi.

[23] Jutta Brunnée, "Harm Prevention" dalam *The Oxford Handbook of International Environment Law*, *ed.* Lavanya Rajamani and Jacqueline Peel, Second, (Oxford: Oxford University Press, 2017), hlm 278.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dengan pemerintah daerah menerapkan instrumen-instrumen pencegahan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang termuat dalam Pasal 14 jo. Pasal 13 ayat (2) UU PPLH. Lebih khusus untuk bidang minerba, termuat dalam Pasal 70 huruf c UU Minerba.

Selanjutnya, bicara mengenai asas pertanggungjawaban negara dan pencapaian TPB 2030 Nomor 7, dalam menegakkan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan sebagaimana ketentuan Pasal 4 UU PPLH, negara memiliki tanggung jawab untuk menjamin perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup yang merujuk pada fungsinya sebagai negara. Hal ini meliputi: a) perencanaan; b) pemanfaatan; c) pengendalian; d) pemeliharaan; e) pengawasan; dan f) penegakan hukum.

Kemudian, pertanggungjawaban negara dalam pencapaian TPB 2030 No. 7 adalah, sebagaimana Pasal 2 ayat (1) Perpres TPB, pemerintah membuat perencanaan aksi dalam bentuk Rencana Aksi Nasional dan Rencana Aksi Daerah. Perpres TPB menjadi dasar perencanaan, strategi dan proyek yang dikembangkan pemerintah pusat maupun daerah untuk melaksanakan pembangunan termasuk kegiatan pertambangan.[24]

Dengan demikian, asas pertanggungjawaban negara di bidang minerba diterapkan dalam Pasal 33 ayat (3) UUD NRI 1945, sedangkan keterkaitan asas pertanggungjawaban negara dengan asas otonomi daerah tercerminkan dalam Pasal 18 dan Pasal 18A UUD NRI 1945. Lebih lanjut, asas pertanggungjawaban negara diadopsi melalui Pasal 2 huruf a UU PPLH dan Pasal 2 UU Energi. Sedangkan asas pertanggungjawaban negara dalam kaitannya dengan otonomi daerah diterapkan dalam Pasal 35 ayat (4) UU Minerba jo. Pasal 6 ayat (5) PP Pertambangan Minerba yakni, pemerintah daerah menerima delegasi pemberian perizinan berusaha

[24] Kementerian PPN, "Peta Jalan Sustainable Development Goals (TPB) di Indonesia," *Kementerian PPN/Bappenas* (2017).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pertambangan. Asas pertanggungjawaban negara dalam mencapai TPB 2030 No. 7 juga termuat dalam Perpres TPB khususnya pada "Peta Jalan *Sustainable Development Goals* (TPB) Di Indonesia". Mengenai penerapan asas otonomi daerah pada peraturan perundang-undangan di bidang minerba akan dibahas lebih lanjut pada sub pembahasan berikutnya.

2. Asas Otonomi Daerah

Adanya asas otonomi daerah menjadikan penguasaan dan pengelolaan sumber daya minerba menjadi tidak hanya kewenangan pemerintah pusat namun menjadi kewenangan pemerintah provinsi dan kabupaten/kota sebagai bagian dari pemerintah daerah.[25] Otonomi daerah sebagai semangat desentralisasi merupakan amanat Pasal 18 dan Pasal 18A UUD NRI 1945. Ketentuan tersebut kemudian dikuatkan dengan Putusan MK No. 10/PUU-X/2012 yang menyuarakan pembagian urusan pemerintahan yang bersifat fakultatif berdasarkan semangat konstitusi yang memberikan otonomi seluas-luasnya kepada pemerintah daerah.[26]

Kedudukan pemerintah daerah untuk patuh terhadap prinsip pertanggungjawaban negara sebagaimana bahasan sub sebelumnya, terkait juga dengan otonomi daerah. Sebagai tambahan, Pasal 33 ayat (4) UUD NRI 1945 yang menetapkan pembangunan berkelanjutan juga perlu untuk diterapkan bersamaan dengan asas otonomi daerah untuk tercapainya TPB 2030. Oleh karenanya, supaya ketentuan dalam Pasal 33 ayat (3) dan ayat (4) jo. Pasal Pasal 18 dan Pasal 18A UUD NRI 1945 diterapkan termasuk dalam aktivitas eksplorasi minerba, maka pemerintah harus dapat mengakomodir kebutuhan hukum positif berbasis legislasi hijau dalam kebijakan daerah.

[25] Rika Putri Wulandari dan Muhammad Helmi Fahrozi, "Politik Hukum Pengalihan Izin Pertambangan Pada Pemerintah Pusat Terhadap Kewenangan Pemerintah Daerah," *SALAM: Jurnal Sosial dan Budaya Syar-i,* Vol. 8, No. 1 (2021), hlm. 191–206.

[26] *Ibid.*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Khusus mengenai otonomi daerah, pemerintah daerah dapat menjalankan fungsi pemerintahannya dengan melakukan pengaturan untuk urusan daerahnya sendiri.[27] Asas otonomi daerah merupakan konsekuensi atas implementasi desentralisasi di Indonesia. Baik desentralisasi politik maupun desentralisasi administratif setelah reformasi, yang melahirkan kewenangan pemerintah daerah untuk mengurus dan mengatur wilayahnya sendiri untuk urusan yang menjadi tanggung jawabnya.[28] Desentralisasi mengubah model kebijakan pemerintahan Indonesia, termasuk salah satunya dalam mengelola sumber daya alam minerba. Dalam konteks sumber daya mineral, dengan desentralisasi pemerintah daerah memiliki kewenangan mengelola sumber daya mineral, termasuk sebagai bahan baku produksi energi, sekaligus memiliki tanggung jawab untuk menjamin keberlanjutannya.[29]

Lebih lanjut, dapat diartikan bahwa asas otonomi daerah merupakan dasar pemerintah daerah untuk mengatur urusan pemerintahannya sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Sepanjang urusan pemerintah daerah tersebut masih dalam urusan yang menjadi bagian pemerintahan daerah sesuai peraturan perundang-undangan, dalam hal ini termasuk pengelolaan minerba.[30]

Berkaitan dengan hal di atas, kewenangan pemerintah daerah tak lain adalah produk dari asas otonomi daerah sebagaimana amanat Pasal 18 dan Pasal 18A UUD NRI 1945. Pengertian otonomi daerah dipertegas dalam Pasal 1 angka 67 UU Pemda jo. UU Ciptaker, bahwa otonomi daerah adalah asas yang menjadi dasar penyelenggaraan pemerintah daerah. Hal tersebut di bidang pengelolaan minerba, tertuang pada Pasal 35 ayat (4) UU Minerba jo.

[27] Rusli Zaili, Adianto, dan Dadang Mashur, hlm. 54.

[28] *Ibid.*

[29] Hadi Prayitno, *et., al.*, *Membongkar Harta Daerah: Analisis Kebijakan Anggaran Daerah Pengelolaan Hutan dan Lahan di 2 Provinsi dan 6 Kabupaten di Indonesia,* (Jakarta: Seknas FITRA, 2013).

[30] Utang Rosidin, "Partisipasi Masyarakat Desa dalam Proses Pembentukan Peraturan Desa yang Aspiratif," *Jurnal Bina Mulia Hukum,* Vol. 4, No. 105 (2019), hlm. 168-184.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pasal 6 ayat (5) PP Pertambangan Minerba yang mengatur tentang pemerintah daerah yang menerima delegasi pemberian perizinan berusaha minerba, dengan memperhatikan prinsip efektivitas, efisiensi, akuntabilitas, dan eksternalitas. Sehingga pada dasarnya, penerapan asas otonomi daerah dan asas pertanggungjawaban negara dalam UU Minerba diterapkan pada pasal yang sama karena memang kedua asas tersebut saling berkaitan. Lebih lengkapnya akan di bahas di bawah.

Sebelum bicara lebih lanjut terkait peraturan perundang-undangan di bidang minerba, maka perlu membahas penerapan asas otonomi daerah sebagaimana Pasal 2 huruf n UU PPLH, dalam ketentuan di UU Energi. Penerapan asas otonomi daerah dalam UU Energi termuat sebagai berikut ini: (a) menyediakan dana subsidi untuk kelompok masyarakat tidak mampu, dalam Pasal 7 ayat (2); (b) diikutsertakan dalam menyusun rencana umum energi nasional, dalam Pasal 17 ayat (2); (c) menyusun rencana umum energi daerah, dalam Pasal 18; (d) penyediaan energi, dalam Pasal 20-22; (e) konservasi energi, dalam Pasal 25.

Selanjutnya, dalam Pasal 26 ayat (2) UU Energi, pemerintah provinsi (pemprov) berwenang membuat peraturan daerah (perda) provinsi, pembinaan dan pengawasan pengusahaan serta penetapan kebijakan pengelolaan di lintas kabupaten/kota. Sedangkan Pasal 26 ayat (3) UU Energi memberi kewenangan pemerintah kabupaten/kota (pemkab/kot) atas kewenangan yang sama dengan pemprov namun, hanya di tingkat kabupaten/kota.

Kemudian, lebih khusus di bidang minerba, amanat Pasal 18 dan Pasal 18A jo. Pasal 33 ayat (3) dan ayat (4) UUD NRI 1945 dilaksanakan dalam bentuk rumusan peran pemerintah daerah sebagai pihak yang dapat menyelenggarakan kegiatan penguasaan atas sumber daya minerba melalui Pasal 4 UU Minerba. Pasal 4 jo. Pasal 35 ayat (4) UU Minerba mengatur sebagai berikut. Penguasaan minerba yang merupakan kekayaan nasional dilakukan oleh negara terutama oleh pemerintah pusat termasuk,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mendelegasikan kewenangan pemberian perizinan berusaha dari pemerintah pusat kepada pemerintah daerah. Penguasaan minerba oleh negara diperuntukkan untuk sebesar-besarnya kesejahteraan rakyat melalui fungsi kebijakan, pengaturan, pengurusan, pengelolaan dan pengawasan.

Selanjutnya, berdasarkan UU Minerba dan UU Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintah Daerah (UU Pemda) yang juga telah diubah melalui UU Ciptaker, kewenangan pemerintah kabupaten/kota dalam menerbitkan izin pertambangan dibatasi dan dikembalikan kepada pemerintah pusat dan provinsi. Hal tersebut sesuai Pasal 35 ayat (4) UU Minerba sebagaimana telah disebut di atas. Selain itu, ketentuan otonomi daerah juga termuat dalam Pasal Pasal 6 ayat (5) PP Pertambangan Minerba. Selanjutnya, Pasal 35 ayat (4) UU Minerba, terdapat kemungkinan pendelegasian kewenangan Perizinan Berusaha kepada Pemerintah Daerah Provinsi dari Pemerintah Pusat dalam hal Perizinan Berusaha. Penerapan asas otonomi daerah sebagai peluang legislasi hijau regional di bidang minerba akan dibahas lebih lanjut pada sub bab selanjutnya.

Lebih lanjut dalam kerangka TPB 2030 No. 7, dalam setiap strategi capaian TPB nasional, pemerintah daerah memiliki andil untuk membantu ketercapaiannya dengan mengimplementasikan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan. Terkait dengan hal tersebut, prinsip-prinsip tersebut telah dileburkan dalam peraturan Pasal 2, 3, dan 4 UU PPLH. Sementara itu, Agenda Nasional TPB 2030 sendiri telah diatur dalam Perpres TPB, sebagaimana telah dibahas di sub pembahasan sebelumnya. Sedangkan dalam Pasal 2 dan 3 UU Minerba, diatur bahwa pengelolaan minerba perlu diiringi dengan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

Masih terkait dengan TPB 2030 No. 7 dan asas otonomi daerah, wawasan lingkungan dan pelaksanaan pembangunan berbasis prinsip berkelanjutan yang memberikan manfaat secara ekonomis sebagaimana pengaturan Pasal 33 ayat (3) dan ayat (4)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

jo. Pasal 18 ayat (1) dan (2) UUD NRI 1945. Hal ini menunjukkan bahwa pada dasarnya, prinsip ini telah menjadi fokus pemerintah untuk menjamin keseimbangan antara kemajuan dan kesatuan ekonomi nasional termasuk dalam konsep otonomi daerah dan pembangunan berkelanjutan. Konsep tersebut menempatkan prioritas politik pembangunan nasional pada arah sejalan dengan TPB 2030 No. 7 yang juga termuat dalam Lampiran Nomor 7 Perpres TPB.

Dengan demikian, maka asas otonomi daerah sebagaimana Pasal 18 dan Pasal 18A jo. Pasal 33 ayat (3)-(4) UUD NRI 1945 telah diterapkan dalam peraturan perundang-undangan di bidang energi khususnya pertambangan minerba. Ketentuan tersebut termuat dalam Pasal 35 ayat (4) UU Minerba jo. Pasal 6 ayat (5) PP Pertambangan Minerba. Ketentuan tersebut juga selaras dengan asas otonomi daerah dalam Pasal 2 huruf n UU PPLH. Penerapan asas otonomi daerah juga sudah sesuai dengan tujuan pencapaian TPB 2030 No. 7 yang telah diatur lebih khusus dalam Perpres TPB dan telah diintegrasikan dengan sasaran nasional. Serta berdasarkan analisis sub bab ini, langkah untuk mencapai TPB 2030 No. 7 sudah sesuai dengan peraturan perundang-undangan di bidang minerba. Sub pembahasan selanjutnya akan menganalisis peluang penerapan legislasi hijau regional dengan adanya ketentuan kewenangan pemerintah daerah tersebut di atas sebagai penerapan dari asas otonomi daerah.

B. Model Legislasi Hijau Regional untuk mendukung Pencapaian TPB 2030 Nomor 7 tentang Energi

Peraturan Daerah adalah produk hukum atau legislasi yang dihasilkan oleh kekuasaan eksekutif dan legislatif daerah sebagaimana ketentuan Pasal 1 angka 7 dan 8 UU Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan (UU Perpu). Peraturan daerah dapat mengatur tentang kewenangan daerah dalam menjalankan urusan yang menjadi pilihan maupun tanggung jawab

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

berdasarkan praktik otonomi daerah.[31] Peraturan daerah juga berfungsi untuk salah satunya menjamin kepastian hukum dan perlindungan bagi masyarakat untuk dapat menikmati pembangunan yang berkelanjutan dan pemanfaatan energi yang sejalan dengan prinsip TPB 2030 No. 7.

Konsep legislasi hijau di tingkat peraturan daerah mendukung pencapaian TPB 2030 nomor 7. Peraturan daerah sebagai legislasi hijau dalam pembentukan peraturan perundang-undangan harus mencerminkan beberapa asas yang diatur dalam Pasal 6 UU Nomor 12 Tahun 20011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan (UU Perpu) dan khususnya Pasal 4 UU Minerba yang selaras dengan Pasal 2 huruf a dan Pasal 2 huruf n UU PPLH, serta merupakan penerapan dari amanat Pasal 18 dan Pasal 18A jo. Pasal 33 ayat (3)-(4) UUD NRI 1945. Ketentuan tersebut berlaku baik bagi peraturan perundang-undangan maupun kebijakan pemerintah dalam tataran nasional maupun daerah.[32]

Sebagaimana dijelaskan dalam pendahuluan tulisan ini, konsep legislasi hijau lahir sebagai sebuah komitmen terhadap lingkungan atas semua aktivitas yang mendukung pembangunan berkelanjutan.[33] Legislasi hijau sendiri sebagaimana di bahas pada bagian pendahuluan, memiliki makna yang luas, tidak hanya peraturan perundang-undangan namun juga kebijakan. Hal tersebut berdasarkan definisinya yakni, prinsip yang berkomitmen terhadap lingkungan dan meletakkannya dalam aktivitas

[31] Indonesia, Undang-Undang Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan, UU No. 12 Tahun 2011, LN No. 82 Tahun 2011, TLN. 5234, Ps 14. Muhammad Suharjono, "Pembentukan Peraturan Daerah yang Responsif dalam Mendukung Otonomi Daerah," *DiH: Jurnal Ilmu Hukum,* Vol. 10, No. 19 (2014), hlm 21.

[32] Eko Nurmardiansyah, hlm. 183-219.

[33] *Ibid*., Hario Danang Pambudhi dan Ega Ramadayanti, "Menilai Kembali Politik Hukum Perlindungan Lingkungan Dalam UU Cipta Kerja Untuk Mendukung Keberlanjutan Ekologis," *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia,* Vol. 7, No. 2 (2021), hlm. 297–322; Hanung Harimba Rachman, "Arah dan Kebijakan Green Invesment," (disampaikan pada Diskusi Interaktif: mewujudkan Investasi Perubahan Iklim Perkembangan, Tantangan dan Peluang Pada Festival Iklim 2018, 17 Januari 2018).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pembangunan, perancangan, produksi, tata laksana kerja dan cara hidup.

Asas yang harus dipenuhi pemerintah daerah dalam menyusun legislasi hijau regional adalah asas pertanggungjawaban negara dan asas otonomi daerah, sebagaimana ketentuan Pasal 18 dan Pasal 18A jo. Pasal 33 ayat (3)-(4) UUD NRI 1945 jo. Pasal 4 UU Minerba jo. Pasal 2 huruf a dan huruf n UU PPLH. Mengingat ketentuan Pasal 33 ayat (4) UUD NRI 1945 yang kemudian diterapkan dalam Pasal 70 huruf c UU Minerba, juga harus menerapkan asas kelestarian dan keberlanjutan sebagaimana yang juga selaras dengan ketentuan dalam Pasal 2 huruf b UU PPLH. Pasal 70 huruf c UU Minerba sendiri mengatur mengenai tanggung jawab pengelolaan lingkungan oleh pemegang izin pertambangan dengan pemerintah pusat dalam hal ini Menteri ESDM.

Lebih khusus di bidang minerba, asas yang harus tercerminkan dalam legislasi hijau regional adalah asas manfaat, keadilan dan keseimbangan sebagaimana ketentuan Pasal 2 huruf a UU Minerba, serta, asas berkelanjutan dan berwawasan lingkungan sebagaimana ketentuan Pasal 2 huruf d UU Minerba. Sehingga, dalam legislasi hijau regional di bidang minerba, asas yang harus diterapkan di samping pertanggungjawaban negara dan otonomi daerah adalah asas keberlanjutan dan berwawasan lingkungan. Hematnya, asas-asas tersebut merupakan amanat dari Pasal 18 dan Pasal 18A jo. Pasal 33 ayat (3)-(4) UUD NRI jo. Pasal 2 huruf a, huruf d jo. Pasal 4 jo. Pasal 35 ayat (4) UU Minerba.

Kemudian, dalam ketentuan UU Minerba, legislasi hijau sudah tercerminkan dalam batang tubuh peraturan. Dalam hal ini, kajian kelayakan lingkungan haruslah tercermin dalam legislasi hijau regional sebagaimana ketentuan Pasal 1 angka 16 UU Minerba.

Lebih lanjut dalam batang tubuh UU Minerba, *pertama,* dalam penetapan WP (wilayah pertambangan) yang dilakukan pemerintah pusat setelah ditentukan pemda haruslah salah satunya berwawasan lingkungan dan memperhatikan aspirasi daerah sebagaimana ketentuan Pasal 9 ayat (2)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

jo. Pasal 10 ayat (2) huruf b dan c UU Minerba. Selain itu, WP haruslah memenuhi kriteria konservasi untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan lingkungan sebagaimana ketentuan Pasal 27A huruf d UU Minerba.

Kedua, pemerintah daerah sebagai yang menerima delegasi Perizinan Berusaha harus memperhatikan adanya dokumen lingkungan dalam Perizinan Berusaha Pertambangan. Dokumen lingkungan diwajibkan ada mengiringi perizinan berusaha sebagaimana ketentuan Pasal 35 ayat (4) jo. Pasal 39 huruf l jo. Pasal 46 ayat (2) UU Minerba jo. Pasal 6 ayat (5) PP Pertambangan Minerba.

Ketiga, pemda terlibat dalam kegiatan lelang Wilayah Izin Usaha Pertambangan (WIUP) sebagaimana ketentuan Pasal 21 ayat (3) PP Minerba. Pemda dalam hal ini juga wajib memperhatikan kemampuan pengelolaan lingkungan dalam mempertimbangkan lelang WIUP sebagaimana ketentuan Pasal 51 ayat (2) huruf c dan Pasal 60 ayat (2) huruf c UU Minerba.

Lebih lanjut, sesuai dengan konsep hijau berupa pembangunan berkelanjutan yang didalamnya terdapat pilar ekonomi, pemerintah pusat dan daerah kemudian dapat mengatur ketentuan instrumen ekonomi seperti insentif atas capaian tertentu. Sebagai contohnya, dalam ketentuan Pasal 168 ayat (2) huruf b PP Minerba, pemerintah pusat mengatur insentif fiskal dan/atau non fiskal bagi perusahaan yang mencapai capaian tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa instrumen ekonomi dapat menjadi sebuah alternatif ketercapaian konsep hijau dalam kerangka hukum pertambangan.

Lebih lanjut, asas pertanggungjawaban negara, otonomi daerah, asas keberlanjutan sebagaimana ketentuan Pasal 18 dan Pasal 18A jo. Pasal 33 ayat (3) dan ayat (4) UUD NRI 1945 jo. Pasal 2 huruf a dan d jo. Pasal 4 UU Minerba, secara logika hukum haruslah tercermin dan terpenuhi juga dalam keseluruhan proses pembentukan peraturan daerah sebagai legislasi hijau regional. Proses

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pembentukan tersebut meliputi:[34] 1) Perencanaan, 2) persiapan pembentukan peraturan daerah, 3) Pembahasan rancangan peraturan daerah di Dewan Perwakilan Rakyat Daerah (DPRD), 4) Penetapan, dan 5) Pengundangan dan penyebarluasan.

Dengan demikian, maka pemerintah daerah memiliki dasar hukum yang ajek untuk menyusun legislasi hijau regional utamanya dalam kebijakan pemerintah yakni dalam penentuan WP, lelang WIUP dan pemberian perizinan berusaha pertambangan. Oleh karenanya, pemerintah daerah memiliki peluang untuk seideal mungkin menerapkan asas pertanggungjawaban negara, asas otonomi daerah, asas kelestarian dan keberlanjutan, serta asas manfaat, keadilan dan keseimbangan dan, asas berwawasan lingkungan sebagaimana ketentuan Pasal 18 dan Pasal 18A jo. Pasal 33 ayat (3) dan ayat (4) UUD NRI 1945 jo. Pasal 2 huruf a dan d jo. Pasal 4 UU Minerba. Asas-asas tersebut dapat diterapkan melalui tindakan pemerintah dalam menyusun dan menerapkan kebijakan dengan adanya dasar hukum yang ajek. Dengan demikian, penerapan asas-asas tersebut dalam ketentuan pada UU Minerba di atas dapat mendukung pencapaian TPB 2030 No. 7. Dengan kata lain, secara normatif telah ada peluang legislasi hijau di bidang minerba untuk mendukung pencapaian TPB 2030 No. 7 di Indonesia.

III. Penutup

Pencapaian TPB 2030 No. 7 yang termuat dalam Lampiran No. VII Perpres TPB yakni tentang energi, diwujudkan dengan penerapan asas pertanggungjawaban negara dan asas otonomi daerah serta asas keberlanjutan salah satunya di bidang energi tak terbarukan yakni pertambangan minerba. Indonesia mengamanatkan sebagaimana ketentuan Pasal 18 dan Pasal 18A jo. Pasal 33 ayat (3) dan (4) UUD NRI 1945 bahwa singkatnya, minerba dimanfaatkan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat secara berkelanjutan dengan penerapan asas

[34] Ketut Rachmi Handayani, "Pembentukan Peraturan Daerah…," hlm. 69-70.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pertanggungjawaban negara dan asas otonomi daerah.

Asas pertanggungjawaban negara kemudian diadopsi melalui Pasal 2 huruf a UU PPLH yang merupakan peraturan induk di bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, termasuk di dalamnya pertambangan minerba. Sedangkan, asas otonomi daerah diterapkan melalui Pasal 2 huruf n UU PPLH. Asas pertanggungjawaban negara dan asas otonomi daerah serta penguasaan minerba oleh negara untuk kesejahteraan rakyat, diterapkan selanjutnya melalui Pasal 2 UU Energi.

Sedangkan, khususnya di bidang minerba, asas otonomi daerah yang berkaitan dengan asas pertanggungjawaban negara dan pemanfaatan keberlanjutan untuk kesejahteraan rakyat, sebagaimana ketentuan Pasal 18 dan Pasal 18A jo. Pasal 33 ayat (3)-(4) UUD NRI 1945, diterapkan dalam Pasal 2 huruf a dan d jo. Pasal 4 jo. Pasal 35 ayat (4) UU Minerba jo. Pasal 6 ayat (5) PP. Pasal 35 ayat (4) UU Minerba jo. Pasal 6 ayat (5) PP Pertambangan Minerba, khusus menerapkan asas otonomi daerah yakni, mengatur pemerintah daerah menerima delegasi kewenangan penerbitan perizinan berusaha pertambangan.

Berkaitan dengan diterapkannya asas pertanggungjawaban negara dan asas otonomi daerah dalam peraturan perundang-undangan di bidang energi khususnya minerba, terdapat pula peluang legislasi hijau regional. Hal tersebut karena dalam beberapa ketentuan UU Minerba diatur untuk kebijakan WP, WIUP, Perizinan Berusaha Pertambangan hingga lelang WIUP memerlukan adanya pertimbangan dan/atau dokumen lingkungan hidup. Hal tersebut menjadi peluang pemerintah menerapkan asas keberlanjutan sebagaimana termuat dalam Pasal 2 huruf d UU Minerba. Adanya ketentuan yang mendukung legislasi hijau regional dalam UU Minerba dengan demikian, dapat mendukung tercapainya TPB 2030 No. 7 di Indonesia.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DAFTAR PUSTAKA

Peraturan Perundang-undangan

Indonesia. *Undang-Undang Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan*, UU No. 12 Tahun 2011. LN No. 82 Tahun 2011. TLN No. 5234.

_____. *Undang-Undang Perubahan Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 Tentang Pengusahaan Tambang Mineral Batubara*. UU No. 3 Tahun 2020. LN No. 147 Tahun 2020. TLN No. 6525.

_____. *Peraturan Pemerintah tentang Penyelenggaraan Bidang Energi dan Sumber Daya Mineral*. PP No 25 Tahun 2021. LN No. 35 Tahun 2021. TLN No. 6637.

_____. *Peraturan Presiden tentang Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan. PP No. 59 Tahun 2017*. LN No. 136 Tahun 2017.

Buku

Brunnée, Jutta. "*Harm Prevention*" dalam *The Oxford Handbook of International Environment Law. ed.* Lavanya Rajamani and Jacqueline Peel, Second. Oxford: Oxford University Press. 2017.

Prayitno, Hadi. *et. al. Membongkar Harta Daerah: Analisis Kebijakan Anggaran Daerah Pengelolaan Hutan dan Lahan di 2 Provinsi dan 6 Kabupaten di Indonesia.* Jakarta: Seknas FITRA. 2013.

Sands, Philippe, *et.al. Principles of International Environmental Law. Third Edition*. New York: Cambridge University Press. 2012.

Shaw, Malcolm N. *International Law*. New York: Cambridge University Press. 2017.

Taylor, Prue. "State Responsibility for Environmental Harm." dalam *An Ecological Approach to International Law* (New York: Routledge, 1998).

Zaili, Rusli. Adianto, dan Mashur Dadang. *Pembangunan Berkelanjutan Dalam Bingkai Otonomi Daerah*. Pekanbaru: Taman Karya. 2020.

Artikel Jurnal

Adejumo, Oluwabunmi O. "Growth Limits: A Conceptual Analysis for Sustainable Development in

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Nigeria." *SAGE Open*. Vol. 10. No. 2 (2020).

Al'afghani, Mohamad Mova. dan Bisariyadi Bisariyadi. "Konsep Regulasi Berbasis Risiko: Telaah Kritis Dalam Penerapannya Pada Undang-Undang Cipta Kerja." *Jurnal Konstitusi.* Vol. 18. No. 1 (2021).

Fahmi, Sudi. "Asas Tanggung Jawab Negara Sebagai Dasar Pelaksanaan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup." *Jurnal Hukum Ius Quia Iustum.* Vol. 18. No. 2. (2011).

Handayani, I Gusti Ayu Ketut Rachmi. "Pembentukan Peraturan Daerah Berbasis Lingkungan Dalam Rangka Mewujudkan Praktik-Praktik Good Governance Di Daerah." *Yustisia Jurnal Hukum.* Vol. 2, No. 1 (2013).

Johnston, R. B. "Arsenic and the 2030 Agenda for Sustainable Development." *Arsenic Research and Global Sustainability - Proceedings of the 6th International Congress on Arsenic in the Environment. AS 2016* (2016).

Mahmuzar. "Model Negara Kesatuan Republik Indonesia di Era Reformasi." *Jurnal Hukum & Pembangunan.* Vol. 50. No. 2 (2020).

Nalle, Victor Imanuel Williamson. "Hak Menguasai Negara Atas Mineral dan Batubara Pasca Berlakunya Undang-Undang Minerba." *JurnaI Konstitusi.* Vol. 9. No. 4 (2012).

Nurmardiansyah, Eko. "Konsep Hijau: Penerapan Green Constitution dan Green Legislation dalam Rangka Eco-Democracy." *Veritas et Justitia.* Vol. 1, No. 1 (2015).

Pambudhi, Hario Danang. dan Ega Ramadayanti. "Menilai Kembali Politik Hukum Perlindungan Lingkungan Dalam UU Cipta Kerja Untuk Mendukung Keberlanjutan Ekologis." *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia.* Vol. 7,.No. 2 (2021).

Pringgodigdo, R.M. Girindro. "Pemerintahan Dan Masalah Pelaksanaan Atau Penerapan Peraturan Perundang-Undangan." *Jurnal Hukum & Pembangunan,* Vol. 24. No. 1 (1994).

Rosidin, Utang. "Partisipasi Masyarakat

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Desa Dalam Proses Pembentukan Peraturan Desa Yang Aspiratif." *Jurnal Bina Mulia Hukum.* Vol. 4. No. 105 (2019).

Suharjono, Muhammad. "Pembentukan Peraturan Daerah yang Responsif dalam Mendukung Otonomi Daerah." *DiH: Jurnal Ilmu Hukum.* Vol. 10. No. 19. (2014).

Timotius, Richard. "Revitalisasi Desa dalam Konstelasi Desentralisasi Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2014 Tentang Desa." *Jurnal Hukum & Pembangunan,* Vol. 48. No. 2 (2018).

Wulandari, Rika Putri. dan Muhammad Helmi Fahrozi. "Politik Hukum Pengalihan Izin Pertambangan Pada Pemerintah Pusat Terhadap Kewenangan Pemerintah Daerah." *SALAM: Jurnal Sosial dan Budaya Syar-I.* Vol. 8, No. 1. (2021).

Dokumen Internasional

Perserikatan Bangsa-Bangsa. *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development.* A/RES/70/1.

Lain-lain

Asian Development Bank. "World Sustainable Development Timeline." (Maret 2012).

Kementerian PPN. "Peta Jalan Sustainable Development Goals (TPB) di Indonesia." *Kementerian PPN/Bappenas..* (2017).

Koirala, Shashwat. dan OECD. "SMEs: Key Drivers of Green and Inclusive Growth OECD Green Growth And Sustainable Development Forum." (2018).

Rachman, Hanung Harimba. "Arah dan Kebijakan Green Invesment." (disampaikan pada Diskusi Interaktif: mewujudkan Investasi Perubahan Iklim Perkembangan. Tantangan dan Peluang Pada Festival Iklim 2018. (17 Januari 2018).

Internet

Bappenas. "Sekilas SDGs." https://sdgs.bappenas.go.id/sekilas-sdgs/. diakses pada 3 Agustus 2022.

Newswire. "Jadi Sumber Penerimaan Negasra, Pemerintah Diminta

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Utamakan Hulu Migas untuk Transisi Energi." https://ekonomi.bisnis.com/read/20211123/44/1469202/jadi-sumber-penerimaan-negara-pemerintah-diminta-utamakan-hulu-migas-untuk-transisi-energi. diakses pada 03 Agustus 2022.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Serambi Engineering, Volume VII, No. 1, Januari 2022 Hal 2587 - 2600
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Manfaat Sosial Ekonomi Energi Terbarukan: Kasus Negara-negara ASEAN

Syaifuddin Yana[1*], Ardhana Yulisma[2], T.M. Zulfikar[3]

[1]Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Serambi Mekkah
[2]Program Studi Ilmu Gizi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Ubudiyah Indonesia
[3]Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Serambi Mekkah
***Koresponden email**: syaifuddin.yana@serambimekkah.ac.id

Diterima: 7 November 2021 Disetujui: 24 Desember 2021

Abstract
The development of renewable energy sources continues in the ASEAN region to meet the ASEAN energy mix target of 23% in 2025 and 31% in 2050. This is to meet the region's estimated 50% increase in energy demand. Renewable energy development projects in the ASEAN region have a beneficial effect on the ASEAN community's social life. This research is a review of the literature, examining journals on the socioeconomic benefits of NRE development through the lens of ASEAN member countries. Several conclusions can be drawn from the analysis's findings, including the following: (1) this renewable energy project can alleviate poverty by involving community members in utilizing natural resources to build power plants; (2) the creation of new jobs; (3) gross domestic product (GDP) is projected to increase by 2.5 percent in 2050; (4) the establishment of gender equality for women in the use of energy for regional development; and (5) an increase in education and scholastic achievement. The ASEAN region
Keywords: *The ASEAN countries, socioeconomic development, renewable energy, poverty alleviation, job creation, and gender equality*

Abstrak
Pengembangan energi baru terbarukan (EBT) di kawasan ASEAN terus dilakukan untuk mencapai target bauran energi ASEAN sebesar 23% pada Tahun 2025 dan 31% pada Tahun 2050. Hal ini dilakukan untuk memenuhi permintaan energi di kawasan ini yang diperkirakan akan tumbuh sebesar 50%. Proyek pengembangan energi terbarukan di kawasan ASEAN memberi dampak yang positif bagi kehidupan sosial masyarakat ASEAN. Penelitian ini merupakan penelitian studi literatur dengan menelaah jurnal-jurnal terkait dengan manfaat sosial-ekonomi dari pengembangan EBT dengan mengambil kasus di negara-negara anggota ASEAN. Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu (1) proyek energi terbarukan ini dapat mengentaskan masalah kemiskinan dengan peran serta masyarakat dalam memanfaatkan potensi alam untuk membangun pembangkit listrik, (2) terciptanya lapangan kerja baru, (3) produk domestik bruto (PDB) ditaksir akan meningkat sebesar 2.5% pada Tahun 2050, (4) terciptanya kesetaraan gender bagi perempuan dalam pemanfaatan energi untuk pembangunan wilayah, (5) terjadinya peningkatan pendidikan dan ketrampilan di masyarakat, (6) dan manfaat lainnya yang berdampak pada pertumbuhan ekonomi yang baik di kawasan ASEAN.
Kata Kunci: *Negara-negara ASEAN, sosial ekonomi, energi terbarukan, pengentasan kemiskinan, penciptaan lapangan kerja,* dan *kesetaraan gender*

1. Pendahuluan

Energi terdahulu yang ada di muka bumi didominasi oleh pembangkit listrik konvensional yang bersumber dari energi fosil (batu bara, lignit, gas dan minyak) atau nuklir. Hal ini terlihat dari proyek-proyek skala besar dengan perencanaan yang substansial, namun belum memenuhi standar keamanan seperti pembangkit listrik tenaga nuklir. Dewasa ini, pembangunan pembangkit listrik dan proyek-proyek berskala kecil bertransisi dengan memanfaatkan energi terbarukan. Upaya ini dilakukan sebagai respon cepat terhadap permintaan energi yang terus meningkat di banyak negara. Energi terbarukan hadir sebagai sistem multi-manfaat yang menggabungkan kebutuhan ekologis seperti mitigasi perubahan iklim dengan visi masyarakat dan peluang ekonomi [1].

Peralihan ke energi terbarukan memberi banyak dampak positif seperti mengurangi subsidi dan kerugian akibat perubahan iklim, serta manfaat di bidang kesehatan. Laporan IRENA menyatakan bahwa setiap $1 yang diinvestasikan untuk mengubah sistem energi global ke energi terbarukan akan memberi keuntungan sebesar $3-$7, tergantung dari faktor eksternal yang digunakan. Peningkatan penggunaan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

energi terbarukan terbukti penting dalam mencapai target perubahan iklim pada Tahun 2050. Peralihan ke energi terbarukan juga akan menciptakan lapangan kerja baru yang lebih banyak untuk menggantikan sektor industri bahan bakar fosil. Dukungan kebijakan dapat mendorong terciptanya manfaat sosial dan ekonomi dari transformasi ke energi bersih [2].

Asia Tenggara merupakan wilayah yang sangat beragam dan dinamis. Namun negara-negara di dalam kawasan tersebut memiliki satu elemen yang sama yaitu para pembuat kebijakan di berbagai negara telah mengintensifkan upaya mereka untuk memastikan jalur yang aman, terjangkau, dan lebih berkelanjutan untuk sektor energi. Hal tersebut dilakukan untuk memfasilitasi investasi dalam pasokan bahan bakar dan listrik serta infrastruktur. Potensi manfaat dari perluasan sistem energi kawasan yang dikelola dengan baik dapat mendorong peningkatan kesejahteraan dan kualitas hidup masyarakat [3]. Saat ini energi terbarukan telah menyumbang lebih dari 50% kapasitas listrik terpasang. Namun untuk mencapai manfaat secara keseluruhan, maka bauran energi terbarukan (termasuk untuk pembangkit, pemanas, dan transportasi) harus ditingkatkan sebanyak enam kali lipat. Berdasarkan analisis IRENA, emisi CO_2 dalam bidang energi harus turun 70% pada 2050, dibanding level saat ini untuk bisa mencapai target [3].

Peralihan ke listrik berenergi terbarukan dalam skala besar bisa membantu pencapaian 60% dari target pengurangan tersebut. Jika didukung dengan penggunaan energi terbarukan untuk sistem pemanas dan transportasi, aksi ini bisa menyumbang 75% target pengurangan emisi. Ditambah aksi efisiensi energi, 90% dari target pengurangan emisi akan bisa dipenuhi. Listrik – bukan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar – harus meningkat dari 25% saat ini menjadi lebih dari 50% pada 2050. Saat listrik menjadi sumber energi utama, pasokan energi total bisa naik berlipat ganda. Energi terbarukan, terutama angin dan matahari, mampu memasok 86% dari kebutuhan energi listrik masyarakat.

Laporan IRENA juga menggarisbawahi, melalui peralihan ke energi terbarukan, produk domestik bruto (PDB) dunia akan naik 2,5% dan total lapangan kerja naik 0,2% pada 2050. Manfaat ekonomi, kesehatan, serta lingkungan, menjadi alasan yang kuat bagi dunia untuk memilih energi terbarukan [4]. Konsumsi energi di Asia Tenggara hampir dua kali lipat antara 1995 dan 2015, tumbuh pada kecepatan rata-rata 3,4% setiap tahun. Hal tersebut telah memicu pertumbuhan ekonomi dan memungkinkan standar hidup yang lebih tinggi. Selama dekade terakhir, pertumbuhan tercepat ditunjukkan oleh Brunei Darussalam, Kamboja, dan Vietnam. Sementara pada 2015, Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam menyumbang sebagian besar konsumsi energi final total (TFEC) di kawasan ini. Tahun itu, sektor industri, transportasi, dan perumahan menyumbang porsi yang hampir sama dari konsumsi energi di seluruh wilayah, meskipun perbedaan muncul di tingkat sub-regional [5].

Bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan gas alam telah menyumbang lebih dari setengah pasokan energi di kawasan ASEAN. Minyak mentah dan turunannya sebagian besar digunakan di sektor transportasi, dimana permintaan bahan bakar telah tumbuh dengan cepat. Sementara pangsa gas alam dalam total pasokan energi primer (TPES) telah meningkat pesat selama dua dekade terakhir, pertumbuhan tercepat terjadi pada batubara, terutama dengan commissioning berbagai pembangkit listrik tenaga batubara sejak Tahun 2000. Gas alam berkontribusi bagian terbesar (41%) untuk campuran pembangkit listrik pada Tahun 2015, diikuti oleh batubara (33%), dan tenaga air (16%). Sejalan dengan ekspansi ekonomi yang cepat dan berkelanjutan di kawasan ASEAN, permintaan energi diperkirakan akan tumbuh rata-rata 4,7% per tahun pada periode hingga 2035. Pertumbuhan permintaan energi tertinggi yaitu pada sektor pembangkit tenaga listrik, sektor industri, transportasi, dan infrastruktur [5]. Meningkatnya kebutuhan energi dan perubahan dinamika permintaan-penawaran menciptakan tantangan baru dan berat bagi para pembuat kebijakan di Asia Tenggara. Meskipun ada peluang yang diciptakan oleh kebijakan yang tepat, beberapa tantangan membutuhkan pendekatan di seluruh wilayah. Berdasarkan uraian diatas, penulis ingin membahas tentang manfaat sosial-ekonomi dari pengembangan energi-terbarukan dengan mengambil studi kasus di kawasan negara-negara ASEAN.

2. Metode Penelitian

Penelitian merupakan penelitian studi literatur dengan menelaah jurnal terkait dengan upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, upaya ASEAN dalam pengentasan kemiskinan, efek pemanfaatan energi terbarukan terhadap penciptaan lapangan pekerjaan, kesetaraan gender, peningkatan pendidikan dan keterampilan, serta pertumbuhan inklusif dan pemberdayaan masyarakat. Hasil dari berbagai telaah literatur ini akan digunakan untuk mengetahui manfaat sosial-ekonomi dari energi terbarukan di kawasan negara ASEAN.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

3. Tinjauan Pustaka

3.1. Pengurangan ketergantungan bahan bakar dan peningkatan keterjangkauan energi

Sejak revolusi industri, konsumsi bahan bakar fosil telah meningkat secara sistematis di seluruh dunia. Dalam beberapa tahun terakhir, kenaikan permintaan energi di negara-negara Asia Tenggara lebih tinggi daripada kebanyakan negara maju karena peningkatan populasi dan ekonomi yang begitu cepat [6]. Ekspansi penggunaan energi seperti itu menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar fosil dan emisi polutan yang mengakibatkan masalah kualitas udara dan kesehatan manusia di kawasan ini [7] [8]. Dalam penelitian sebelumnya, aerosol pembakaran bahan bakar fosil bertanggung jawab atas terjadinya 82% dari hari visibilitas rendah (visibilitas <10 km), sedangkan aerosol pembakaran biomassa hanya berkontribusi terhadap 18% dari hari visibilitas rendah di Asia Tenggara [9]. Dengan demikian hasil menunjukkan bahwa pentingnya mengurangi emisi bahan bakar fosil untuk meningkatkan kualitas udara di Asia Tenggara.

Tingkat kesadaran masyarakat umum dan pemerintah secara global tentang perubahan iklim dan masalah yang terkait terus meningkat, hal ini menghasilkan komitmen sebagian besar negara untuk mengurangi emisi mereka ke tingkat tertentu (Perjanjian Paris). ASEAN juga telah menunjukkan keinginan kuat untuk bekerja sama dalam masalah energi, serta mengatasi masalah lingkungan. Dengan pertumbuhan ekonomi yang cepat sebesar 5% dari 2000 hingga 2013 dan perkiraan peningkatan populasi dari 525 juta pada 2000 menjadi 728 juta pada 2030, negara-negara Asia Tenggara harus menghadapi tantangan untuk meningkatkan konsumsi energi mereka tanpa meningkatkan emisi. Namun, menurut Badan Energi Internasional (IEA), dengan kebijakan saat ini di kawasan tersebut mengenai konsumsi bahan bakar, permintaan energi negara-negara Asia Tenggara harus dipenuhi terutama bahan bakar fosil, khususnya batu bara, yang kemungkinan akan menjadi bahan bakar fosil utama dalam bauran energi kawasan pada Tahun 2040. Oleh karena itu, negara-negara ASEAN akan membutuhkan perubahan dalam kebijakan energi mereka agar konsisten dengan komitmen lingkungan mereka [10].

Dalam penelitian terbaru, ref. [11] menggunakan data pengiriman Sistem Identifikasi Otomatis (AIS) Tahun 2015 untuk menyelidiki emisi global dari pengiriman. Studi mereka menunjukkan bahwa Singapura memiliki kepadatan emisi pengiriman tertinggi di dunia. Selain itu, emisi PM2.5 dan SOx tertinggi per unit terjadi di Laut Cina Selatan dan Timur serta di perairan yang dekat dengan Asia Tenggara dan Asia Selatan. Nitrogen oksida yang dipancarkan oleh kapal (NOx) juga meningkatkan produksi ozon (O_3), yang menyebabkan efek buruk pada kesehatan manusia dan produksi pertanian. Muncul kekhawatiran tentang dampak polutan dari kapal terhadap kualitas udara pada banyak daerah pesisir karena regulasi polusi udara dalam transportasi laut di kawasan ASEAN masih belum jelas.

Faktanya, dampak dari praktik konsumsi bahan bakar tersebut terhadap kualitas udara tidak pernah dianalisis secara kuantitatif, kemungkinan karena kompleksitas yang membutuhkan penggunaan model cuaca dan kimiawi-kimiawi atmosfer yang didukung oleh emisi dan data pengukuran. Banyak penelitian dilakukan untuk memeriksa hasil kualitas udara di Asia Tenggara dalam dua tahun terakhir dengan dukungan data yang memadai, sebagai hasil dari lima skenario hipotesis yang berbeda dari konsumsi bahan bakar di sektor pembangkit listrik, industri, dan perumahan. Dengan mengeksploitasi model cuaca regional dan kimia-kimia tingkat tinggi untuk menyimulasikan konsentrasi atmosfer dari polutan atmosfer, termasuk bahan partikulat dan menguji efek dari kebijakan mitigasi emisi yang ideal dalam mengubah level atmosfer dari beberapa polutan udara utama [12].

Negara-negara anggota ASEAN juga berkontribusi besar terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar di sektor transportasi karena lonjakan urbanisasi dan pertumbuhan ekonomi yang cepat, yang mengakibatkan meningkatnya permintaan akan mobilitas. Berdasarkan perkiraan skenario pertumbuhan, tingkat motorisasi ASEAN (jumlah kendaraan per seribu orang) akan terus lebih besar dari India dan Cina selama dua dekade berikutnya. Peningkatan subsidi bahan bakar menghambat kemampuan pemerintah untuk mendanai program-program lain, termasuk yang diarahkan untuk memperbaiki kehidupan orang miskin. Konsumen yang mendapat manfaat dari subsidi ini biasanya kelas menengah dan masyarakat berpenghasilan tinggi. Di Indonesia, misalnya, sebanyak 40% keluarga berpenghasilan tinggi mendapat manfaat dari 70% subsidi bahan bakar, sementara 40% keluarga berpenghasilan rendah hanya mendapat manfaat dari 15% subsidi [13]. Filipina dan Thailand telah menderegulasi pasar untuk bensin dan solar dan oleh karena itu hanya subsidi yang ditargetkan untuk transportasi publik yang disediakan.

International Energy Agency (IEA) merupakan sebuah organisasi antar pemerintah yang bekerja untuk memastikan energi yang dapat diandalkan, terjangkau, dan bersih untuk para anggotanya. IEA juga mendefinisikan keamanan energi sebagai ketersediaan sumber energi yang tidak terputus dengan harga yang terjangkau. Kepedulian terhadap kawasan ini bukan tentang keterjangkauan bagi konsumennya tetapi juga bagi pemerintah mereka. Dengan meningkatnya permintaan energi, permintaan minyak diperkirakan tumbuh dari 4,7 juta barel per hari menjadi sekitar 6,6 juta barel. Asia Tenggara dulu dikenal dengan ladang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

minyak yang kaya, namun sumber daya ini sekarang cenderung menipis dengan cepat. Selain Brunei dan Thailand, produsen minyak terbesar di kawasan ini yaitu Malaysia, Indonesia, dan Vietnam juga mengalami kesulitan untuk mengimbangi laju pertumbuhan permintaan minyak di wilayah tersebut. Negara-negara tersebut saat ini telah menjadi importir minyak mentah daripada eksportir. Diperkirakan bahwa impor minyak mentah akan lebih dari dua kali lipat di wilayah ini pada Tahun 2040.

Dengan konsumsi dan subsidi minyak yang tinggi, kebijakan dan langkah-langkah ekonomi bahan bakar dapat berkontribusi pada upaya pemerintah dalam konservasi energi dan meliberalisasi harga bahan bakar, sehingga memungkinkan lebih banyak investasi di sektor-sektor utama lainnya, seperti pendidikan, dan kesehatan. Harga minyak mentah global terus meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Kenaikan harga yang stabil ini memiliki implikasi negatif terhadap ekonomi ASEAN dan telah menjadi pendorong peningkatan subsidi bahan bakar yang signifikan.

Meningkatnya kebutuhan energi dan perubahan dinamika permintaan dan penawaran menciptakan tantangan berat bagi pembuat kebijakan di Asia Tenggara, tetapi transisi energi juga membuka kebijakan baru yang terjangkau dan opsi teknologi. Teknologi hemat energi dan rendah karbon menawarkan cara untuk mengejar berbagai tujuan ketahanan energi, keterjangkauan, dan tujuan lingkungan. Biaya tenaga angin dan tenaga surya yang menurun dengan cepat memberikan peluang untuk membantu memenuhi permintaan listrik yang meningkat dengan cara yang hemat biaya dan berkelanjutan, juga membantu memacu industri manufaktur lokal. Malaysia merupakan produsen sel fotovoltaik terbesar ketiga di dunia, sementara industri manufaktur tenaga surya Thailand meningkatkan output PV untuk pasar global [13].

Diperkirakan wilayah tersebut akan mengonsumsi lebih banyak minyak dan gas alam secara signifikan untuk memenuhi permintaan energi yang terus meningkat. Dengan menipisnya cadangan domestik, secara bertahap ketergantungan pada bahan bakar fosil ini meningkatkan kekhawatiran keamanan energi untuk kawasan ini. Setelah bertahun-tahun menjadi pengekspor bersih bahan bakar fosil, ASEAN terus menjadi pengimpor bersih bahan bakar fosil. Ketergantungan impor ini akan menempatkan beban fiskal yang meningkat pada negara-negara anggota [14].

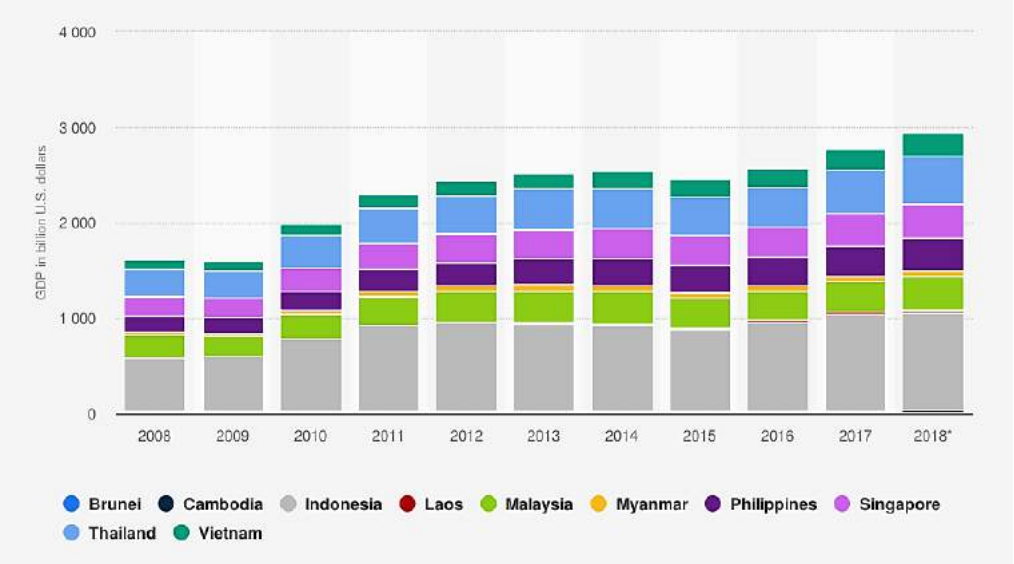
Pembangunan manusia tidak hanya membutuhkan lebih banyak energi untuk setiap negara, tetapi juga meningkatkan ketersediaan dan keterjangkauan bagi seluruh populasi. Listrik bukan hanya sebuah kemewahan, tetapi input penting untuk peningkatan mata pencaharian, termasuk standar hidup, kesehatan, dan pendidikan. Namun, setidaknya 50 juta orang di ASEAN tidak memiliki akses listrik karena jumlah pasokan yang diterima tidak setara dengan jumlah jiwa. Sedangkan, sebanyak 200 juta lainnya mengandalkan biomassa tradisional untuk memasak, sebuah praktik yang berbahaya bagi kesehatan dan boros tenaga kerja, dalam pengumpulan bahan bakar [14].

3.2. Peningkatan pendapatan dan pengentasan kemiskinan

Wilayah ASEAN telah menunjukkan pertumbuhan ekonomi yang pesat selama 2 dekade terakhir dan pertumbuhannya telah mengangkat ratusan juta orang keluar dari kemiskinan. Permintaan energi telah tumbuh 2,5 kali sejak Tahun 1990 dan diperkirakan akan menjadi tiga kali lipat pada Tahun 2035. Namun, sekitar 130 juta orang di ASEAN masih kekurangan akses listrik, sehingga belum bisa menikmati fasilitas kesehatan, sosial, dan ekonomi [15]. Seperti yang dinyatakan oleh Komunitas ASEAN di akhir Tahun 2015, kurangnya akses listrik dan energi dapat mengancam pertumbuhan ekonomi dan transisi ekonomi kawasan tersebut. Menurut ref. [16] pada Tahun 2018, perkiraan total PDB semua negara ASEAN berjumlah sekitar 2,95 triliun dolar AS, peningkatan yang signifikan dari tahun-tahun sebelumnya. Faktanya, PDB wilayah ASEAN telah meroket selama beberapa tahun terakhir seperti yang terlihat pada **Gambar 1.**

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934



Gambar 1. Produk domestik bruto negara-negara ASEAN dari tahun 2008 – 2018 (dalam miliar dolar AS)
Sumber: (2019)

Dalam skenario kebijakan, permintaan energi secara keseluruhan di Asia Tenggara tumbuh sebesar 60% hingga 2040. Perekonomian kawasan ASEAN mengalami pertumbuhan lebih dari dua kali lipat selama periode ini dan meningkat dari 120 juta populasi yang terkonsentrasi di daerah perkotaan. Tingkat proyeksi pertumbuhan permintaan energi lebih rendah pada dua dekade terakhir, hal tersebut mencerminkan pergeseran ekonomi struktural ke sektor manufaktur dan jasa yang kurang intensif energi, serta efisiensi yang lebih besar. Meskipun demikian, masih mewakili sekitar 12% dari proyeksi peningkatan penggunaan energi global hingga 2040 [10].

Semua bahan bakar dan teknologi berperan dalam memenuhi pertumbuhan permintaan dalam skenario. Permintaan minyak Asia Tenggara melampaui 9 juta barel per hari (mb/d) pada Tahun 2040, naik diatas 6,5 mb / hari. Minyak terus mendominasi permintaan transportasi jalan, meskipun ada peningkatan konsumsi biofuel. Elektrifikasi mobilitas, dengan pengecualian sebagian roda dua dan tiga, hanya membuat terobosan terbatas. Jalur ini menunjukkan sedikit perubahan di Asia Tenggara dari kemacetan yang terjadi di jalan dan kualitas udara perkotaan yang buruk [10].

Para Menteri ASEAN untuk Pembangunan Pedesaan dan Pemberantasan Kemiskinan (AMRDPE) telah menekankan pentingnya pengembangan sumber daya manusia melalui investasi yang lebih besar dalam pendidikan, pelatihan keterampilan, dan pembelajaran seumur hidup untuk mempromosikan kemampuan kerja dan keamanan finansial kelompok-kelompok yang terpinggirkan. Pembangunan pedesaan yang berkelanjutan dan pengentasan kemiskinan harus didasarkan pada prinsip kemandirian melalui pengembangan pekerjaan, pemberdayaan masyarakat, pembangunan kapasitas untuk pemerintah daerah dan mobilisasi sumber daya di tingkat lokal. Untuk mencapai hal tersebut, diperlukan lingkungan yang kondusif untuk memfasilitasi kegiatan yang menghasilkan pendapatan, memberikan kesempatan kerja, dan meningkatkan akses pasar ekonomi pedesaan kecil. Dibutuhkan peranan sektor swasta dan hubungan sinergis dengan komite ASEAN yang terkait dalam menangani bidang kesehatan, pertanian, tenaga kerja, perempuan, dan kesejahteraan sosial [17].

Tabel 1. Rencana aksi kerangka kerja ASEAN tentang Pembangunan Pedesaan dan Pengentasan Kemiskinan 2016-2020

Program/Proyek/Aktivitas	Jadwal Pelaksanaan	Koordinator Negara	Potensi Mitra
RDPE Komponen 1: Pertumbuhan Ekonomi Pedesaan			
Dokumentasikan dan berbagi praktik dan tantangan yang baik, serta peningkatan kapasitas dalam Pembangunan Berbasis Desa/Komunitas (V/CDD)	2017-2018	Thailand Indonesia	Bank Dunia ADB Australia
Promosi One Tambon One Product (OTOP) untuk kalangan muda	2018	Thailand	Badan sektoral terkait di bawah AEC

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Berturut-turut: Berbagi praktik terbaik di antara AMS melalui tur studi manajemen rantai nilai			SOM-AMAF SOMY
Forum daerah pengelolaan sumber daya desa untuk pembangunan perdesaan dan penanggulangan kemiskinan	2017-2018	Indonesia	Asia DHRRA
RDPE Komponen 2: Perlindungan Sosial dan Jaring Pengaman			
Bekerja untuk membangun jaringan regional lembaga kredit mikro/keuangan mikro dan bank petani. [dilaksanakan dari FAP 2011-2015 sebelumnya] Sub-proyek: Melakukan studi tentang mekanisme keuangan dan asuransi berbasis masyarakat yang layak	2016-2020	Laos Filipina	Bank Sentral Laos PDR
Forum Regional tentang Kemajuan Perlindungan Sosial: Berbagi praktik dan strategi yang baik di antara Negara-negara Anggota ASEAN untuk mengadvokasi peningkatan Sumber Daya Keuangan Nasional untuk Perlindungan Sosial	2017	Thailand	SOMSWD Yayasan ASEAN
Program Regional ASEAN untuk Pengembangan Kapasitas untuk Meningkatkan Akuntabilitas Pemerintah Daerah dalam Mewujudkan Program Perlindungan Sosial melalui *Community Driven Development* [dilaksanakan dari FAP 2011-2015 sebelumnya]	2016	Filipina	JAIF
Kajian Regional Ketahanan Pangan dan Lonjakan Harga: Inventarisasi Kebijakan Perlindungan Sosial Responsif bagi Masyarakat Miskin yang Rentan [dilaksanakan dari FAP 2011-2015 sebelumnya]	2016	Filipina	JAIF
Mendukung implementasi Kerangka Kerja Regional dan Rencana Aksi untuk Melaksanakan Deklarasi ASEAN tentang Penguatan Perlindungan Sosial pada proyek-proyek yang terkait dengan SOMRDPE	2016-2020	SOMRDPE	Badan-badan sektoral ASEAN terkait
RDPE Komponen 3: Pembangunan infrastruktur dan sumber daya manusia di daerah pedesaan dan daerah pinggiran kota			
Kajian prioritas utama untuk mempersempit kesenjangan pembangunan dalam konteks pembangunan pedesaan dan pengentasan kemiskinan	2016-2020	Kamboja	JAIF
Forum untuk berbagi praktik dan pengetahuan terbaik, diskusi kebijakan; pelatihan; dan kunjungan pertukaran yang bertujuan untuk mempromosikan sektor informal, UKM, kewirausahaan, skema kredit mikro, ekuitas mikro, skema alternatif untuk keuangan mikro dan pinjaman pertanian, reformasi aset	2017	Malaysia	Badan sektoral terkait di bawah AEC SOMSWD SOMY Asia DHRRA

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

[dilaksanakan dari FAP 2011-2015 sebelumnya]	
Kunjungan studi/beasiswa bagi perencana pembangunan angkutan umum yang efisien sebagai solusi perumahan bagi masyarakat miskin perkotaan	

Source: [18]

Tingkat kemiskinan di kawasan ASEAN menunjukkan tren menurun. Menurut Bank Dunia ukuran kemiskinan yaitu sebesar 1,25$ USD atau 2$ USD paritas daya beli (PPP). Menurut definisi garis kemiskinan nasional, Filipina berada pada tingkat kemiskinan tertinggi di kawasan ASEAN. Sedangkan Vietnam merupakan negara yang berhasil dalam menurunkan tingkat kemiskinan, menurut ukuran standar 1,25$ dan 2$ (PPP), sementara Thailand telah memimpin tren jika dibandingkan dengan garis kemiskinan nasional [19]. Ketimpangan pendapatan di kawasan ASEAN cenderung menurun. Indonesia, Laos, dan Malaysia adalah negara yang mengalami peningkatan ketimpangan pendapatan dan konsumsi. Sementara itu, Kamboja, Filipina, Thailand, dan Vietnam berhasil mengurangi ketimpangan pendapatan. Kamboja memimpin tren regional dalam mengurangi ketimpangan yang diukur dengan Koefisien Gini [19].

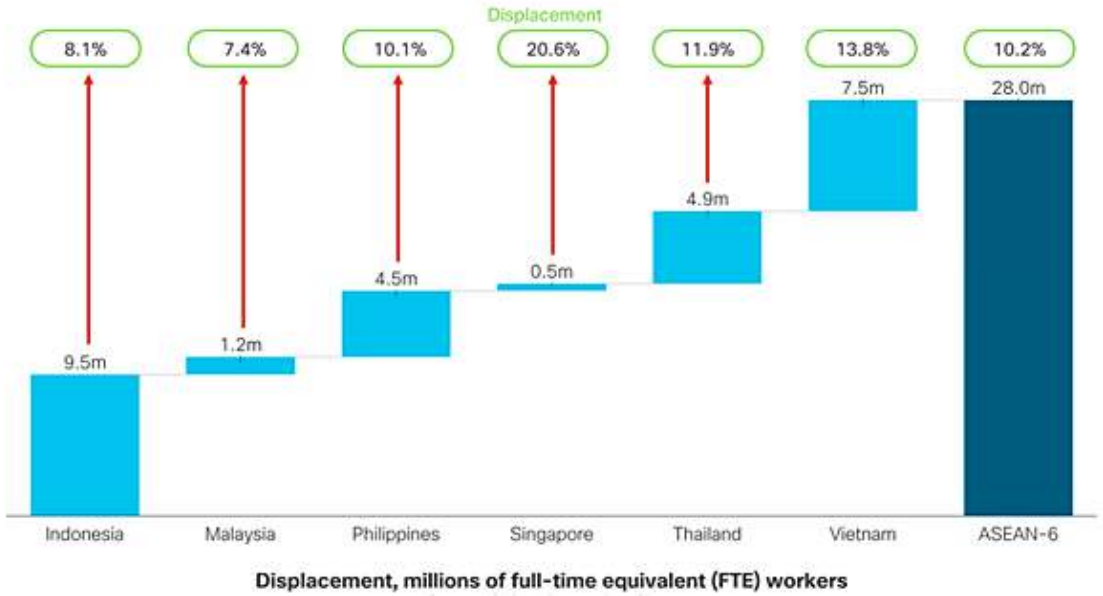
Mengatasi kemiskinan merupakan hal yang sulit untuk diselesaikan. Namun beberapa elemen-elemen yang dapat diterapkan untuk mengurangi kemiskinan, yaitu mempromosikan tata kelola yang baik dan kerja sama di tingkat lokal dan tingkat nasional, pemberdayaan terhadap orang miskin, menargetkan pengeluaran untuk orang miskin, meningkatkan kualitas pendidikan dan kesehatan, meningkatkan infrastruktur yang bermanfaat bagi masyarakat miskin, menciptakan sistem koordinasi yang lebih baik, mengurangi ketimpangan pendapatan, memantau pengembangan masyarakat dan meningkatkan pengumpulan data dan analisis, serta mengurangi kerentanan terhadap bencana alam. Urutan dan prioritas elemen-elemen ini tentu akan bervariasi di seluruh AMS yang berkembang seiring pertumbuhan dan peningkatan kesejahteraan. Bagi AMS yang menghadapi tantangan sosial-ekonomi yang sedang berlangsung, seperti Laos dan Filipina, menciptakan infrastruktur yang bermanfaat bagi masyarakat miskin dan mengelola permasalahan rumah tangga yang berada di garis kemiskinan adalah elemen penting yang perlu diprioritaskan untuk mengurangi kemiskinan dan kerentanan. Sedangkan untuk AMS lainnya, terutama Singapura, banyak dari elemen kritis pembangunan sosial-ekonomi ini telah diatasi dan fokus dapat digeser untuk mengurangi ketidaksetaraan pendapatan dan meningkatkan peluang untuk pertumbuhan berkelanjutan [19].

3.3. Penciptaan lapangan kerja

Badan Energi Terbarukan Internasional (IRENA) telah menganalisis manfaat sosial-ekonomi dari energi terbarukan sejak Tahun 2011. Fokus awal adalah pada penciptaan lapangan kerja dan keterampilan, kemudian diperluas mencakup aspek-aspek seperti produk domestik bruto (PDB), kesejahteraan, penciptaan nilai ekonomi lokal, peningkatan mata pencaharian, gender dan manfaat lainnya. Penilaian meliputi dampak global saat ini, regional dan terpilih, serta proyeksi hingga 2030 dan 2050 [20]. Peralihan energi fosil ke energi terbarukan sebenarnya dapat menciptakan lapangan pekerjaan baru bagi masyarakat ASEAN. Menurut ref. [20] energi terbarukan memiliki dampak pada penciptaan lapangan kerja. Misalnya, energi yang diciptakan melalui sel fotovoltaik surya, gas *landfill*, atau pabrik biomassa memiliki jumlah pekerjaan yang lebih tinggi per unit energi yang dihasilkan daripada energi yang dihasilkan melalui sumber konvensional.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934



Gambar 2. Pekerjaan yang akan dipindahkan di bawah skenario teknologi baru berdasarkan negara (2018-2028)
Sumber: [21]

Teknologi dapat menggusur sekitar 28 juta pekerja di kawasan ASEAN pada Tahun 2028, tetapi dengan meningkatkan pendapatan nyata akan menghasilkan tuntutan baru bagi pekerja juga. Pekerjaan akan terus berevolusi, sehingga memberikan tantangan besar bagi pekerja ASEAN. Teknologi yang didukung oleh Inteligensi Buatan akan memberikan peningkatan produktivitas yang substansial di semua sektor ekonomi ASEAN selama dekade berikutnya, menghasilkan manfaat besar bagi bisnis dan kesejahteraan bagi kawasan ini. Namun, hal tersebut berdampak signifikan pada pasar tenaga kerja karena teknologi akan membutuhkan banyak keterampilan dan profil pekerjaan yang lebih mumpuni [21].

Beberapa tahun terakhir terjadi perubahan besar pada negara-negara Asia, dimana pekerjaan energi terbarukan global naik dari 50% pada 2013 menjadi 62% pada 2016. Perkembangan energi terbarukan yang sangat pesat di kawasan tersebut disebabkan oleh dua faktor, yaitu kebijakan penyebaran yang kuat telah menyebabkan munculnya pasar domestik yang dinamis, dan kebijakan industri telah mendukung pertumbuhan fasilitas manufaktur yang bersaing secara global, terutama di industri solar fotovoltaik (PV). Cina tetap menjadi perusahaan tunggal terbesar dengan 3,6 juta pekerjaan energi terbarukan. Di India, penyebaran rekor kapasitas tenaga surya dan angin telah didorong oleh instrumen kebijakan nasional dan negara. Pembuatan panel fotovoltaik (PV) dan modul surya juga lepas landas di negara-negara Asia Tenggara, seperti Malaysia. Sementara Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Filipina, telah menambah pekerjaan di sektor biofuel [20].

Tabel 2. Kemiskinan ekstrem dan relatif di negara-negara Asia Tenggara

Negara	Garis kemiskinan internasional (1.90$ USD PPP per hari)		Garis kemiskinan kelas menengah ke bawah (3.20$ USD PPP per hari)		Garis kemiskinan kelas menengah atas (5.50$ USD PPP per hari)	
	Share of pop (%)	Jutaan orang	Share of pop (%)	Jutaan orang	Share of pop (%)	Jutaan orang
Indonesia (2016)	6.8	17.8	31.4	82.1	62.8	163.9
Filipina (2015)	8.3	8.5	33.7	34.3	64.2	65.3
Myanmar (2015)	6.5	3.4	30.2	15.8	67.9	35.6
Vietnam(2014)	2.8	2.5	11.6	10.5	36.3	32.9
Thailand (2013)	0	0	1.1	0.7	11.6	7.9
Lao PDR (2012)	22.7	1.5	58.5	3.8	85	5.5
Malaysia (2009)	0.3	0.1	3.1	0.9	13.6	3.8
Total	n.a.	33.8	n.a.	148.1	n.a.	314.9

Sumber: [35]

Pekerjaan sangat penting untuk menghasilkan upah dan dengan demikian untuk kesejahteraan individu dan keluarga, penciptaan, dan retensi pekerjaan adalah sangat penting dalam setiap ukuran pembangunan sosial-ekonomi. Penghasilan upah dan gaji terutama dari pekerjaan bergaji besar

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

memungkinkan orang untuk melakukan pembelian yang menghasilkan permintaan barang dan jasa yang stabil, berkontribusi pada ekonomi lokal dan nasional yang sehat. Ukuran pekerjaan dengan demikian jauh melampaui pekerjaan langsung di sektor energi terbarukan dan pekerjaan tidak langsung dalam rantai pasokan, juga mencakup apa yang disebut pekerjaan terinduksi dalam ekonomi yang lebih luas [22] [23][24].

4. Manfaat Sosial

4.1 Kesetaraan gender

AMS telah berupaya untuk mendorong kesetaraan gender dalam pekerjaan melalui langkah-langkah kebijakan seperti yang ada di Brunei, Malaysia, dan Myanmar. Misalnya, pemerintah Brunei telah memperkenalkan undang-undang, kebijakan, dan peraturan baru untuk mempromosikan kesetaraan gender dalam pekerjaan dalam lima tahun terakhir seperti: Ketenagakerjaan 2009, untuk menggantikan UU Ketenagakerjaan sebelumnya, yang berupaya melindungi perempuan di tempat kerja dengan menyediakan tunjangan kehamilan untuk ibu hamil; Keselamatan dan Kesehatan Kerja Tempat Kerja 2009; Peraturan Cuti Bersalin 2011 yang menetapkan 105 hari cuti hamil dibayar untuk semua karyawan wanita. Untuk pegawai negeri sipil wanita, ini merupakan peningkatan dari cuti hamil yang dibayar 56 hari sebelumnya. Dalam dinas sipil, peraturan telah diubah sehubungan dengan masa kerja untuk personel perempuan yang belum menikah yang lulus dari bulan ke bulan menjadi basis permanen, berdasarkan istilah yang sama dengan wanita pascasarjana maupun pria. Hal ini memastikan keamanan kerja bagi perempuan dan hak mereka atas berbagai upah dan tunjangan dalam layanan sipil seperti tunjangan cuti dan tunjangan pendidikan [25]. Dari 46.600 pegawai negeri sipil di Brunei Darussalam, 23.400 adalah perempuan dan 23.200 adalah laki-laki. Selisih perbedaan antara pria dengan wanita yaitu hanya 200 pegawai [26].

Asosiasi Hak-Hak Wanita Bangsa-Bangsa Asia Tenggara dan pemberdayaan politik wanita tidak menjadi perhatian utama ASEAN pada awal tahunnya. Karena pada saat di didirikan fokus utama ASEAN adalah stabilitas dan keamanan. Kerangka kebijakan pendiri ASEAN, Perjanjian Amity, kerjasama di Asia Tenggara, dan deklarasi ASEAN ditulis tanpa kepekaan khusus terhadap gender. Seiring waktu, tujuan ASEAN telah diperluas untuk mencakup pertumbuhan ekonomi dan kemajuan sosial di samping stabilitas regional dan resolusi konflik (ASEAN 2008). Komunitas ASEAN didirikan pada tahun 2008. Tiga pilar utama Komunitas ASEAN, yaitu Komunitas Politik-Keamanan ASEAN (APSC), Komunitas Ekonomi ASEAN (AEC), dan Komunitas Sosial-Budaya ASEAN (ASCC). Setiap pilar telah mendedikasikan *blueprint* yang menguraikan langkah-langkah dan tindakan yang harus dilakukan dalam jangka waktu tertentu untuk mempercepat pembangunan dan membangun perdamaian dan keamanan politik dan sosial di wilayah tersebut [26].

Dalam wilayah ASEAN, kesetaraan gender dan isu-isu perempuan saat ini berada di bawah lingkup ASCC yang diadakan dua kali setahun. Fungsi utamanya adalah untuk memastikan implementasi keputusan yang relevan dari KTT ASEAN; mengoordinasikan pekerjaan berbagai sektor dibidangnya dan pada isu-isu yang melintasi dewan komunitas lainnya; dan menyerahkan laporan dan rekomendasi kepada KTT ASEAN tentang hal-hal dibidangnya [27]. Karena itu ASCC adalah badan utama yang bertanggung jawab untuk mengawasi kebijakan gender di ASEAN.

Badan gender terpenting kedua di ASEAN adalah Komite ASEAN untuk Perempuan (ASW), yang dibentuk pada Tahun 1976. Awalnya Sub-Komite ASEAN untuk Perempuan (ASW), namanya diganti dengan Program Perempuan ASEAN pada tahun 1981 dan Komite ASEAN tentang perempuan pada Tahun 2002. Ini adalah badan utama yang mengoordinasi dan memantau kegiatan ASEAN dan memfasilitasi kerja sama dalam isu-isu perempuan. Ini terdiri dari mesin gender dari negara-negara anggota ASEAN, dan khususnya para menteri nasional dan perwakilan pemerintah, yang bertemu setiap tahun. Misi pertama ASW adalah memantau dan mengevaluasi implementasi Deklarasi ASEAN tentang kemajuan perempuan. ASW menerbitkan laporan status setiap tiga tahun, yang menganalisis keadaan partisipasi perempuan di bidang politik serta seberapa baik perhatian perempuan dimasukkan ke dalam rencana dan program nasional. Ia juga bertanggung jawab untuk memfasilitasi, memantau, dan mengevaluasi implementasi instrumen internasional seperti Konvensi Penghapusan Segala Bentuk Diskriminasi Terhadap Perempuan (CEDAW), Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) dan Deklarasi Beijing serta Platform Aksi. Akhirnya, ACW bertanggung jawab untuk berkolaborasi dengan dan membangun kapasitas pemerintah nasional, mengembangkan kebijakan, bertukar praktik terbaik dan mengatur kunjungan studi.

Terdapat hambatan serius terhadap akses perempuan dalam pekerjaan, upah, aset, dan perlindungan sosial. Hasil ekonomi pada partisipasi perempuan menunjukkan bahwa tingkat partisipasi perempuan dalam dunia kerja lebih rendah daripada laki-laki. Data menunjukkan bahwa di hampir semua negara ASEAN, perempuan cenderung menemukan pekerjaan dengan keterampilan rendah, maka tidak heran jika terjadi kesenjangan upah gender secara terus-menerus. Ini juga berlaku di negara-negara anggota berpendapatan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

tinggi, seperti Singapura dan Brunei Darussalam, dimana sebagian besar pekerjaan klerikal dan dasar ditempati oleh perempuan. Jika perempuan tidak dipekerjakan dalam pekerjaan dengan keterampilan tinggi dan gaji tinggi, maka ruang gerak mereka untuk meningkatkan penghasilan cenderung sedikit. Mayoritas perempuan, di sebagian besar negara anggota ASEAN dipekerjakan dalam pekerjaan yang rentan dengan akses terbatas ke tunjangan dan perlindungan sosial [28].

Diskriminasi kelembagaan di negara-negara tertentu mencegah perempuan memiliki kesempatan yang sama untuk berpartisipasi dalam ekonomi. Norma-norma sosial di negara-negara tertentu sangat patriarki dan bertindak sebagai penghalang bagi partisipasi perempuan dan akses ekonomi. Pencapaian pendidikan, khususnya pendidikan tinggi dan pelatihan keterampilan adalah kunci untuk perempuan mengakses peluang kerja yang lebih baik dan lebih dibayar. Data pencapaian pendidikan menunjukkan bahwa perempuan cenderung menghabiskan lebih sedikit tahun di sekolah daripada pria, kecuali di Brunei Darussalam, Myanmar, dan Filipina di mana kesenjangan gender dalam pencapaian pendidikan sekarang nol. Persentase wanita dengan pendidikan tinggi lebih tinggi daripada pria di enam dari sepuluh negara anggota ASEAN, yaitu Brunei Darussalam, Indonesia, Vietnam, Myanmar, Thailand, dan Singapura. Namun, tingkat partisipasi angkatan kerja berdasarkan tingkat pendidikan yang berbeda menunjukkan bahwa sebagian besar perempuan berpendidikan tinggi tetap menganggur. Ini menunjukkan bahwa ada faktor-faktor mendasar lainnya, selain perbedaan dalam sumber daya manusia, yang menjauhkan perempuan dari pekerjaan yang dibayar [28].

Hak-hak sosial perempuan di negara-negara Anggota ASEAN (AMS) telah meningkat secara signifikan dalam lima tahun terakhir. Data menunjukkan bahwa ada akses yang lebih besar ke pendidikan, peningkatan harapan hidup, dan peningkatan angka kematian ibu (AKI). Akibatnya, Indeks Pembangunan Manusia (HDI) menunjukkan bahwa sebagian besar AMS berada dalam peringkat “sedan”", dengan pengecualian Singapura dan Brunei Darussalam, yang berada pada “tinggi”. Sementara, Singapura mengklaim bahwa para wanita di negaranya memiliki akses yang luas terhadap layanan kesehatan kelas dunia. Latar pendidikan yang tinggi, menyebabkan para wanita di Singapura memiliki kesempatan dan akses ke dunia kerja lebih besar [29]. Pelayanan masyarakat adalah pilar terpenting dalam Pemerintahan Singapura yang terkenal dengan sistem administrasinya yang bebas dari korupsi. Pada akhir 2014, terdapat 56.7% wanita yang bekerja sebagai pegawai negeri sipil, 26,1% sebagai sekretaris permanen, dan 28,1% sebagai wakil sekretaris. Sekretaris permanen adalah posisi tertinggi yang dipegang oleh pegawai negeri sipil dalam Kementerian Pemerintah, diikuti oleh posisi wakil sekretaris. Perempuan menduduki 24 dari 101 kursi (23,8%) di Parlemen Singapura per Juni 2016 naik 22 dari 94 kursi (23,4%) pada 2009. Persentase ini melebihi rata-rata dunia *Inter-Parliamentary Union* di dunia yaitu 22,6% [30]. Pada Januari 2016 dan 18,8 % [30] pada 2009. Pada 2013, Mdm Halimah Yacob diangkat sebagai Ketua Parlemen wanita pertama di Singapura hingga Juni 2016, ada enam perempuan pemegang jabatan politik. Dari lima walikota di Singapura, dua adalah wanita.

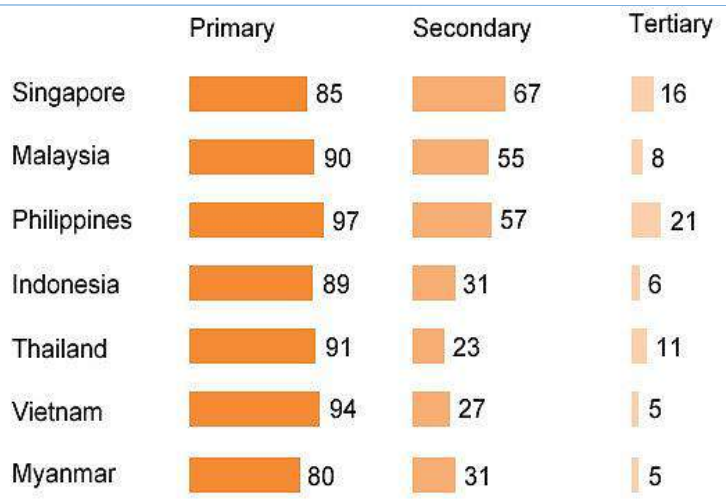
4.2 Peningkatan pendidikan dan keterampilan

Paritas gender dalam pendidikan di AMS hampir tercapai kecuali untuk Kamboja, Laos, dan Myanmar (CLM). Paritas gender dalam kemampuan membaca dan menulis dan tingkat penyelesaian primer mencapai kesetaraan. Tetapi tingkat kemampuan membaca dan menulis orang dewasa dan tingkat kemampuan membaca dan menulis wanita relatif rendah. Di sisi lain, perlu dicatat bahwa di Singapura, tingkat kemampuan membaca dan menulis perempuan lebih tinggi daripada laki-laki. Namun, negara-negara CLMV perlu meningkatkan tingkat penyelesaian sekunder mereka sehingga siswa dapat transisi ke peluang kejuruan, teknis, dan universitas [31].

Kelompok ASEAN secara keseluruhan mengalami kemajuan dalam hal pendidikan. Hampir semua anak menyelesaikan pendidikan dasar di Malaysia, Indonesia, Singapura, Vietnam, dan Brunei Darussalam. Hal ini terlihat dari tingkat melek huruf dan berhitung yang tinggi, dan peringkat teratas diduduki oleh Vietnam dan Singapura dalam hal penilaian kompetensi siswa internasional. Beberapa kelompok tertentu, terutama anak-anak dari latar belakang sosial ekonomi rendah, masih tetap dirugikan, terutama di tingkat pendidikan pasca-sekolah dasar. Tetapi anak perempuan dan perempuan memiliki akses yang sama ke pendidikan dibandingkan dengan anak laki-laki dan laki-laki di sebagian besar negara; tingkat melek huruf perempuan juga tinggi.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934



Gambar 3. Tingkat pendidikan tertinggi yang dicapai
(% lulusan dalam populasi keseluruhan di ASEAN)
Sumber: [32]

Vietnam telah menghapuskan ketidaksetaraan gender dalam pendidikan di semua tingkatan [33]. Demikian juga, Filipina telah sepenuhnya menutup kesenjangan gender dalam pendidikan dengan lebih banyak perempuan daripada laki-laki di tingkat dasar, menengah, dan tersier. Ini adalah satu-satunya negara di Asia yang telah menutup kesenjangan gender dalam hal pendidikan dan kesehatan pada Tahun 2014 dan merupakan satu-satunya dari delapan negara di dunia yang melakukannya [34]. Namun, ada ruang untuk meningkatkan tingkat partisipasi dalam pendidikan menengah dan tinggi di AMS, terutama di negara-negara dengan tingkat partisipasi kurang dari 50%.

Skenario perdagangan yang diproyeksikan di ASEAN dan dampaknya terhadap lapangan kerja pada Tahun 2025 telah dibuat oleh ILO dan ADB. Meskipun belum diketahui secara jelas skenario mana yang akan berlaku dan sangat mungkin jika negara-negara AEC akan mengalihkan proporsi mereka saat ini dari tenaga kerja berketerampilan rendah dan menengah ke tenaga kerja dengan keterampilan lebih tinggi, karena mereka menerapkan Kerangka Referensi Kualifikasi ASEAN dan dengan demikian meningkatkan transparansi dan kinerja sistem pendidikan dan pelatihan mereka untuk menanggapi kebutuhan keterampilan yang muncul. Pergeseran ASEAN menuju industri bernilai tambah lebih tinggi menuntut keunggulan akademis dalam sains, teknologi, teknik, dan matematika, dan membina jalur karier yang beragam untuk wanita dan pria. Pekerja perlu dilengkapi dengan keterampilan untuk pekerjaan saat ini dan masa depan dan memiliki kapasitas untuk beradaptasi dengan persyaratan teknologi yang berubah cepat. Sistem pendidikan dan pelatihan perlu meningkatkan akses dan kualitas. Keterampilan kejuruan juga harus dipromosikan, khususnya yang relevan dengan sektor yang cepat berkembang [35].

4.3 Pertumbuhan inklusif dan pemberdayaan masyarakat

Pada bulan Desember 1997, Perhimpunan Bangsa-Bangsa Asia Tenggara (ASEAN) mulai membayangkan untuk mengubah ASEAN menjadi kawasan yang stabil, makmur, dan berdaya saing tinggi dengan pembangunan ekonomi yang adil, dan mengurangi tingkat kemiskinan dan sosial ekonomi hingga 2020. Pada Oktober 2003, Negara anggota ASEAN setuju untuk membentuk Komunitas ASEAN pada Tahun 2020, dengan tiga pilar komunitas keamanan politik, komunitas ekonomi, dan komunitas sosial budaya [36]. Kemudian, pada bulan Agustus 2006, para Menteri Ekonomi ASEAN pada prinsipnya setuju untuk mempercepat pembentukan Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA) pada Tahun 2015, sebagai tujuan menengah dari visinya untuk Tahun 2020.

Diantara pilar utama MEA adalah membangun ASEAN yang kompetitif, inklusif, dan tangguh. Dengan langkah besar, negara-negara anggota ASEAN (AMS) tentu memiliki pekerjaan yang cukup besar untuk dilakukan. Masih ada tantangan dan hambatan pembangunan dalam masing-masing negara dan kawasan secara keseluruhan, namun yang paling mendesak diantaranya terletak pada apakah negara anggota yang kurang berkembang bisa mengejar ketinggalan dengan yang lebih maju. Namun, kemajuan ASEAN sejauh ini, khususnya sebagai blok tunggal ketika bernegosiasi dan menerapkan perjanjian perdagangan bebas dengan yang lain mitra dagang utama, membawa harapan besar untuk realisasi AEC. Asosiasi ini juga berfokus pada proses pembangunan komunitasnya, khususnya mengenai kapasitas negara-negara anggotanya untuk melengkapi realisasi MEA. Terlepas dari upayanya membangun AEC, ASEAN juga menaruh perhatian yang semakin besar pada pilar-pilar lain dari komunitas ASEAN, terutama pilar

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

sosial-budaya. Pada saat pelaksanaan KTT di Singapura Tanggal 20 November 2007, para pemimpin ASEAN sepakat untuk mengembangkan *blueprint* untuk memastikan bahwa tindakan nyata dilakukan untuk membangun ASEAN Komunitas Sosial Budaya (ASCC). Sebagai tujuan utamanya, ASCC melayani dan berkontribusi untuk mewujudkan Komunitas ASEAN yang berpusat pada manusia dan sosial, serta bertanggung jawab dengan tujuan untuk mencapai solidaritas dan persatuan yang abadi antara bangsa-bangsa dan masyarakat ASEAN dengan membentuk identitas bersama dan membangun kepedulian dengan cara berbagi bersama masyarakat yang inklusif dan harmonis, serta mata pencaharian dan kesejahteraan rakyat ditingkatkan. Deklarasi Nay Pyi Taw dari ASEAN para pemimpin pada Tanggal 25 November 2014 menguraikan bahwa ASCC bersifat inklusif, berkelanjutan, ulet, dinamis, dan memberi manfaat bagi rakyat [37].

Visi ASEAN setelah Tahun 2015 yaitu berfokus pada pembangunan pedesaan, penciptaan lapangan kerja, dan pertumbuhan inklusif yang berbasis pada ekonomi pedesaan yang terdiversifikasi dan tahan iklim, memperkerjakan tenaga kerja pedesaan, demokrasi pedesaan dan dekonsentrasi, peningkatan infrastruktur pedesaan, peningkatan materi kondisi kehidupan di daerah pedesaan, hubungan pedesaan-perkotaan yang memadai, dan memastikan perlindungan sosial dan pengurangan substansial dari kemiskinan kronis [38].

5. Kesimpulan

Pertumbuhan ekonomi yang sangat pesat di kawasan ASEAN sejalan dengan meningkatnya permintaan energi di dalam kawasan ini. Ditaksir akan terjadi peningkatan populasi dari 525 juta pada Tahun 2000 menjadi 728 juta pada 2030, dimana negara-negara Asia Tenggara harus menghadapi tantangan untuk meningkatkan konsumsi energi mereka tanpa meningkatkan emisi. Peralihan dari energi fosil ke energi baru terbarukan (EBT) mencapai target bauran energi ASEAN sebesar 23% pada Tahun 2025 dan 31% pada Tahun 2050. Proyek energi terbarukan ini terus dikembangkan sebagai energi alternatif pengganti energi fosil yang ketersediaannya di alam mulai menipis dan juga untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) di lingkungan. Pengembangan energi baru terbarukan (EBT) ini memberi dampak positif bagi kehidupan sosial masyarakat ASEAN, khususnya di sektor sosial ekonomi.

Hasil analisis manfaat sosial-ekonomi energi baru terbarukan (EBT) bagi masyarakat di kawasan ASEAN, yaitu (1) pengembangan energi terbarukan ini mampu mengentaskan masalah kemiskinan di masyarakat, seperti daerah-daerah terpencil yang belum teraliri listrik dapat mengembangkan potensi alam di daerahnya untuk membangun pembangkit listrik. Melalui pengembangan sistem ketenagalistrikan berbasis (EBT), sejatinya telah membantu negara-negara di ASEAN dalam menurunkan tingkat kemiskinan dan pemerataan ekonomi. (2) Pengembangan energi terbarukan juga dapat dapat menciptakan lapangan kerja baru yang bermanfaat bagi masyarakat, (3) Produk Domestik Bruto (PDB) ditaksir akan meningkat sebesar 2.5% pada Tahun 2050, (4) sektor energi umumnya didominasi oleh satu gender tertentu (pria) karena banyak pekerjaan di sektor energi yang melibatkan pekerjaan fisik maupun perhitungan teknis. Namun pengembangan energi terbarukan mampu mengubah perspektif di masyarakat, dimana energi memberi makna berbeda untuk perempuan. Misalnya dengan adanya listrik, bukan hanya mendapat penerangan, namun dengan penerangan tersebut perempuan dapat melakukan kegiatan yang bernilai ekonomi, sehingga kesetaraan gender dapat bersinergi dalam pembangunan desa. (5) Manfaat lainnya seperti peningkatan pendidikan dan keterampilan dll.

6. Referensi

[1] O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, and C. von Stechow, *Summary for Policymakers*, In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2011.

[2] IRENA, *Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050 (2019 Edition)*, Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019.

[3] International Energy Agency (IEA), *The Critical Role of Buildings Perspectives for the Clean Energy Transition*, 2019.

[4] IRENA, *Transforming the Energy System – and Holding the Line on the Rise of Global Temperatures*, Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019.

[5] IRENA, *Renewable Energy Market Analysis: Southeast Asia*. Abu Dhabi: IRENA, 2018.

[6] International Energy Agency (IEA), *Southeast Asia Energy Outlook*, Paris: World Energy Outlook Special Report, 2015.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

[7] E. Frankenberg, D. McKee, and D. Thomas, "Health consequences of forest fires in Indonesia," *Demography*, Vol. 42, No. 1, pp. 109-129, 2005.
[8] M. H. Forouzanfar, L. Alexander, H. R. Anderson, V. F. Bachman, S. Biryukov, M. Brauer, R. Burnett, D. Casey, M. M. Coates, A. Cohen et al., "Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013," The Lancet, Vol. 386, pp. 2287–2323, 2015.
[9] H. H. Lee, O. Iraqui, Y. Gu, S. Hung-Lam Yim, A. Chulakadabba, A. Yiu-Ming Tonks, Z. Yang, and Chien Wang, "Impacts of air pollutants from fire and non-fire emissions on the regional air quality in Southeast Asia," *Atmos. Chem. Phys.*, Vol. 18, pp. 6141–6156, 2018. https://doi.org/10.5194/acp-18-6141-2018
[10] IEA, *Southeast Asia Energy Outlook 2019*, Paris: IEA, 2019. Diakses pada Tanggal 21 Desember di https://www.iea.org/reports/southeast-asia-energy-outlook-2019
[11] L. Johansson, J-P. Jalkanen, and J. Kukkonen, "Global assessment of shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution," *Atmospheric Environment*, Vol. 167, pp. 403–415, 2017. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.042.
[12] H-H Lee, O. Iraqui, and C. Wang, "The impact of future fuel consumption on regional air quality in Southeast Asia," *Scientific Reports*, Vol. 9, No. 2648, 2019.
[13] The International Energy Agency (IEA), Southeast Asia Energy Outlook, 2017.
[14] P. A-Speed and H. V. Singh, How to power a bright future for ASEAN, World economic forum, 2018, Diakses pada Tanggal 19 Desember 2020 pada https://www.weforum.org/agenda/2018/09/developing-a-shared-vision-for-aseans-energy-transition/
[15] S. Wajjwalku, K. C. Ho, and O. Yoshida, *Advancing the Regional Commons in the New East Asia*, London and New York: Routledge Taylor & Francis Group, 2016.
[16] H. Plecher, Gross domestic product of the ASEAN countries from 2008 to 2018, 2019, Diakses pada Tanggal 11 Februari 2020 di https://www.statista.com/statistics/796245/gdp-of-the-asean-countries/
[17] The ASEAN Secretariat, *ASEAN Framework Action Plan on Rural Development and Poverty Eradication (2011-2015)*, Jakarta: Association of Southeast Asian Nations, 2012.
[18] The ASEAN Secretariat, *ASEAN Framework Action Plan on Rural Development and Poverty Eradication 2016-2020*, Jakarta: Association of Southeast Asian Nations, 2017.
[19] S. Sumarto and S. Moselle, *Addressing Poverty and Vulnerability in ASEAN: an Analysis of Measures and Implications Going Forward*, ERIA Discussion Paper Series, 2015.
[20] International Renewable Energy Agency (IRENA), Renewable Energy Benefits: Understanding the Socio-Economics, 2017.
[21] Oxford Economics, Technology and The Future of Asean Jobs: The impact of AI on workers in ASEAN's six largest economies, CISCO, 2018.
[22] IRENA, Renewable Energy Market Analysis: The GCC Region. Abu Dhabi: IRENA, 2016a.
[23] IRENA, Renewable Energy Market Analysis: Latin America. Abu Dhabi: IRENA, 2016.
[24] IRENA, Renewable Energy Market Analysis: Southeast Asia. Abu Dhabi: IRENA, 2018a.
[25] UNESCAP, National Review of 20-Year Implementation of the Beijing Platform for Action (BPFA) in Vietnam and the Outcomes of the 23rd Special Session of the General Assembly, 2014.
[26] UNDP, Regional Organizations, Gender Equality and the Political Empowerment of Women, International IDEA, 2017.
[27] ASEAN, *the ASEAN Charter*, Jakarta: ASEAN Secretariat, 2008.
[28] The Association of Southeast Asian Nations (ASEAN), *Projected Gender Impact of the ASEAN Economic Community*. Jakarta: ASEAN Secretariat, 2016.
[29] T. Liang-lin, Five gender gaps Singapore women still face in 2015, The Straits Times, 2015. Diakses pada Tanggal 21 Desember 2021 pada https://www.straitstimes.com/opinion/five-gender-gaps-singapore-women-still-face-in-2015
[30] Inter-Parliamentary Union (IPU), Women in Parliament in 2015: the year in review, 2015.
[31] M. Aring, ASEAN Economic Community 2015: enhancing competitiveness and employability through skill development, Bangkok: ILO, 2015.
[32] World Economic Forum, Human Capital Outlook: Association of Southeast Asian Nations (ASEAN), 2016.
[33] Atradius, 2nd February 2015, Country Report Vietnam, Diakses pada 21 Desember 2021 di https://group.atradius.com/publications/country-report-vietnam-2015.html

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

[34] World Economic Forum, 21 August 2014, Global Competitiveness Report 2014-2015, Diakses Pada Tanggal 21 Desember 2021 di https://www.weforum.org/reports/global-competitiveness-report-2014-2015
[35] ADB and ILO, *ASEAN Community 2015: Managing Integration for Better Jobs and Shared Prosperity*. Thailand: ILO and ADB, 2014.
[36] ASEAN, *Asean Economic Community Blueprint*, Jakarta: ASEAN Secretariat, 2008.
[37] ASEAN, ASEAN Socio-Cultural Community Blueprint 2025. Jakarta, ASEAN Secretariat, 2016.
[38] V. T. Thanh and N. A. Duong, "Promoting Rural Development, Employment, and Inclusive Growth in ASEAN. Promoting Rural Development, Employment, and Inclusive Growth in ASEAN," *ERIA Discussion Paper Series*, 2016.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Akuntansi Universitas Jember
Vol. 18 No. 1 (2020)

MENELISIK DAMPAK PENGGUNAAN ENERGI TERBARUKAN PADA LAPORAN KEUANGAN

ANALYSIS THE IMPACT OF RENEWABLE ENERGY IN FINANCIAL STATEMENT

Gardina Aulin Nuha
gardina@unmuhjember.ac.id
Universitas Muhammadiyah Jember

Ari Sita Nastiti
arisitanastiti@unmuhjember.ac.id
Universitas Muhammadiyah Jember

ABSTRACT

This study analyzed the impact of renewable energy in financial statement of energy companies listed on Indonesian Stock Exchange. This study used 3 energy companies during the 2018 period as samples. This study is written using a qualitative descriptive approach by analyzing the financial statements and annual reports of sample companies. Based on the data analysis, the results show that that the use of renewable energy had no particular impact on the financial statements of the energy sector companies. Information related to accounting treatment of renewable energy assets is still very minimal reported by the company. Especially for the companies that are still new to implementing and developing renewable energy, there is not much information related to renewable energy assets. This is indicated by the absence of accounting rules governing for the use of renewable energy, so that renewable energy assets are treated as the same as other fixed assets.

Keywords: ***Accounting, Annual Report, Financial Statement, Fixed Asset, Renewable Energy***

1. PENDAHULUAN

Potensi sumber daya alam yang dimiliki oleh Indonesia sangatlah besar. Namun, hal tersebut tidak menjamin bahwa Indonesia akan bebas dari fenomena kelangkaan sumber daya alam. Kelangkaan sumber daya alam merupakan sebuah fenomena yang terjadi akibat ketidakseimbangan antara kebutuhan manusia yang tidak terbatas dengan sumber daya alam yang terbatas. Sumber daya alam yang memiliki unsur keterbatasan adalah sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui.

Ketidakmampuan alam untuk memperbarui dikarenakan waktu penggunaan sumber daya tersebut lebih cepat daripada waktu pembentukkannya. Seperti kita ketahui bersama, bahwa sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui merupakan sumber daya yang berasal dari fosil pada jutaan tahun yang lalu.

Data penggunaan sumber daya alam dalam bentuk energi di Indonesia dengan rincian sebagai berikut: 1). Bahan Bakar Minyak (BBM): 52,50% ; 2). Gas: 19, 04% ; 3). Batu Bara: 21,52% ; 4). Air: 3,73% ; 5). Panas Bumi: 3,01% ; 6). Energi Baru: 0,2% (Kholiq, 2015). Berdasarkan data tersebut dapat kita ketahui bahwa penggunaan sumber daya terbesar adalah minyak. Minyak merupakan sumber daya alam yang

sifatnya tidak dapat diperbarui. Jumlah sumber daya minyak saat ini mulai menurun, bahkan Indonesia mengambil keputusan untuk impor. Hal tersebut dikarenakan sumber energi minyak bumi masih menjadi sumber utama yang digunakan dalam hal kelistrikan, transportasi, dan industri. Permasalahan tersebut mengharuskan berbagai negara termasuk Indonesia untuk mencari alternatif lain yang dapat digunakan sebagai pengganti dari sumber daya yang sifatnya tidak dapat diperbarui.

Alternatif tersebut merupakan bentuk dari diversifikasi energi, yang berarti penggunaan energi lain yang masih banyak tersedia. Pengkajian mengenai alternatif tersebut sudah banyak dilakukan dan diterapkan di berbagai negara. Alternatif energi-energi tersebut biasa disebut dengan energi terbarukan. Energi terbarukan merupakan energi yang sifatnya berkelanjutan dan proses pembentukkanya tidak membutuhkan waktu yang lama sehingga sifat dari energi ini selalu dapat diperbarui. Sumber energi yang termasuk dalam energi terbarukan adalah energi panas bumi, energi surya atau matahari, tenaga angin, tenaga air, dan biomassa. Sumber energi tersebut merupakan potensi energi yang biasa menjadi alternatif.

Indonesia merupakan salah satu negara yang berkomitmen untuk menggunakan energi terbarukan sebagai solusi berkaitan dengan permasalahan energi. Komitmen tersebut dibuktikan dengan keluarnya UU No. 30 Tahun 2007. Dimana pada tahun 2025, pemerintah menargetkan penggunaan energi terbarukan sebesar 23% dan di tahun 2050 meningkat menjadi 31%. Selain itu, komitmen Indonesia dalam penggunaan energi terbarukan dibuktikan dengan penandatanganan *Paris Agreementto The UN Framework Convention on Climate Change* yang salah satunya mengenai upaya mengurangi gas rumah kaca. Lebih lanjut lagi, komitmen diatas dapat terlaksana dengan sinergi yang baik antara pemerintah dan masyarakat. Masyarakat dalam hal ini perusahaan BUMN maupun sektor swasta diharapkan dapat mulai mengganti penggunaan energinya ke arah energi terbarukan.

Untuk memacu agar berbagai entitas baik sektor BUMN maupun swasta menggunakan energi terbarukan, pemerintah memberikan stimulus positif. Salah satunya melalui kebijakan fiskal. Kebijakan fiskal ini disebut dengan fasilitas insentif fiskal. Insentif perpajakan bagi pengguna sumber energi terbarukan tertuang dalam Peraturan Menteri Keuangan No.24/PMK.011/2010, tertanggal 29 Januari 2010. Fasilitas pajak yang diberikan sebagai bentuk keringanan pada perusahaan yang menerapkan energi terbarukan yaitu berupa fasilitas PPh, fasilitas PPN, fasilitas Bea Masuk, dan fasilitas pajak ditanggung Pemerintah.

Lebih lanjut lagi, penggunaan energi terbarukan ternyata dapat memberikan dampak pada laporan keuangan. Kajian mengenai dampak penggunaan energi terbarukan dilakukan oleh beberapa kantor akuntan publik (KAP). Hal tersebut patutdikaji karena, laporan keuangan perusahaan yang menggunakan energi terbarukan, ketika diaudit akan menemukan kondisi-kondisi yang berbeda dengan perusahaan lainnya. Salah satu KAP PricewaterhouseCoopers (PwC) yang berada di Jepang telah melakukan kajian mengenai dampak penggunaan energi terbarukan pada laporan keuangan. Sebuah perusahaan konsultan yaitu Amper, Politziner & Mattia juga melakukan pengkajian mengenai praktek akuntansi untuk proyek energi terbarukan. Selain itu perusahaan konsultan akuntansi yaitu MossAdams juga telah melakukan kajian mengenai panduan akuntansi untuk perusahaan yang menerapkan energi terbarukan.

Isu akuntansi yang dibahas oleh konsultan akuntansi akibat dari penggunaan energi terbarukan adalah berkaitan dengan kebijakan depresiasi atau penyusutan aset, biaya yang timbul akibat proyek pembuatan energi terbarukan, leasing, dan permasalahan pajak. Lebih lanjut lagi, riset yang membahas mengenai dampak penggunaan energi terbarukan pada laporan keuangan di Indonesia belum ada. Bahkan, secara aturan akuntansi belum diatur di dalam PSAK (Pernyataan Standar Akuntansi Keuangan). Lebih jauh lagi, kebijakan fiskal yang ditetapkan di Indonesia berkaitan dengan perusahaan yang menerapkan energi terbarukan perlu untuk dikaji dalam hal dampaknya terhadap laporan keuangan.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka peneliti tergelitik untuk melakukan penelitian dengan mengkaji dampak penggunaan energi terbarukan pada laporan keuangan. Pengkajian akan dilakukan melalui sumber literatur dan riset dilanjutkan dengan menganalisis laporan keuangan perusahaan energi yang telah listing dan yang telah menerapkan energi terbarukan. Tujuan dari penelitian ini adalah Berdasarkan perumusan penelitian diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak penggunaan energi terbarukan pada laporan keuangan perusahaan di Indonesia.

2. TINJAUAN LITERATUR

Price Waterhouse Coopers, sebagai salah satu kantor jasa profesional akuntansi terbesar yang termasuk dalam *The Big Four Auditors*, merumuskan beberapa isu terkait permasalahan akuntansi untuk bisnis dan investasi di bidang energi terbarukan (www.pwc.com), antara lain:

a. Penyusutan peralatan pembangkit listrik
   Dalam bisnis energi terbarukan, investasi dalam aset tetap merupakan bagian terbesar dari biaya konstruksi, seperti: panel surya untuk energi surya dan turbin angin untuk energi angin. Aset tetap ini harus disusutkan secara berkala dan teratur berdasarkan metode akuntansi yang cukup komprehensif untuk mengalokasikan biaya secara tepat. Dalam perhitungan penyusutan, masa manfaat didasarkan pada estimasi tahun penggunaan aset yang mendasari di masa depan. Namun terjadi permasalahan, apabila masa manfaat dalam kebijakan penyusutan aset-aset tersebut berbeda dengan ketentuan pajak.
b. Depresiasi khusus dan cadangan untuk depresiasi khusus
   Untuk alasan politis, depresiasi khusus, termasuk depresiasi satu kali, diperbolehkan untuk beberapa aset yang digunakan dalam bisnis energi terbarukan sebagai bagian dari Kredit Pajak Investasi Hijau. Namun, karena depresiasi formal diperlukan untuk tujuan akuntansi, depresiasi khusus berdasarkan Kredit Pajak Investasi Hijau harus dipertanggungjawabkan dengan mencatat cadangan untuk depresiasi khusus.
c. Pengeluaran modal (*capital expenditures*) dan biaya pemeliharaan (*repair expenses*)
   Untuk tujuan akuntansi, pengeluaran modal didefinisikan sebagai pengeluaran yang meningkatkan nilai aset yang mendasarinya, sementara biaya pemeliharaan didefinisikan sebagai biaya yang diperlukan untuk mempertahankan nilai sekarang. Definisi ini jelas, tetapi secara praktis seringkali sulit untuk membedakannya, salah satunya terkait pertimbangan dalam perlakuan pajak.
d. Sewa Peralatan
   Sebagai bagian dari strategi keuangan, beberapa operator menggunakan peralatan pembangkit listrik yang disewa dari perusahaan leasing daripada memiliki sendiri. Dalam kasus ini, ada dua jenis metode akuntansi sewa yang disyaratkan oleh standar akuntansi saat ini: sewa pembiayaan (*finance leases*) dan sewa operasi (*operating*

leases). Sewa pembiayaan dicatat sebagai transaksi jual beli, sedangkan sewa operasi dicatat sebagai transaksi sewa. Sewa pembiayaan adalah kontrak sewa yang jangka waktunya tidak dapat dibatalkan, dimana penyewa menerima manfaat ekonomi substansial dari aset sewaan dan menanggung semua biaya yang timbul dari penggunaan aset sewaan. Sewa operasi didefinisikan sebagai sewa yang bukan sewa pembiayaan.

e. Perlakuan akuntansi untuk sewa tanah dan kewajiban penghapusan aset
   Tanah dapat disewa ketika memasang peralatan pembangkit listrik seperti panel surya. Dalam kasus seperti itu, kewajiban untuk menghapus peralatan yang dipasang dan mengembalikan tanah kepada pemilik dapat timbul pada akhir masa sewa. Ini harus dipertimbangkan ketika menilai masa pakai peralatan pembangkit listrik, dan jika biaya untuk penghentian peralatan terjadi, biaya tersebut harus diakui dan dicatat sebagai kewajiban penghentian pengoperasian aset.
f. Penilaian dan pengakuan penurunan nilai pada akhir periode
   Peralatan pembangkit listrik adalah aset tetap dan pada prinsipnya dinilai berdasarkan biaya perolehan (*cost*). Namun, akuntansi penurunan nilai diperlukan dalam kasus-kasus tertentu. Akuntansi penurunan nilai adalah perlakuan untuk mengurangi nilai buku suatu aset untuk mencerminkan pengembalian aset dalam kondisi tertentu, ketika jumlah yang diinvestasikan dianggap tidak sepenuhnya dapat dipulihkan karena penurunan profitabilitasnya. Harus dicatat bahwa akuntansi penurunan nilai tidak mengharuskan aset dinilai pada harga pasar, tetapi akuntansi mengharuskan penurunan nilai buku dalam kondisi tertentu.
g. Konsolidasi laporan keuangan ketika operator adalah Entitas bertujuan khusus (*Special Purpose Entities*)
   Entitas bertujuan khusus (SPE) sering digunakan dalam pembiayaan proyek untuk konstruksi dan pembelian peralatan pembangkit listrik. Pada prinsipnya, SPE tersebut harus dikonsolidasikan ketika dianggap sebagai anak perusahaan. Namun, pertimbangan yang cermat diperlukan karena dalam banyak kasus, kepentingan voting tidak selalu memiliki pengaruh besar pada kekuatan untuk mengendalikan SPE tersebut.
h. Perbedaan antara perlakuan pajak dan akuntansi saat operator menggunakan *"conduit"*
   Untuk meningkatkan efisiensi pajak, beberapa operator menggunakan struktur yang disebut *conduit* di mana mereka memiliki SPE peralatan pembangkit energi sendiri sehingga operator tidak perlu menanggung kewajiban pajak. Karena perbedaan dalam perlakuan pajak dan akuntansi dalam struktur *"conduit"*umumnya menghasilkan *"conduit"* yang menanggung kewajiban pajak, maka harus dipertimbangkan dengan hati-hati ketika menilai penurunan nilai dan item lainnya yang sering menunjukkan perbedaan yang signifikan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian kualitatif intrepretif dengan teknik studi literatur atau studi pustaka *(Library Research)* berupa pencarian fakta dengan interpretasi yang tepat. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis deskriptif, yaitu dengan jalan mengumpulkan data, menyusun atau mengklarifikasi, menyusun dan menginterpretasinya (Surakhmad, 1980:147). Kajian deskriptif ini dimulai dengan merumuskan masalah, merumuskan fokus, kajian, atau

mengajukan pertanyaan-pertanyaan kajian, dilanjutkan dengan pengumpulan data oleh peneliti sebagai instrumennya.

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, berupa literatur (kepustakaan), laporan keuangan dan laporan tahunan perusahaan yang diperoleh dari website masing-masing perusahaan. Adapun Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini berupa metode dokumentasi, yaitu dengan mendokumentasikan data–data yang bersifat kepustakaan, berupa informasi-informasi yang didapat dari buku, dan jurnal maupun laporan publikasian perusahaan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah daftar nama perusahaan yang diteliti dalam penelitian ini:

Tabel 5.2 Daftar Perusahaan

NO	NAMA PERUSAHAAN	KODE PERUSAHAAN
1	PT. Mega Power Makmur Tbk	MPOW
2	PT. Cikarang Listrindo Tbk	POWR
3	PT. Terregra Asia Energy Tbk	TGRA

Sumber: www.idx.co.id

Analisis Laporan Keuangan dan Laporan Tahunan Perusahaan

a. PT. Mega Power Makmur Tbk (MPOW)

Kegiatan usaha yang dilakukan MPOW sepanjang tahun 2018 adalah pembangkit tenaga listrik dan pengoperasian fasilitas pembangkit yang menghasilkan energi listrik, yang berasal dari berbagai sumber energi seperti tenaga air (hidroelektrik), batubara, gas (turbin gas) dan bahan bakar minyak. Di tahun 2018, MPOW juga melakukan berbagai ekspansi bidang pembangkit tenaga listrik energi baru dan terbarukan (*renewable energy*) seperti minihydro, energi surya, angin, biomass dan semacamnya demi mewujudkan listrik yang ramah bagi lingkungan.

Berikut adalah kapasitas produksi MPOW untuk pembangkit tenaga listrik di tahun 2017 dan 2018, sebagaimana terlihat dalam Tabel 3 ini:

Tabel 3 Kapasitas Produksi Proyek Pembangkit Listrik MPOW

(dalam kWh) / in kWH

Proyek Project	2018	2017
PLTD		
Toboali 1	20.680.550	26.385.400
Toboali 2	20.663.700	26.318.200
Muntok	36.165.050	26.271.500
Bengkalis	17.501.994	26.906.722
Siak	49.056.000	45.154.500
Sungai Apit	18.396.000	19.618.500
PLTM		
Bantaeng-1	13.223.522	14.183.235

Sumber: Laporan Tahunan MPOW, 2018

Dari data tersebut terlihat bahwa terjadi penurunan kapasitas produksi di Tahun 2018 pada proyek pembangkit listrik MPOW secara keseluruhan sebesar 4,95% dibandingkan tahun 2017. Adapun proyek tenaga listrik energi terbarukan MPOW yaitu PLTM Bantaeng-1 memiliki kapasitas produksi sebesar 13.223.552 KWh di Tahun 2018 atau sebesar 10,47% dari keseluruhan kapasitas produksi proyek pembangkit listrik MPOW di tahun 2018.

Sepanjang tahun 2018, tidak terdapat investasi barang modal (*Capital Investment*) yang signifikan di MPOW. Berikut adalah data aset berupa barang modal (*Capital Investment*) MPOW sebagaimana terlihat dalam Tabel ini:

Tabel 4. *Capital Investment* MPOW di Tahun 2017 dan 2018

Keterangan Description	2018	2017
Tanah Land	13,406	13,406
Bangunan Building	106,771	98,033
Mesin Machineries	244,717	242,892
Biaya Perolehan At Cost	364,894	354,331
Akumulasi Penyusutan - Bangunan Accumulated Depreciation - Buildings	12,446	7,515
Akumulasi Penyusutan - Mesin Accumulated Depreciation - Machineries	56,573	39,944
Total Akumulasi Penyusutan Total Accumulated Depreciation	69,019	47,459

Sumber: Laporan Tahunan MPOW, 2018

MPOW menerapkan PSAK No. 16, "Aset Tetap". Pada tahun 2015, MPOW melakukan perubahan kebijakan akuntansi atas peralatan, mesin dan kendaraan dari model biaya menjadi model revaluasi. Peralatan, mesin dan kendaraan disajikan sebesar nilai wajar, dikurangi akumulasi penyusutan. Penilaian terhadap peralatan, mesin dan kendaraan dilakukan oleh penilai independen eksternal yang telah memiliki sertifikasi. Metode penyusutan yang digunakan adalah metode garis lurus (*straight Line Method*) berdasarkan estimasi masa manfaat ekonomis aset, dengan rincian: Kendaraan = 4-5 Tahun, Peralatan Kantor = 4 Tahun, Mesin = 16 Tahun dan Bangunan = 20 Tahun.

MPOW tidak melakukan pengeluaran modal (c*apital expenditure*) yang signifikan di tahun 2018. Namun setiap biaya perbaikan dan pemeliharaan yang timbul, akan diakui sebagai beban dan dicatat pada laporan laba rugi dan pendapatan komprehensif lainnya. Dalam semua laporan publikasinya, MPOW tidak merinci jenis aset-aset yang dimilikinya, apakah itu termasuk ke dalam proyek PLTD ataupun proyek energi terbarukannya, yaitu PLTM Bantaeng-1. Namun pada setiap aset yang dimiliki oleh MPOW dilakukan revaluasi secara berkala oleh penilai independen eksternal bersertifikat.

b. PT. Cikarang Listrindo Tbk (POWR)

Pada tahun 2018, POWR menganggarkan keperluan belanja modal (*Capital Expenditure)* sebesar US$ 40juta-US $50juta. Dimana 50% dari anggaran tersebut digunakan untuk pemeliharaan gas dan batu bara, sedangkan 50% sisanya digunakan untuk pembangunan dan pengembangan energi terbarukan.

POWR berkomitmen untuk melakukan penelitian dan pengembangan terhadap energi terbarukan. Pengembangan pertama berkaitan dengan energi terbarukan dilakukan di tahun 2018. Pengembangan tersebut dalam bentuk pembangunan *pilot project solar rooftop* diatas kantor perseroan sebesar 52,5 kWp yang merupakan energi terbarukan melalui matahari. Selain itu, penelitian juga dilakukan dalam pilihan pembakaran dengan menggunakan biomassa.

Berdasarkan informasi diatas, dapat disimpulkan bahwa pengembangan energi terbarukan, dalam hal ini pembangunan *pilot project solar rooftop*, pada laporan keuangan dicatat sebagai belanja modal sehingga terklasifikasi sebagai aset tidak lancar. Pada tahun 2018, POWR membukukan aset tidak lancarnya senilai US$ 960. 524. 752. Aset tidak lancar POWR terdiri dari: 1) Uang muka pembelian aset tetap, 2) Tagihan Pajak, 3) Pinjaman karyawan, 4) Aset Tetap (bersih), 5). Properti Investasi (bersih), 6). Aset Pajak Tangguhan (bersih), 7). Aset Tidak Lancar Lainnya.

Dalam laporan keuangan POWR, belanja modal berkaitan dengan energi terbarukan tidak dijelaskan secara rinci mengenai klasifikasinya. Namun, jika ditelaah dari jenis aset tidak lancar yang dimiliki oleh POWR maka belanja modal energi terbarukan termasuk dalam kategori aset tetap atau properti investasi. Lebih lanjut lagi, telaah dilakukan terhadap kedua jenis aset tidak lancar tersebut.

- Aset Tetap
  Dalam laporan keuangannya, yang digolongkan sebagai aset tetap meliputi: 1) Bangunan dan prasarana, 2) Mesin dan Peralatan, 3) Kapal Tunda dan Tongkang, 4) Perabotan, perlengkapan, dan peralatan kantor, 5) Peralatan transportasi.
- Properti Investasi
  Dalam laporan keuangan POWR properti investasi merupakan ruang kantor yang dimiliki untuk penggunaan masa depan yang belum ditentukan, bukan untuk digunakan maupun penjualan dalam kegiatan operasi normal.

Berdasarkan telaah diatas maka dapat disimpulkan bahwa belanja modal untuk energi terbarukan termasuk dalam klasifikasi aset tetap. Hal tersebut tidak masuk kedalam properti investasi karena, properti investasi hanya berupa ruang kantor untuk masa depan, sehingga pembangunan *pilot project solar rooftop* termasuk dalam aset tetap. Oleh karenanya, maka pembangunan *pilot project solar rooftop* akan diakui sebesar biaya perolehannya yaitu seluruh biaya yang dihabiskan sampai aset tersebut siap digunakan. Selain itu, *pilot project solar rooftop* akan disusutkan setiap tahun menggunakan metode garis lurus dengan masa manfaat aset diprediksi berumur 10-20 tahun. Tidak ada penjelasan rinci mengenai berapa tepatnya masa manfaat dari *pilot project solar rooftop*.

c. PT. Terregra Asia Energy Tbk (TGRA)

PT. Terregra Asia Energy Tbk (TGRA) merupakan perusahaan energi yang cukup lama berkomitmen untuk pengembangan energi terbarukan. Sejak tahun 2009, penelitian dan pengembangan di bidang energi terbarukan secara rutin dilakukan. Selain itu, untuk mewujudkan komitmen energi berkelanjutan, TGRA memiliki anak perusahaan yang khusus menggunakan energi terbarukan dalam aktifitas produksinya. Dimana anak perusahaan tersebut, memiliki empat proyek pembangkit listrik tenaga surya yang

berlokasi di Australia. Selain itu, TGRA juga sedang proses membangun sembilan proyek pembangkit listrik tenaga air di Aceh, Sumatera Utara, dan Bengkulu.

Energi terbarukan bukanlah hal baru bagi TGRA, dimana fokus energi terbarukan yang dikembangkan oleh TGRA adalah pembangkit listrik tenaga surya (*solar*) dan pembangkit listrik tenaga air (*hydro*). Pada laporan tahunan TGRA, pembangkit tenaga listrik dicatat sebagai aset tetap. Untuk pembangkit listrik tenaga surya telah digunakan, namun untuk pembangkit listrik tenaga air masih dalam proses pembangunan. Hal tersebut, menyebabkan terdapat perbedaan perlakuan akuntansi untuk aset yang telah digunakan dan sedang dalam proses pembangunan. Berikut telaah yang dilakukan oleh peneliti berkaitan hal tersebut.

- Aset Dalam Pembangunan
  Aset dalam pembangunan adalah aset tetap dalam tahap konstruksi yang dinyatakan pada biaya perolehan dan tidak disusutkan. Akumulasi biaya pembangunan akan direklasifikasikan ke akun aset tetap yang bersangkutan dan akan disusutkan saat konstruksi telah selesai dan aset siap digunakan sesuai tujuannya.
- Aset Tetap Pemilikan Langsung
  Aset tetap pemilikan langsung merupakan aset tetap kecuali tanah yang diakui pada harga perolehannya dikurangi akumulasi penyusutan dan akumulasi penurunan nilai jika ada. Untuk biaya perawatan sehari-hari tidak dicatat sebagai penambahan aset, melainkan dicatat sebagai beban dalam laporan laba rugi komprehensif. Untuk aset tetap dalam bentuk tanah, dicatat pada harga perolehan tanpa disusutkan, namun nilainya dapat turun jika terjadi akumulasi penurunan nilai.

Berdasarkan penjelasan diatas maka dapat disimpulkan bahwa pembangkit listrik tenaga air (*hydro*) yang masih dalam pembangunan akan diakui dan diklasifikasi sebagai aset dalam pembangunan. Sedangkan pembangkit listrik tenaga surya (*solar*) diakui dan diklasifikasi sebagai aset tetap pemilikan langsung.

Berdasarkan kebijakan akuntansi TGRA, aset untuk energi terbarukan dalam hal ini pembangkit listrik tenaga surya diakui sebagai aset tetap pada harga perolehannya. Untuk biaya perbaikan dan pemeliharaan pembangkit listrik tenaga surya diakui sebagai beban pada laporan laba rugi komprehensif. Pembangkit listrik tenaga surya disusutkan setiap tahun dengan menggunakan metode garis lurus. Pembangkit listrik tenaga surya termasuk dalam kategori peralatan panel surya dengan masa manfaat 4-8 tahun.

Isu Akuntansi Berkaitan dengan Energi Terbarukan

Lebih lanjut lagi, akan dilakukan telaah mengenai isu akuntansi berkaitan dengan energi terbarukan. Isu akuntansi ini dirumuskan oleh Kantor Akuntan Publik *Price Waterhouse Coopers* (PWC). Ringkasan isu akuntansi berhubungan dengan energi terbarukan yang dianalisis melalui data empiris pada laporan publikasi perusahaan dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Ringkasan Isu Akuntansi terkait Energi Terbarukan pada Perusahaan yang diteliti

NO.	Isu Akuntansi	MPOW	PWOR	TGRA
1.	Penyusutan peralatan pembangkit listrik	Menggunakan metode garis lurus yang berbeda dengan kebijakan pajak	Menggunakan metode garis lurus yang berbeda dengan kebijakan pajak	Menggunakan metode garis lurus yang berbeda dengan kebijakan pajak
2.	Depresiasi khusus dan cadangan untuk depresiasi khusus	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya
3.	Pengeluaran modal (*capital expenditures*) dan biaya pemeliharaan (*repair expenses*)	Pembangunan energi terbarukan diakui sebagai *capital investment*. Adapun biaya perbaikan dan pemeliharaan yang timbul, akan diakui sebagai beban.	Pembangunan energi terbarukan diakui sebagai *capital expenditures* sedangkan biaya pemeliharaannya diakui sebagai beban.	Aset energi terbarukan diakui sebagai belanja modal sedangkan aset energi terbarukan yang masih dalam pembangunan diakui sebagai aset dalam pembangunan dan jika selesai akan diakui langsung sebagai aset tetap. Biaya pemeliharaannya diakui sebagai beban
4.	Sewa Peralatan	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya	TGRA menyewakan beberapa panel suryanya, dengan menggunakan kebijakan sewa operasi yang memiliki jangka waktu yang terbatas.
5.	Perlakuan akuntansi untuk sewa tanah dan kewajiban penghapusan aset	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

NO.	Isu Akuntansi	MPOW	PWOR	TGRA
6.	Penilaian dan pengakuan penurunan nilai pada akhir periode	Menggunakan model revaluasi dalam menilai aset energi terbarukan dan berdasarkan evaluasi manajemen, tidak ada peristiwa yang mengindikasikan penurunan nilai aset	Mengakui dan menilai pembangunan energi terbarukan pada biaya perolehannya, namun tidak ada pembahasan lebih lanjut mengenai penurunan nilai karena memang aset tersebut baru dibangun di tahun 2018.	Mengakui dan menilai pembangunan energi terbarukan pada biaya perolehannya, dan bila ada indikasi penurunan nilai maka TGRA akan melakukan penyesuaian kembali untuk nilai yang seharusnya.
7.	Konsolidasi laporan keuangan ketika operator adalah Entitas bertujuan khusus	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya
8.	Perbedaan antara perlakuan pajak dan akuntansi saat operator menggunakan *"conduit"*	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya	Tidak menjelaskan dalam laporannya

Sumber: Data Diolah, 2020

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Analisis dan Pembahasan

Indonesia memiliki potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang sangat besar. Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia mencapai lebih dari 400 Giga Watt (GW), namun baru sekitar 1 GW yang dimanfaatkan. Pemerintah terus berupaya melaksanakan percepatan pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) agar dapat mencapai target 23% pada bauran energi nasional tahun 2025 sebagaimana amanat Rencana Umum Energi Nasional (RUEN).

Sejalan dengan itu, pemerintah mencanangkan beberapa strategi percepatan pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT), antara lain: Pertama, mendorong peningkatan kapasitas unit-unit Pembangkit Listrik Tenaga (PLT)-EBT yang sudah ada dan proyek Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) yang sedang berjalan sesuai (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik) RUPTL. Kedua, upaya penciptaan pasar EBT. Ketiga, meningkatkan akses energi kepada masyarakat langsung melalui pendanaan APBN dan memudahkan akses kepada pendanaan yang kompetitif. Keempat, mengeluarkan kebijakan pendukung untuk memperbaiki tata kelola dalam rangka upaya percepatan proyek EBTKE (www.esdm.go.id).

Anjuran pemerintah dalam penggunaan energi terbarukan, turut didukung oleh perusahaan yang ada di Indonesia. Perusahaan di sektor energi mulai mencanangkan dan bahkan ada yang sudah mengembangkan energi terbarukan dalam aktifitas bisnisnya. Terdapat 7 perusahaan sektor energi yang telah *listing* di Indoenesia. Dimana 3 diantaranya telah mengembangkan dan menggunakan energi terbarukan. Lebih lanjut lagi, peneliti melakukan telaah terhadap dampak penggunaan energi terbarukan terhadap laporan keuangan perusahaan.

Berdasarkan hasil analisis terhadap laporan keuangan dan laporan tahunan perusahaan yang diteliti, diketahui bahwa informasi terkait perlakuan akuntansi terhadap aset energi terbarukan masih sangat minim dilaporkan oleh perusahaan. Apalagi untuk perusahaan yang masih baru menerapkan dan mengembangkan energi terbarukan, informasi yang berhubungan dengan aset energi terbarukan tidak banyak ditemukan. Sehingga penggunaan energi terbarukan tidak memberikan dampak besar pada laporan keuangan perusahaan.

Perusahaan memperlakukan aset energi terbarukannya sama dengan aset tetap lainnya, yaitu mengacu pada PSAK No. 16 "Aset Tetap". Dari tiga perusahaan yang diteliti yang dianalisis hanya 1 perusahaan yaitu TGRA yang merinci aset energi terbarukanya, sehingga nilai dan kebijakan akuntansinya lebih rinci. Sedangkan dua perusahaan lainnya tidak merinci aset-aset tetap yang dimiliki. Perusahaan cenderung menggabungkan aset energi terbarukannya dalam aset tetap secara umum. Oleh karenanya pengguna laporan keuangan kesulitan untuk menentukan berapakah nilai dari aset energi terbarukan yang dimiliki oleh perusahaan.

Perusahaan yang diteliti mengakui pembangunan energi terbarukan sebagai *capital expenditures* atau biaya modal, hal tersebut berarti bahwa perusahaan mengakui pembangunan energi terbarukan sebagai aset. Setiap biaya perbaikan dan pemeliharaan yang timbul terkait dengan aset energi terbarukan, akan diakui sebagai beban dan dicatat pada laporan laba rugi dan pendapatan komprehensif lainnya. Namun terdapat perbedaan dalam menilai aset energi terbarukan yang dimiliki. MPOW menggunakan model revaluasi, dimana setiap aset tetap yang dimiliki disajikan sebesar nilai wajar setelah dikurangi akumulasi penyusutan dan terhadap aset tetap dilakukan penilaian secara berkala oleh penilai independen eksternal yang telah memiliki sertifikasi. Adapun POWR dan TGRA menggunakan metode biaya dalam menilai aset tetapnya, dimana aset

tetap diakui pada harga perolehannya dikurangi akumulasi penyusutan dan akumulasi penurunan nilai jika ada.

Metode penyusutan yang digunakan perusahaan yang diteliti seragam, yaitu metode garis lurus (*straight-line method*), dengan umur estimasi berkisar antara 4-20 tahun tergantung jenis aset tetapnya. Metode ini berbeda dengan peraturan perpajakan di Indonesia yang menghendaki penggunaan metode saldo menurun dalam menghitung penyusutan aset tetap. Untuk mengatasi perbedaan tersebut, perusahaan diharuskan melakukan penghitungan kembali atau penyesuaian penyusutan menggunakan metode yang diwajibkan oleh pajak dalam laporan perpajakannya tiap tahun.

Terkait isu-isu akuntansi lainnya sehubungan dengan aset energi terbarukan, seperti: depresiasi khusus dan cadangan untuk depresiasi khusus, sewa peralatan, perlakuan akuntansi untuk sewa tanah dan kewajiban penghapusan aset, konsolidasi laporan keuangan ketika operator adalah Entitas Bertujuan Khusus, serta perbedaan antara perlakuan pajak dan akuntansi saat operator menggunakan *"conduit,* sangat sedikit sekali informasi yang dilaporkan oleh perusahaan dalam laporan publikasiannya.

Minimnya informasi perusahaan terkait perlakuan akuntansi untuk aset energi terbarukannya, kemungkinan disebabkan oleh belum adanya pedoman akuntansi, baik: PSAK, aturan pajak maupun aturan lainnya, yang khusus mengatur mengenai sektor usaha energi terbarukan yang dimiliki oleh perusahaan. Untuk itu perlu adanya pedoman akuntansi terkait Energi Baru Terbarukan (EBT) untuk dapat mengakomodir perkembangan sektor usaha Energi Baru Terbarukan (EBT) ke depan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan memberikan bukti empiris dan menganalisis mengenai dampak penggunaan energi terbarukan pada laporan keuangan perusahaan pada sektor energi. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan energi terbarukan tidak memberikan dampak khusus pada laporan keuangan perusahaan sektor energi. Informasi terkait perlakuan akuntansi terhadap aset energi terbarukan masih sangat minim dilaporkan oleh perusahaan. Apalagi untuk perusahaan yang masih baru menerapkan dan mengembangkan energi terbarukan, informasi yang berhubungan dengan aset energi terbarukan tidak banyak ditemukan. Hal tersebut diindikasi oleh belum adanya aturan akuntansi yang mengatur mengenai penggunaan energi terbarukan, sehingga aset energi terbarukan diperlakukan sama dengan aset tetap lainnya.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain: 1. Periode pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini hanya terdiri dari 1 tahun saja, yaitu tahun 2018; 2. Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pada metode dokumentasi saja, yaitu dengan cara menganalisis data-data informasi yang tercantum dalam laporan publikasi perusahaan.

Untuk itu, beberapa saran yang bisa peneliti berikan untuk penelitian selanjutnya, adalah: 1. Penelitian selanjutnya sebaiknya menambah jumlah periode penelitian agar hasil yang diperoleh dapat meningkatkan generalisasi atas dampak penggunaan energi terbarukan pada laporan keuangan perusahaan; 2. Penelitian selanjutnya dapat melengkapi metode pengumpulan datanya dengan menggunakan pula metode wawancara, sehingga dapat diperoleh informasi yang lebih dalam terkait perlakuan akuntansi untuk energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

Azwar, Saifuddin.(2001). *Metode Penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Farida, Lea Emilia., Andriani dan Susilowati, Hani. (2017). Analisis Pelaporan Aktivitas Pengelolaan Lingkungan Pada Perusahaan Pembangkit Listrik Tenaga Bio Energi. *Jurnal Intekna, Volume 17 (No. 1): Hal 1-78.*

Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor: 02 tahun 2004 tentang Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Pengembangan Energi Hijau).

Kholiq, Imam. (2015). Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal IPTEK, Volume 19 (No.2): Hal 75-91.*

Lyu, Xiaohuan dan Shi, Anna. (2018). Research on the Renewable Energy Industry Financing Efficiency Assessment and Mode Selection. *Sustainability Vol. 10 (No. 222): Hal 1-13.*

Mazzucato, Mariana dan Semieniuk, Gregor. (2018). Financing renewable energy: Who is financing what and why it matters. *Technological Forecasting & Social Change Vol. 127 (2018): Hal 8–22*

Miles, B.B., dan A.M. Huberman. (1992). *Analisa Data Kualitatif*. Jakarta: UI Press Jakarta.

Peraturan Menteri Keuangan Nomor 24/PMK.011/2010 tentang Pemberian Fasilitas Perpajakan dan Kepabeanan untuk Kegiatan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan.

Prastowo, Andi. (2010). *Menguasai Teknik-teknik Koleksi Data Penelitian Kualitatif*. Jogjakarta: DIVA Press.

Price Waterhouse Coopers (PWC). (2019). *Accounting Issues Concerning Businesses of and Investments in Renewable Energy.* https://www.pwc.com/jp/en/services/assurance/sustainability/renewable-energy/accounting.html. [16 Desember 2019].

Putan, Ana. 2013. Fiscal and Accounting Aspects in the Field of Renewable Energy in Romania. *International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences Vol. 3 (No.3) : Hal 89–94.*

Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Penerbit Alfabeta.

Surakhmad, Winarno. (1980). *Metodologi Pengajaran Nasional.* Bandung: Jemmars

Widyawati, Dini. (2018). Akuntansi Hijau (*Green Accounting*). http://bisnissurabaya.com/2018/05/18/akuntansi-hijau-green-accounting/. [16 Desember 2019].

MENGGALI POTENSI ENERGI LISTRIK "ENERGI BARU TERBARUKAN" BERSUMBER DARI PRODUKSI KELAPA SAWIT BIOMASSA DI ACEH TAMIANG

Rahmad Purnama[1], Hefri Yuliadi[2], Boas Aritonang[3], Mhd Fitra Zambak[4], Feri Kurniawan[5]
[1]Ekonomi PembangunanFakultas Ekonomi Universitas Terbuka,[2,3,4] Magister Teknik Elektro Universitas Muhamadiyah Sumatera Utara, [5]SMK Negeri 2 Karang Baru
[1]rahmad.mk@gmail.com, [2]hefri.yuliadi@yahoo.com, [3]boasart12345@gmail.com, [4]mhdfitra@umsu.ac.id, [5]ferismk2@gmail.com

Abstract

Listrik merupakan kebutuhan primer, sehingga Pemerintah Pusat didalam hal ini dibawah menteri ESDM bertanggung jawab atas pemenuhan kebutuhan ini dengan cara mengeluarkan Undang undang tentang penyediaan energi listrik seperti yang tertuang dalam Undang-Undang No. 30 tahun 2009 tentang ketenagalistrikan. Pemda baik Kabupaten dan Kabupaten/Kota Mempunyai peran membuat kebijakan berdasarkan kajian potensi energi listrik yang dimiliki gunakan untuk menjaga penyediaan energi listrik dari sekarang. Penelitian ini mengkaji tentang potensi pembangkit energi listrik yang bersumber dari energi terbarukan Biomass di Kabupaten Aceh Tamiang. Tujuan untuk mendapatkan gambaran potensi energi baru terbarukan yang ada di Kabupaten Aceh Tamiang dan dapat menentukan kebijakan energi listrik untuk pembangunan penyediaan energi listrik yang tepat dan efektif. metode penelitian adalah penelitian kuantitatif penelitian ini menggunakan data sekunder. Produksi sawit pada tahun 2013 mencapai 6.735.795,45 ton denganjumlah lahan **393.990 ha** Setiap hektar kebun kelapa sawit menghasilkan 17 ton tandan buah segar dan setiap Hektar lahan ditanami 148 pohon sawit dengan demikian untuk setiap pohon kelapa sawit menghasilan 115 kg/tahun. Sehingga dengan jumlah produksi yang bersar tersebut maka didapatkan energi listrik yang terbangkit dari potensi limbah produksi kelapa sawit adalah 1.573 MWh. Potensi ini dapat membantu pemenuhan energi nasional 35 Ribu MWh.

Kata Kunci : Listrik, ESDM dan Kepala Sawit

1. Pendahuluan

Pada era teknologi yang berkembang saat ini listrik merupakan kebutuhan primer, bagaimana tidak, semua peralatan masyarakat pada zaman saat ini sudah menggunakan peralatan listrik. Adapun peralatan kebutuhan rumah tangga harus terhubung dengan peralatan lisrik seperti penanak nasi listrik (Rice Cooker), Pemanas air (Dispenser) alat penggiling bumbu dan masih banyak lagi. Peralatan Lisrik ini digunakan karena effesiensinya tinggi dan biaya operasional tergolong murah. Purnama (2015) menyatakan bahwa kebutuhan energi listrik akan meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi. Hal ini dapat dilihat dari kegiatan ekomoni yang akan menghasilkan pertumbuhan ekonomi tersebut, dengan terjadi peningkatan tersebut juga akan meningkatnya kebutuhan konsumsi tidak hanya makanan juga konsumsi energi listrik [1].Pemerintah pusat didalam hal ini dibawah menteri ESDM terlah mengeluarkan Undang undang tentang penyediaan energi listrik seperti yang tertuang dalam Undang-Undang No. 30 tahun 2009 tentang ketenagalistrikan. Sedangkan Pemda Provinsi baik Kabupaten ataupun Kota Mempunyai peran penting sebagai pemegang kekuasan yang bertugas membuat kebijakan berdasarkan kajian potensi energi listrik yang dimiliki gunakan untuk menjaga penyediaan energi listrik dari sekarang.Pemerintah Pusat dalam hal ini Direktorat Sumber Daya Energi, Mineral dan Pertambangan dibawah naungan Badan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

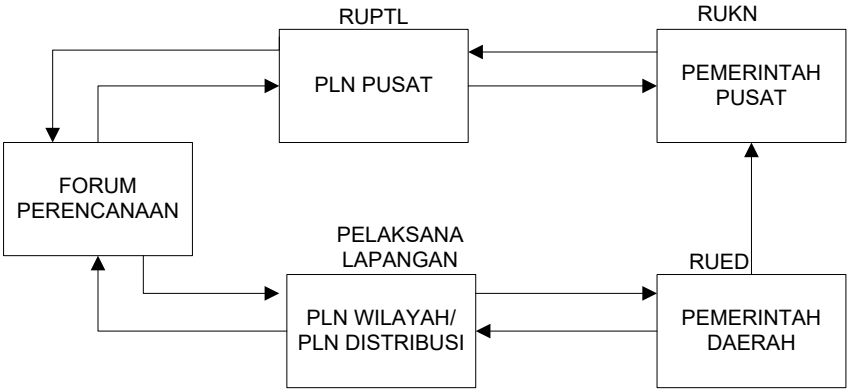
Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS) telah mengeluarkan Kebijakan Energi Nasional (KEN). Kebijakan Energi Nasional ini mengamanatkan serta metuntut pembangunan daerah agar dapat menkaji Potensi Energi yang dimiliki guna pembangunan berkelanjutan sehingga pemerintah ddapat dengan matang pembangunan berkelanjutan dapat terwujudAdapun penelitian ini mengkaji tentang potensi pembangkit energi listrik yang bersumber dari energi terbarukan Biomass di Kabupaten Aceh Tamiang kajian ini merupakan langkah awal untuk pertimbangan Pemerintah Daerah menentukan kebijakan mengenai potensi energi baru terbarukan yang dimiliki. Sehingga dengan pembahasan ini pemerintah mendapatkan gambaran potensi energi baru terbarukan yang ada di Kabupaten Aceh Tamiang dan dapat menentukan kebijakan energi listrik untuk pembangunan penyediaan energi listrik yang tepat dan efektif.

2. Tinjuan Pustaka

2.1 Teori Perencanaan Ketenagalistrikan Nasional.

Regulasi tentang ketenagalistrikan pertama adalah Undang - Undang Nomor 15 Tahun 1985 tentang ketenagalistrikan, Peraturan Pemerintah Nomor 10 Tahun 1989 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik sebagaimana telah dua kali di Amandemen terakhir dengan Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2006, maka seluruh pelaku usaha penyediaan tenaga listrik yang memiliki wilayah usaha wajib membuat Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) dengan mengacu kepada RUKN [2].

Dalam Riset sebelumnya sudah yang membuat gambaran tentang skema tentang perumusan RUPTL [3] , adapun yang menjadi skema perumusan dapat di lihat pada gambar 1



Gambar 1. Skema Proses Perumusan RUPTL

Proses perencanaan sistem ketenagalistrikan dijelaskan Novitasari (2012) dalam keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Pedoman Penyusunan Rencana Umum Ketenagalistrikan. Untuk menyusun Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) dan rencana Umum Ketenagalistrikan Daerah (RUKD) harus mengikuti proses perencanaan.

Dalam keputusan menteri tersebut juga dijelaskan tentang asas Perencanaan ketenagalistrikan dimana asas perencanaan ketenagalistrikan tersebut berpedoman pada asas biaya terendah (*least cost*), Potensi yang dimiliki oleh daerah tersebut sehingga penyediaan tenaga listrik, pemakaian tenaga listrik yang kesemuanya dapat dilakukan secara terintegrasi.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2.2 Faktor yang Mempengaruhi Kebutuhan Energi Listrik.

Energi listrik saat ini sudah menjadi kebutuhan *primer* dalam kehidupan masyarakat, karena menjadi kebutuhan *primer* maka kebutuhan konsumsi energi listrik ini akan mengalami peningkatan . Peningkatannya akan terus berkembang dengan bentuk grafik naik dari waktu ke waktu. beberapa faktor yang mempengaruhi kebutuhan energi listrik, Pertumbuhan Penduduk [4], Pertumbuhan Ekonomi, Faktor-faktor lain Seperti dipengaruhi oleh jumlah anggota dalam rumah tangga dan rencana pembangunan daerah setempat.

2.3 Model dan Pendekatan Perencanaan Energi.

Perencanaan energi terdapat beberapa model pendekatan. Berdasarkan keputusan menteri ESDM juga menyebutkan beberapa model pendekatan perencanaan energi yang biasa digunakan yaitu pendekatan *end-use*, ekonometrika, proses, dan *trend* [5]

2.4. Teori Energi Baru terbarukan (Biomass)

Biomassa merupakan salah satu sumber energi yang telah digunakan sejak dari jaman dahulu kala. Biomassa adalah semua benda organik (misal: kayu, tanaman pangan, limbah hewan & manusia) dan bisa digunakan sebagai sumber energi untuk memasak, memanaskan dan pembangkit listrik. Sumber energi ini bersifat terbarukan karena pohon dan tanaman pangan akan selalu tumbuh dan akan selalu ada limbah tanaman [6][7]. Limbah tanaman sawit merupakan salah satu limbah tananam hasil pemanfaatan sawit yang dijadikan VCO (*Virgin Couconout Oil*). Limbah ini banyak ditemukan pada PKS (Pabrik Kelapa Sawit). Adapun limbah yang dihasilkan dari pembuatan VCO di PKS berupa 0,6 % cangkang, 23 % bungkil kosong dan 12 % serabut dari produksi 1 ton sawit segar (Kusuma, 2010).



Gambar 2. Buah Sawit Segar.



Gambar 3. Cangkang Sawit.



Gambar 4. Tandan Kosong



Gambar 5. Serat Sawit.

Tabel 1. Kalori dari Kelapa Sawit

No	Jenis Limbah	Kandungan Kalori
1	Serat	3500-4100 kkal kg
2	Cangkag	2637 – 3998 kkal kg
3	Tandan Buah Kosong	4492 kkal kg

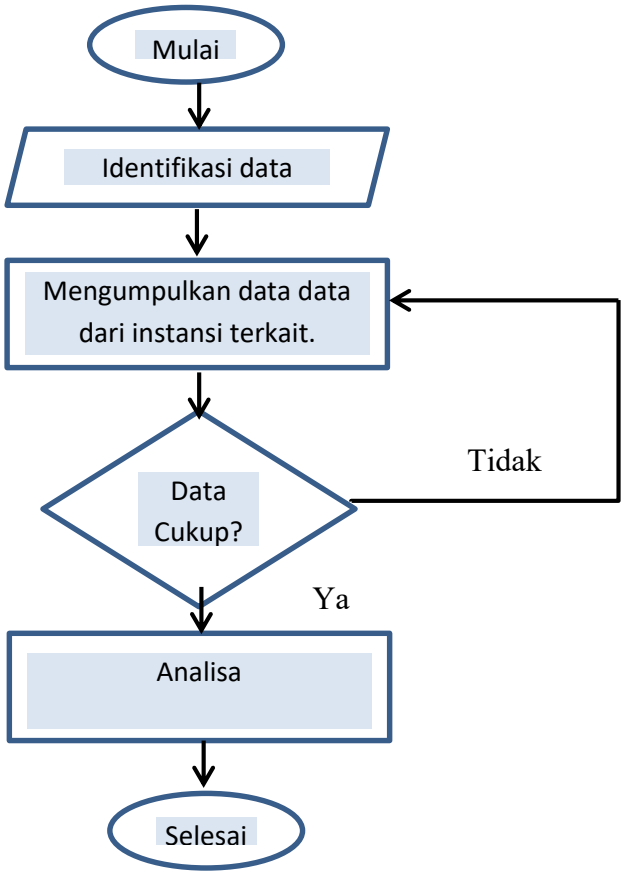
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

3. Metode Penelitian

3.1 Metode penelitan

Adapun metode penelitian adalah penelitian kuantitatif penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari beberapa Dinas dan Instansi terkait yang ada diKabupaten Aceh Tamiang dan dari data kajian sebelumnya. Adapun data yang dibutuhkan untuk menghitung potensi energi terbarukan dari biomassa adalah Jumlah produksi sawit (Biomass), produksi yang ada di Kabupaten Aceh Tamiang.

3.2 Alur Penelitia



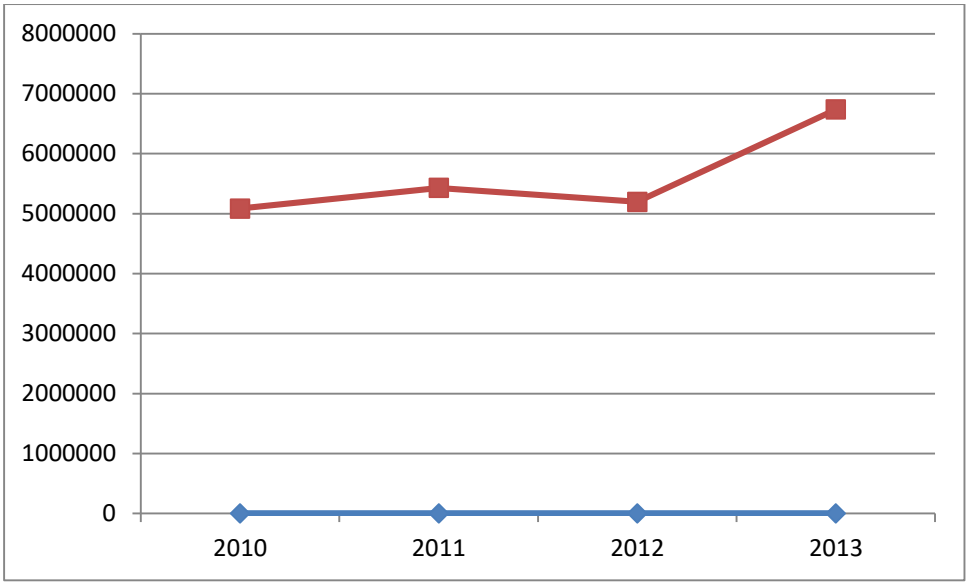
Gambar 6. Alur Penelitian

4. Hasil dan Analisa

4.1. Data Potensi Biomassa.

Aceh Tamiang Memiliki Potensi biomassa yang besar karena sebahagian besar wilayahnya dikelilingi dengan perkebunan sawit. Sehingga luasnya perekebunan kelapa sawit tersbut yang memproduksi kelapa sawit menyisakan limbah dari produksi sawit limbah sawit yang cukup besar pula. Produksi sawit pada tahun 2013 mencapai 6.735.795,45 ton. Jumlah ini terus mengalami Peningkatan dikarenakan pada tahun 2008 -2010 merupakan masa penanaman perkebunan kelapa sawit. Hasil dari produksi kelapa sawit ini harus dilakukan studi lebih lanjut mengenai Teknologi yang dapat dipergunakan untuk mengkonversi menjadi listrik [8][9][10][11][12][13][14][15][16][17]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Grafik 7. Jumlah Produksi Sawit Aceh Tamiang

4.2 Potensi Biomassa.

Produksi kelapa sawit di Kabupaten Aceh Tamiang pada tahun 2013 tergolong cukup tinggi yakni mencapai 6.735.795,45 ton dari jumlah lahan **393.990 ha** Setiap hektar kebun kelapa sawit menghasilkan 17 ton tandan buah segar dan setiap Hektar lahan ditanami 148 pohon sawit dengan demikian untuk setiap pohon kelapa sawit menghasilan 115 kg/tahun. Energi Biomassa limbah kelapa sawit merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat menjawab kebutuhan energi alternatif. Limbah kelapa sawit ini memiliki kandungan kalori yang cukup tinggi. Untuk setiap 1 ton pengolahan tandan buah segar (TBS) akan dihasilkan 120 kg serat, 230 kg bungkil kosong, 60 kg cangkang. Serat didapatkan dengan jalan mengepres buah yang terdiri dari sejumlah minyak dengan mesin *screw press*. Setelah itu, serat buah kelapa sawit akan terpisah dengan bijinya. Sebenarnya serat ini masih mengandung sedikit minyak. Kalori yang terkandung diserat ini sekitar 2637-4554 kkal/kg.Bagian luar biji yang dipisahkan dari inti dinamakan cangkang. Cangkang ini didapatkan dengan memecah biji buah kelapa sawit dengan alat pemecah. Cangkang ini mempunyai kalori yang tinggi sekitar 4105-4802 kkal/kg, sehingga dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Tapi dalam penggunaannya cangkang ini hanya digunakan beberapa persen saja.Bungkil kosong atau disebut juga tandan kosong didapatkan dengan cara, proses tandan buah segar (TBS) yang dikelupas dengan menggunakan alat kupas (*Thresher*). Sehingga buah kelapa sawit mengelupas (keluar) dari tandan buah segar (TBS). Bungkil kosong ini presentase jumlahnya paling besar bila dibanding dengan limbah kelapa sawit lain dan mempunyai kalori yang tinggi sekitar 4492 kkal/kg sehingga juga dapat dikonversikan ke dalam bentuk energi yang lain misal energi panas.Dalam menganalisa potensi biomasa dari potensi limbah kelapa sawit maka dilakukan dengan cara menghitung per bagian yaitu Tandan Kosong(TanKos), Cangkang dan Serabut.

Analisa potensi biomassa dilakukan dengan tahap sebagai berikut :

- Produksi Sawit x 23% (TanKos) = TanKos (kg/tahun).
- 6.735.795,45 ton x 0,23 = 1.549.232.954 kg/tahun.
- Produksi Sawit x 6% (Cangkang) = Cangkang (kg /tahun).
- 6.735.795,45 ton x 0,06 = 404.147.727 kg/tahun.
- Produksi Sawit x 12% (Serabut) = Serabut (kg /tahun).
- 6.735.795,45 ton x 0,12 = 808.295.454 (kg/tahun).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Sedangkan kandungan kalori setiap bagian limbah sawit dari Tandan Kosong 4492 kkal, Cangkang 4100 kkal, dan Serabut 3998 kkal. Maka total dari kalori limbah kelapa sawit yang dihasilkan setiap tahunnya sebagai berikut :

- Jumlah Tandan Kosong x 4492 = Total Kalori (Kkal. Kg.)
- 1.549.232.954 x 4492 = 6.959.154.427.122 Kkal.Kg
- Jumlah Cangkang x 4100 = Total Kalori (Kkal. Kg.)
- 404.147.727 x 4100 = 1.657.005.680.700 Kkal.Kg
- Jumlah Serabut x 4492 = Total Kalori (Kkal. Kg.)
- 808.295.454 x 4492 = 3.231.565.225.092 Kkal.Kg.

Dilakukan konversi dari Kkal Menjadi *watt* dengan proses dirubah terlebih dahulu kedalam satuan *joule* dengan cara berikut, 1 Kkal = 1,163986 watt. Sehingga pada proses perhitungan menggunakann

- 6.959.154.427.122 KkaL/kg (TanKos) x 1,163986 watt = 8.093.489.639.588 watt
- 1.657.005.680.700 KkaL/kg (Cangkang) x 1,163986 watt = 1.927.095.949.648 watt
- 3.231.565.225.092 KkaL/kg (Serat) 1,163986 watt = 3.758.307.125.217 watt

Konversi mejadi Megawatt di bagi satu juta (1.000.000)

- 8.093.489.639.588 watt (Tandang Kosong) : 1.000.000 = 8.093.490 MWatt
- 1.927.095.949.648 watt (Cangkang): 1.000.000 = 1.927.096 MWatt
- 3.758.307.125.217 watt (Serat) : 1.000.000 = 3.758.307 MWatt.

Dengan demikian potensi biomasa yang berasal dari limbah kelapa sawit di Kabupaten Aceh Tamiang dapat menghasilkan energi listrik adalah dalam satuan Mw :

- TanKos (8.093.490 MWatt) + Cangkang (1.927.096 MWatt) + Serabut (3.758.307 MWatt.) = 13.778.893 MWatt.
- Jumlah 13.778.893 MW merupakan jumlah energi yang dihasilkan dalam kurun waktu satu tahun dari potensi energi baru terbarukan dari produksi kelapa sawit yang dimiliki oleh Kabupaten Aceh Tamiang. Namun Untuk menghitung energi yang terbangkit dalam satuan KWh maka Perlu dibagi dengan jumlah jam dalam satu tahun 8760 jam sehingga energi terbangkit adalah 13.778.893 MW : 8760 Jam = 1.573 MWh

5. Kesimpulan

Poteni energi baru terbarukan yang bersumber dari biomassa yang bersumber dari limbah produksi kelapa sawit di Kabupaten Aceh Tamiang memiliki potensi yang sangat besar. Potensi ini bisa dimanfaatkan sebagai energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik untuk Kabupaten Aceh Tamiang. Energi listrik yang terbangkit dari potensi limbah produksi kelapa sawit adalah 1.573 MWh. Potensi ini dapat membantu pemenuhan energi nasional 35 Ribu MWh.

Daftar Pustaka

[1] Purnama Rahmad, 2015, Perkiraan Konsumsi Energi Listrik 2015 -2030 Dan Potens Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan di Aceh Tamiang, Tesis, Program Pasca Sarjanah Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.

[2] Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor : 2682 K/21/Mem/2008 Tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2008 S.D. 2027.

[3] Fitrianto kurniawan dkk, 2006, Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2006 – 2015 Pada Pt. Pln (Persero) Unit Pelayanan Jaringan (UPJ) Di Wilayah Kota Semarang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dengan Metode Gabungan, Makalah seminar tugas akhir, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.

[4] Kusuma Indra Permata, 2010, Studi Pemanfaatan Biomassa Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Kalimantan Selatan (Studi Kasus Kab Tanah Laut), , Persentasi,Departemen Tenik Listrik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November.

[5] Darmawan Arif, 2012, Proyeksi Permintaan Listrik Sektor Rumah Tangga Menggunakan end-Use ModeL (Studi Kasus Kota Yogyakarta), Skripsi Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.

[6] Lanang Ragil WTP, 2005, Kajian Perencanaan Permintaan Dan Penyediaan Energi Di Wilayah Daerah Istemewa Yogyakarta Menggunakan Perangkat Lunak Leap, Skripsi Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.

[7] Novitasari Dwi, 2012, Studi Perencanaan Energi Alternatif Jangka Panjang Untuk Kabupaten Bantul Dengan Adanya Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida ,Skripsi Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada

[8] Aceh Dalam Angka, 2009, BPS Aceh.

[9] Aceh Dalam Angka, 2010, BPS Aceh.

[10] Aceh Dalam Angka, 2011, BPS Aceh.

[11] Aceh Dalam Angka, 2012, BPS Aceh.

[12] Aceh Dalam Angka, 2013, BPS Aceh.

[13] Aceh Tamiang Dalam Angka, 2009, Bappeda Aceh Tamiang.

[14] Aceh Tamiang Dalam Angka, 2010, Bappeda Aceh Tamiang.

[15] Aceh Tamiang Dalam Angka, 2011, Bappeda Aceh Tamiang.

[16] Aceh Tamiang Dalam Angka, 2012, Bappeda Aceh Tamiang.

[17] Aceh Tamiang Dalam Angka, 2013, Bappeda Aceh Tamiang.

.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

MENGUKUR DAN MERANCANG MODEL KETAHANAN ENERGI MELALUI PERUBAHAN PERILAKU KONSUMEN ENERGI TERBARUKAN

MEASURING AND MODELING ENERGY RESILIENCE THROUGH CHANGES IN BEHAVIOR OF RENEWABLE ENERGY CONSUMERS

Nufian S Febriani[1], Fitria Avicenna[2]

Program Studi Ilmu Komunikasi, Universitas Brawijaya, Malang[1, 2]

Nufian.febriani@ub.ac.id

ABSTRACT

The benefits of renewable energy in Indonesia are not well understood by consumers. This research suggests the use of renewable energy, which is very beneficial for consumers. This research also has implications for policy makers, electricity suppliers, and future researchers. Using two online and offline survey methods, this study can formulate a behavior change model that can help policy makers identify marketing and branding strategies so that they are expected to succeed in changing consumer behavior and increasing the degree of consumer involvement in renewable energy products, for example in forming an energy independent community. Therefore, in addition to strengthening the use of renewable energy, other sections such as marketing and further research on consumer behavior must continue to be carried out in order to obtain a whole independent energy system.

Keywords: *renewable energy, surveys, consumer behavior, independent energy, behavior models*

ABSTRAK

Manfaat energi terbarukan di Indonesia tidak dapat dipahami dengan baik oleh konsumen. Penelitian ini membuktikan penggunaan energi terbarukan sangat menguntungkan konsumen serta berimplikasi pada pembuat kebijakan, pemasok listrik, dan peneliti selanjutnya. Penelitian ini menggunakan dua metode survei, yaitu daring dan luring. Penelitian ini dapat merumuskan sebuah model perubahan perilaku yang dapat membantu pengambil kebijakan dalam melakukan identifikasi strategi pemasaran dan *branding* sehingga diharapkan akan berhasil mengubah perilaku konsumen dan meningkatkan derajat keterlibatan konsumen pada produk energi terbarukan, misalnya dalam membentuk komunitas energi mandiri. Oleh karena itu, selain memantapkan penggunaan energi terbarukan, bagian lain seperti pemasaran dan penelitian lebih lanjut tentang perilaku konsumen harus terus dilakukan untuk mendapatkan sebuah sistem energi mandiri secara keseluruhan.

Kata Kunci: energi terbarukan, survei, perilaku konsumen, energi mandiri, model perilaku

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PENDAHULUAN

Selama ini, pola konsumsi energi di Indonesia memberikan kenyamanan dengan penggunaan satu produk yang hanya dapat dibeli melalui badan usaha milik negara. Salah satu contoh perusahaan penyedia energi milik negara, yaitu PLN (Perusahaan Listrik Negara). PLN menyediakan listrik untuk konsumen rumah tangga dan industri. Sebagai satu-satunya penyedia energi listrik, perusahaan lain kesulitan menyasar konsumen untuk mengubah kebiasaan konsumsi energi fosil ke bentuk energi lain yang memiliki fungsi sama. Tidak hanya penyedia listrik, gas juga dikuasi oleh badan usaha milik negara, PERTAMINA. Seiring bertambahnya waktu, penggunaan energi berbahan dasar fosil semakin berkurang sepanjang tahun. Pengurangan ini akan terus berlangsung selama manusia masih menggunakan fosil sebagai bahan energi utama untuk kehidupan sehari-hari.

Sebagai bentuk upaya untuk memperlambat menipisnya energi berbahan dasar fosil, di beberapa negara mulai dikembangkan penggunaan energi lain pengganti fosil yang disebut dengan energi terbarukan. Terdapat berbagai jenis energi terbarukan yang dapat dikembangkan sebuah negara atau bahkan sebuah daerah. Melalui energi terbarukan masing-masing wilayah sangat mungkin untuk mewujudkan kemandirian energi (Kholiq, 2015). Energi terbarukan merupakan sebuah energi yang diperoleh dari pemrosesan bahan baku seperti limbah sampah ataupun kotoran hewan/manusia. Sifat terbarukan energi ini muncul dari adanya karakteristik energi yang dapat berperan dalam memecahkan persoalan jumlah limbah yang kian bertambah, serta pemrosesan daur ulang yang lebih menguntungkan dan berguna untuk masyarakat.

Minimnya keinginan masyarakat dalam penggunaan energi terbarukan mungkin disebabkan oleh masyarakat yang masih mencari alternatif lain, ataupun masyarakat sudah sangat begantung pada ketersediaan listrik PLN (Juwito, 2012). Permasalahan dalam penelitian ini terdapat pada dampak positif yang diberikan dari penggunaan energi terbarukan yang tidak dapat menumbuhkan minat untuk menggunakan energi terbarukan di masyarakat Indonesia. Untuk mewujudkan wilayah dengan status mandiri energi, diperlukan pengolahan energi alternatif yang dimiliki oleh sebuah wilayah. Proses pengolahan energi bukanlah hal yang mudah, diperlukan waktu cukup lama untuk mendapatkan energi yang solid dan aman untuk dikonsumsi masyarakat secara luas.

Gagasan tentang penggunaan energi alternatif telah banyak dilakukan oleh beberapa negara di dunia, seperti yang dilakukan oleh (Keirstead, 2012) di Inggris. Keorstead menyajikan kerangka pemodelan sumber daya terintegrasi yang mengidentifikasi sistem pasokan energi berbiaya rendah yang dioptimalkan, termasuk pilihan teknologi konversi, sumber bahan bakar, dan jaringan distribusi. Sementara di Pakistan, analisis SWOT digunakan untuk menentukan faktor dan subfaktor yang penting untuk perencanaan energi berkelanjutan. Hasil penelitian mengungkapkan, penyediaan listrik berbiaya rendah dan berkelanjutan untuk sektor perumahan, komersial, dan industri merupakan strategi energi yang sangat diprioritaskan (Solangi, 2019).

Indonesia telah melakukan penelitian dengan tema energi terbarukan. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan penggantian energi yang berasal dari minyak bumi dan batu bara dapat digantikan dengan energi alternatif seperti angin dan gelombang laut yang tersedia di pantai selatan Jawa Barat (Purba, 2014). Potensi lain yang dimiliki Indonesia untuk mendapatkan energi terbarukan dari sampah organik berupa daun dan ranting kering bisa dikonversi menjadi bahan bakar berupa *bio-oil* melalui proses *fast pirolisis* (Cahyono, 2013).

Indonesia termasuk salah satu negara yang menginginkan mandiri-energi untuk seluruh wilayahnya. Berbagai kebijakan telah diterbitkan pemerintah untuk mendukung berbagai kemungkinan pengembangan potensi energi terbarukan. Salah satunya adalah menyusun strategi pengembangan energi terbarukan di Indonesia terutama untuk mencapai target bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025, dan 31% pada tahun 2050 dari bauran energi final, sesuai dengan kebijakan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

energi nasional (Peraturan Pemerintah No.79 tahun 2014) utamanya dari sektor pembangkit listrik (Adjikri, 2017).

Dengan munculnya peraturan pemerintah yang mendukung penggunaan energi terbarukan, maka diperlukan dukungan dan peran dari berbagai pihak untuk mewujudkan dan menunjang ketahanan energi. Peneliti meyakini bahwa peralihan penggunaan energi berbahan dasar fosil menjadi energi terbarukan (air, angin, sampah, kotoran hewan/manusia), akan membawa perubahan yang lebih baik khususnya perubahan perilaku konsumsi yang menyadari pentingnya menyelamatkan lingkungan dari kerusakan dan menipisnya simpanan energi fosil.

Strategi Waste-to-Energy (WtE) menjadi strategi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah gunung sampah. Pemanfaatan sampah dapat mengurangi jumlah sampah yang ditimbun (mengatasi masalah sumber daya lahan), sekaligus meningkatkan produksi energi terbarukan. Evaluasi strategi WtE ini memberikan wawasan yang berharga bagi pengambil kebijakan dalam praktik pengelolaan sampah perkotaan dengan biaya rendah, mendapatkan manfaat berupa energi, dan perlindungan terhadap lingkungan (Tan, 2014). Manfaat lain juga dapat diperoleh dari segi ekonomi, dengan mengevaluasi potensi manfaat ekonomi dan lingkungan yang tersedia dengan menyediakan energi terbarukan untuk pengisian kendaraan listrik di peralatan layanan kendaraan listrik publik. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan simulasi penggunaan energi terbarukan menunjukkan manfaat lingkungan yang signifikan dari pengurangan emisi, serta masyarakat bersedia membayar untuk energi tersebut jika disediakan (Nienhuesser, 2016). Masih banyak penelitian terdahulu baik di Indonesia maupun di luar negeri yang menunjukan penelitian tentang energi terbarukan terus dilakukan dengan kajian ilmu yang berbeda-beda untuk membantu pengambil kebijakan merumuskan kebijakan terkait energi terbarukan.

Penelitian ini menggunakan dua teori untuk mengkaji perubahan perilaku konsumen energi terbarukan yang muncul di masyarakat. Pertama adalah Theory of Planned Behavior (TPB) dan kedua adalah teori difusi-inovasi. Theory of Planned Behavior (TPB) merupakan perluasan dari Theory of Reasoned Action (TRA) yang dikemukakan oleh Ajzen (Ajzen & Fishbein, 2011). Teori ini merupakan penyempurnaan dari Theory of Reasoned Action (TRA) yang memiliki dua prediktor yang memengaruhi intensi untuk melakukan suatu perilaku, yakni *attitude towards behavior* dan *subjective norm,* dengan menambahkan *perceived behavioral* control sebagai faktor tambahan yang dapat memengaruhi dan memprediksi niat dan perilaku.

Dalam TPB, secara umum, jika individu memiliki intensi untuk melakukan suatu perilaku maka individu cenderung akan melakukan perilaku tersebut. Sebaliknya, jika individu tidak memiliki intensi untuk melakukan suatu perilaku maka individu cenderung tidak akan melakukan perilaku tersebut (Chen, 2014). Menurut Ajzen & Fishbein (dalam Meitiana, 2017) secara khusus, melalui TPB dijelaskan niat yang timbul didasari oleh tiga variabel, yaitu sikap terhadap perilaku (*attitude towards behavior*), norma subjektif (*subjective norm*), dan kontrol berperilaku yang dirasakan (*perceived behavioral control*).

TPB merupakan salah satu teori perubahan perilaku yang fleksibel dan banyak digunakan di berbagai bidang termasuk komunikasi, psikologi sosial, dan kesehatan masyarakat (Gao, 2017). Pada aplikasinya dalam penelitian-penelitian yang telah dilakukan, untuk memprediksi intensi dan perilaku teori ini juga diaplikasikan pada kajian perilaku konsumen. Pada kajian perilaku konsumen sendiri terdapat subkajian atau konsep yang disebut dengan minat beli (Yadav, 2016).

Penggunaan teori difusi inovasi dipilih sebagai salah satu dari teori komunikasi dari beberapa teori yang ada. Tokoh terkenal yang melakukan penelitian pada teori ini adalah Everett Rogers. Rogers dalam bukunya Diffussion of Innovations (1995) menyebutkan bahwa difusi inovasi sebagai proses sosial yang mengkomunikasikan informasi tentang ide baru yang dipandang secara subjektif (Lee, 2011). Rosenberg membahas tentang kendala-kendala kemampuan innovator untuk meramalkan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dampak inovasi mengenai adopsi teknologi (Severin & Tankard, 2011). Kendala yang disebutkan meliputi bentuk primitif, penggunaan khusus potensinya, hubungan di antara teknologi yang kompetitif dan saling melengkapi, dan nilai ekonomis inovasi. Sementara Rosen dan Weil menyebutkan bahwa karakteristik demografis dan psikologis yang mungkin menjelaskan pengelakan teknologi (Severin & Tankard, 2011). Difusi Inovasi dan TPB adalah penentu signifikan dari adopsi inovasi (Weigel, 2014). Penggunaan dua teori tersebut, peneliti melakukan identifikasi pola konsumsi konsumen energi fosil dan energi terbarukan serta menetapkan demografi konsumen energi terbarukan sosiografi dan psikografi konsumennya dan mendapatkan faktor-faktor pemicu perubahan perilaku konsumen energi terbarukan. Selanjutnya, peneliti merancang model kampanye sesuai dengan hasil identifikasi pola konsumsi konsumen energi terbarukan.

METODE

Penelitian mengenai perilaku konsumen energi terbarukan dalam upaya peralihan penggunaan energi berbahan bakar fosil menjadi energi terbarukan (air, udara, sampah, kotoran hewan/manusia) menggunakan pendekatan kuantitatif. Penelitian tersebut bertujuan memberikan simpulan pada populasi penelitian serta mendapatkan data sesuai dengan kondisi saat ini. Peneliti menetapkan populasi yang tersedia (*accessible population*) di TPA Supit Urang sebagai populasi dalam penelitian ini, karena secara kuantitatif populasi dapat dinyatakan secara tegas, yakni 690 jiwa (www.malangkota.go.id, 2020). Populasi ini bersifat homogen karena memiliki unsur yang sama, yaitu sebagai pekerja buruh, sehingga tidak perlu dipersoalkan jumlahnya secara kuantitatif.

Melalui penelitian ini, peneliti melakukan generalisasi pada hasil penelitian sehingga peneliti memilih sampel dengan pertimbangan masalah ketelitian agar simpulan dapat dipertanggungjawabkan. Masalah ketelitian dalam sampel ini dilakukan dengan mengumpulkan data populasi, mencatat, dan melakukan analisis pada data yang diperoleh. Berdasarkan populasi yang sudah ditetapkan, peneliti menetapkan sampel dalam penelitian ini adalah warga TPA Supit Urang yang pernah menggunakan sumber energi terbarukan sebagai perwakilan dari populasi. Untuk mendapatkan sampel tersebut, peneliti menerapkan teknik pengambilan sampel pada kelompok *probability sampling* menggunakan teknik *simple random sampling.* Melalui teknik ini, peneliti dapat memberikan kesempatan yang sama pada populasi untuk dijadikan sampel dalam penelitian ini yang dilakukan secara acak tanpa memperhatikan strata dalam populasi karena populasi dalam penelitian ini bersifat homogen.

Besaran ukuran sampel menggunakan tingkat kesalahan 5% agar semakin kecil peluang kesalahan generalisasi. Penentuan jumlah sampel menggunakan Rumus Slovin, kemudian diperoleh sebanyak 251 responden. Berdasarkan jumlah sampel tersebut, peneliti membagi menjadi dua metode dalam penyebaran kuesioner. Kuesioner pertama disebarkan secara online kepada 100 responden yang bersedia mengisi *online*. Responden merupakan anggota komunitas masyarakat yang menggunakan energi terbarukan. Selain itu, kuesioner juga disebarkan secara *offline* kepada 151 rumah tangga di TPA Supit Urang, Malang yang bersedia mengisi secara *offline*.

Analisis data yang digunakan adalah tahap analisis data Cresswell (2014), diawali dengan mengolah hingga menginterpretasi data. Sebelum kuesioner diberikan kepada responden, peneliti melakukan uji instrumen terlebih dahulu kepada 30 orang di luar responden penelitian untuk kemudian dihitung validitas dan reliabilitas instrumen. Pengujian validitas dan reliabilitas dilakukan sebanyak tiga kali uji sebelum didapatkan instrumen yang valid dan reliabel.

Pada uji validitas pertama, terdapat satu item dalam kuesioner yang tidak valid, namun reliabel. Peneliti memperbaiki item pernyataan dalam kuesioner dan melakukan uji instrumen kedua. Pada uji kedua, diperoleh hasil yang valid, namun tidak *reliable* sehingga peneliti menghapus item pernyataan dan menggantinya dengan menuliskan dua item pernyataan baru

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pada kuesioner. Pada uji instrumen ketiga, baru didapatkan instrumen yang valid dan reliabel. Setelah dinyatakan valid dan reliabel, instrumen berupa kuesioner diberikan kepada responden penelitian sebanyak 100 responden secara *online* dan 151 responden dilakukan secara langsung di lapangan.

Pertanyaan yang diajukan dalam kuesioner terbagi menjadi tiga bagian dengan dua jenis pertanyaan, yaitu pertanyaan terbuka dan pertanyaan tertutup yang kemudian dalam penelitian ini disebut sebagai pernyataan. Bagian pertama berisi pendahuluan yang menyebutkan tujuan penelitian serta kesediaan responden untuk mengisi kuesioner baik secara *online* maupun *offline*. Kemudian dilanjutkan dengan pertanyaan seputar demografi responden sebagai bentuk validasi atas populasi yang sudah ditentukan sebelumnya serta sebagai data analisis karakter konsumen energi terbarukan sebagai responden dalam penelitian. Pernyataan bagian kedua diawali dengan definisi konseptual tentang teori adopsi-inovasi yang dikembangkan oleh Everet M Rogers di tahun 1983. Rogers menyebutkan inovasi adalah sebuah ide, praktik atau objek yang dipersepsikan sebagai sesuatu yang baru oleh individu.

Difusi merupakan proses mengkomunikasikan sebuah inovasi melalui saluran komunikasi tertentu dalam waktu tertentu kepada anggota sistem sosial, dan adopsi akan terjadi ketika individu menggunakan secara penuh sebuah inovasi ke dalam praktik sebagai pilihan terbaik (Rogers, 1983). Kemudian definisi ini dioperasionalisasikan dalam variabel dan indikator tentang adopsi-inovasi energi terbarukan dalam bentuk item pernyataan dengan 5 (lima) skala penilaian menggunakan Likert. Penggunaan skala ini berlaku untuk pernyataan dalam kuesioner bagian ketiga. Pernyataan bagian ketiga merupakan operasionalisasi definisi konseptual TPB (The Theory of Planned Behavior). Dimensi TPB mengukur pengaruh variabel bebas *attitude toward behavior*, *subjective norm* dan *perceived behavioral* control. Penggunaan tiga varibel bebas ini, peneliti akan melihat pengaruh yang ditimbulkan pada variabel terikat berupa kemudahan dan kemanfaatan. Penelitian ini juga menggunakan SPSS versi 27 untuk menghitung korelasi, uji asumsi klasik, koefisien determinasi, Anova dan Manova dalam variabel penelitian ini.

Untuk mengetahui perilaku konsumen terkait energi terbarukan, peneliti melakukan teknik pengumpulan data dengan menggunakan kuisioner *online* dan *offline* yang berisi 27 butir pertanyaan dengan rincian yakni: bagian pertama berisi informasi diri responden dengan rincian delapan pertanyaan. Bagian kedua berisi penilaian konsumen atas energi yang digunakan dengan rincian lima pernyataan. Bagian ketiga berisi perilaku konsumsi energi dengan rincian tiga belas pernyataan. Pertanyaan yang diajukan dalam kuesioner ini masing-masing dibahas lebih detail dalam bagian pembahasan penelitian ini. Kuesioner dibuat menggunakan piranti Google Form, lalu dibagikan secara *online.*

HASIL DAN PEMBAHASAN

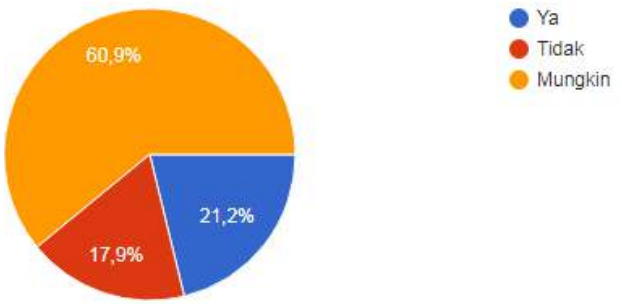
Hasil penelitian di bagian awal memaparkan karakteristik responden dalam penelitian, yaitu konsumen energi terbarukan di Indonesia. Responden yang menggunakan energi terbarukan dalam kehidupan sehari-hari memiliki karakteristik umum sebagai berikut:

1. Konsumen paling banyak berusia 25-30 tahun dan paling sedikit berusia 46-50 tahun;
2. Berpenghasilan antara 1-5juta rupiah;
3. Bekerja sebagai karyawan swasta; dan
4. Status pernikahan didominasi tidak kawin.

Berdasarkan karakteristik umum tersebut, peneliti menggali lebih jauh kebiasaan konsumsi energi yang biasa dilakukan oleh responden selama di dalam rumah. Berdasarkan hasil distribusi jawaban responden atas pertanyaan terbuka yang diajukan oleh peneliti, diperoleh hasil bahwa responden menggunakan energi listrik dari PLN. Responden tidak mengetahui adanya sumber energi lain yang dapat digunakan. Selain itu, responden tidak mendapatkan informasi jika ada perusahaan lain penyedia energi listrik selain PLN. Begitupun dengan pengguna yang membeli rumah baru, pengembang menggunakan listrik PLN untuk energi di daerah pemukiman.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Ketika responden ditanya tentang kesediaan membayar jika ada energi terbarukan sebagai pengganti energi fosil, sebesar 60,9% responden memberikan jawaban mungkin akan membayar dan 21,2% bersedia membayar seperti yang ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 1 Jawaban Responden Kesediaan Membayar Energi Terbarukan.
(Sumber: Peneliti, 2020)

Penelitian terdahulu menemukan hasil serupa dengan yang terjadi di TPA Supit Urang. Hasil empiris menunjukkan bahwa orang paruh baya mungkin lebih bersedia membayar (Kostakis, 2012). Dengan menggunakan pendekatan meta-analitik *random-effect,* diperoleh ringkasan perkiraan WTP (*Willing To Pay*) sebesar USD 7.16. Rata-rata rumah tangga bersedia membayar kenaikan jumlah ini per bulan melebihi harga energi yang dibayarkan saat ini, untuk beralih ke penggunaan energi terbarukan. Mereka kemudian menentukan model meta-regresi *random-effect* untuk menjelaskan variasi dalam WTP rumah tangga. Berdasarkan model tersebut, ditemukan penduduk metropolitan dan rumah tangga di Amerika Utara memiliki WTP lebih tinggi daripada penduduk pedesaan dan Asia. Selain itu, ditemukan juga bukti efek empiris mendasar yang menyebutkan bahwa semakin banyak rumah tangga yang bersedia membayar untuk penggunaan energi terbarukan dan jenis energi terbarukan yang digunakan tampaknya tidak berdampak pada WTP (Soon, 2015).

Untuk pilihan energi terbarukan yang diinginkan atau dianggap sebagai sumber energi terbarukan yang dirasa cukup aman adalah energi baru pengganti listrik berbahan bakar nonfosil seperti PLTA, PLTU, gas metana, seperti yang ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 2 Jawaban Responden Jenis Energi Terbarukan
(Sumber: Peneliti, 2020)

Berdasarkan pada hasil jawaban responden, dapat disimpulkan responden sebagai konsumen mengetahui keberadaan energi lain yang dapat dipakai untuk menggantikan energi listrik dari fosil. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa masyarakat pedesaan pada umumnya mendukung pengembangan energi terbarukan mengingat dampak positifnya terhadap lingkungan. Tingkat pengetahuan individu dan keyakinan tentang biaya penggunaan energi terbarukan mempengaruhi keputusan seseorang untuk memilih jenis energi yang akan digunakan (Liu, 2013).

Data yang diperoleh dari hasil survei kemudian diolah menggunakan SPSS versi 27 untuk dilihat signifikansi antarvariabel. Berdasarkan hitungan Anova diperoleh hasil sebagai berikut:

TABEL 1 ANOVA

ANOVA[a]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	8,558	1	8,558	4,060	,046[b]
	Residual	314,051	149	2,108		
	Total	322,609	150			

a. Dependent Variable: TotB3

b. Predictors: (Constant), TotB2

Sumber: Data SPSS, Peneliti (2020)

PERPUSTAKAAN NASIONAL

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa nilai signifikansi. yakni 0,046. Dengan demikian dapat ditulis 0,046 < 0,05. Oleh karena itu dapat disimpulkan pertanyaan pada bagian dua berpengaruh terhadap pertanyaan kuesioner yang ada pada bagian tiga. Bagian dua adalah pertanyaan tentang penilaian konsumen atas energi yang digunakan dan bagian ketiga berisi perilaku konsumsi energi. Penelitian lain menyebutkan bahwa mereka melakukan penelitian tentang bagaimana dorongan dapat membuat sedikit perubahan dalam kumpulan informasi yang dihadapi seseorang saat mengambil keputusan dapat membantu individu menyelaraskan perilaku dengan niat. Mereka menyajikan bukti dari eksperimen survei yang dorongannya mempengaruhi pilihan apakah akan menggunakan energi terbarukan atau energi konvensional. Mereka juga menemukan bahwa dorongan tertentu yang dapat memiliki efek signifikan, sementara semua dorongan lainnya terbukti tidak efektif membuat mereka menggunakan energi terbarukan (Momsen, 2014).

Berdasarkan hasil temuan yang sudah ditampilkan sebelumnya, setidaknya diperoleh dua *database* yang berbeda terkait perubahan perilaku konsumen energi terbarukan. Dua *database* tersebut antara lain informasi situasional dan informasi transaksional konsumen. Berdasarkan proses dan sistemnya, terdapat satu variabel kualitatif yang umum untuk setiap *database* diidentifikasi dan kemudian diubah menjadi satu atau lebih variabel kuantitatif. Informasi transaksi konsumen di setiap *database* kemudian diubah menjadi informasi yang diubah dalam hal variabel kuantitatif. Setelah itu, *database* terintegrasi dibentuk untuk memprediksi perilaku konsumen dengan menggabungkan informasi yang dikonversi dari *database* yang berbeda.

Sumber energi terbarukan atau *Renewable Energy* (RE) memiliki kapasitas yang sangat kecil dari keseluruhan konsumsi energi di Indonesia saat ini. Indonesia terus bergantung pada bahan bakar fosil yang cepat menipis dan impor minyak yang mahal untuk memenuhi kebutuhan energi sebagai salah satu tuntutan ekonomi. Namun kondisi ini tidak dapat terus dilanjutkan, Indonesia harus segera mendapatkan sumber energi baru agar dapat melayani kebutuhan energi penduduknya. Walaupun Indonesia telah memiliki sumber RE yang dikembangkan oleh komunitas-komunitas yang ada di dalam masyarakat, penyebarannya tidak merata di seluruh Indonesia sehingga diperlukan faktor lain untuk mendorong tumbuhnya RE di masyarakat. Salah satu hal yang dapat mulai dilakukan untuk mewujudkan hal tersebut adalah menciptakan daya tarik penggunaan RE dengan merujuk pada literatur perilaku konsumen tentang penggunaan kajian difusi inovasi. Permintaan sumber RE dari komunitas masyarakat harus dapat dicapai dengan cepat agar sektor ini dapat menjadi bisnis yang mandiri.

Dalam penelitian ini diperoleh hasil bahwa sumber energi dapat menciptakan dorongan pada konsumen untuk menggunakan RE. Akan tetapi, faktor pendorong saja tidak cukup untuk meningkatkan secara cepat adopsi RE. Terdapat beberapa model yang berbeda yang dapat dipakai untuk menciptakan faktor "penarik" tersebut yang dimulai dari komunitas konsumen. Kecepatan adopsi cukup bervariasi di setiap kategori produknya dan tidak dapat diperkirakan besaran nilainya jika diukur langsung ke sumber RE. Namun, konsep tersebut tetap dapat digunakan sebagai panduan untuk strategi debat yang dapat diadopsi oleh pembuat kebijakan dan praktisi untuk mempercepat adopsi sumber RE sebagai alternatif sumber energi berkelanjutan.

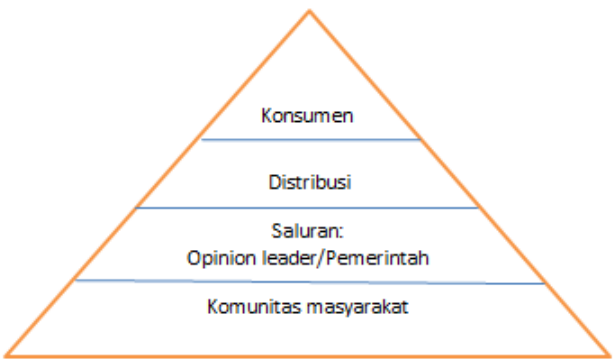
Kerangka untuk mengeksplorasi penerimaan konsumen untuk produk/teknologi baru diambil dari bidang penelitian yang dikenal sebagai difusi inovasi. Proses difusi dan adopsi sangat erat kaitannya dengan penerimaan produk baru oleh konsumen. Difusi adalah proses inovasi dikomunikasikan melalui saluran tertentu dari waktu ke waktu di antara anggota sistem sosial. Inovasi adalah ide, praktik, atau objek yang dianggap baru oleh individu atau unit adopsi lainnya. Proses difusi biasanya melibatkan media massa dan saluran komunikasi antarpribadi.

Saat ini dunia menggunakan teknologi informasi seperti internet dan telepon seluler

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dengan menggabungkan aspek media massa dan saluran interpersonal, mewakili alat difusi yang tangguh. Difusi terkait dengan konsep lain yang dikenal sebagai "adopsi" merupakan rangkaian langkah yang dilalui konsumen sejak awal memiliki pengetahuan tentang inovasi (kesadaran), untuk membentuk sikap ke arahnya (minat, evaluasi, dan uji coba), dan untuk mencapai adopsi keputusan.

Tingkat adopsi adalah kecepatan relatif yang anggota sistem sosialnya mengadopsi inovasi dan mencerminkan fakta bahwa beberapa orang mengadopsi inovasi lebih cepat daripada orang lain. Sementara itu, faktor pasar dalam RE tidak bereaksi terhadap inovasi dengan cara yang sama dan semua anggota populasi tidak mengadopsi inovasi secara bersamaan (beberapa tidak pernah mengadopsi). Oleh karena itu, konsumen dalam RE dapat diklasifikasikan sebagai inovator, pengadopsi awal, awal mayoritas, mayoritas terlambat, dan lamban. Peneliti telah mengidentifikasi dengan pasti karakteristik inovasi yang berdampak pada derajat difusi dan merupakan indikasi adopsi, yaitu keunggulan relatif, kompatibilitas, kompleksitas, trialabilitas, dan observabilitas.



Gambar 3 Model Difusi – Inovasi *Renewable Energy*
(Sumber: Peneliti, 2020)

Berikut ini merupakan konsep difusi inovasi yang memiliki relevansi dengan RE yang diperoleh selama penelitian dilakukan, konsep ini terbagi menjadi 4 poin utama, sebagai berikut:

1. Komunitas masyarakat: konsep ini berkaitan dengan segmen pasar dan target pasar, sehingga dilakukan identifikasi pada komunitas masyakarat sebagai inovator dan orang yang memiliki potensi menjadi pengguna awal sumber RE.
2. Saluran komunikasi: konsep ini menjelaskan bagaimana menyesuaikan komunikasi terkait lingkungan yang bersih, keamanan energi, kenyamanan terkait pendistribusian produk, dan lembaga yang menaungi mereka sebagai komunitas dalam masyarakat sebagai pengguna sumber RE. Mereka akan memilih seorang pemimpin atau mengikuti seorang *opinion leader,* karena berperan sebagai pengadopsi awal sumber RE
3. Distribusi: saluran distribusi yang dimaksudkan adalah fokus pada keunggulan RW dibandingkan dengan sumber energi yang berasal dari fosil bahan bakar. Distribusi yang diunggulkan jika menggunakan RE adalah kompatibilitas yang dirasakan, lebih sedikit kompleksitas, pengurangan tingkat polusi, dan tidak merusak lingkungan.
4. Konsumen: konsumen dalam komunitas yang memiliki RE adalah tipe konsumen aktif yang juga dapat berfungsi sebagai saluran komunikasi, sehingga peran mereka dapat ditingkatkan melalui media impersonal untuk mencapai target pasar dan mendukung konsumen melalui proses adopsi kesadaran, minat, evaluasi, dan jejak.

Selanjutnya, sektor energi di Indonesia sedang mengalami perubahan dan merupakan sumber daya yang paling baik yang harus segera digerakkan untuk memanfaatkan perubahan tersebut. Jika Kebutuhan energi masa depan Indonesia harus dipenuhi, maka RE dapat dimaksimalkan perannya di tahun-tahun mendatang sebagai alternatif bahan bakar pengganti fosil.

Terdapat berbagai kebijakan yang dikeluarkan oleh pemerintah terkait adopsi Teknologi Energi Terbarukan. Pemerintah melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menerbitkan Peraturan Menteri (Permen) ESDM No. 4 Tahun 2020. Beleid ini merupakan perubahan kedua atas Permen

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ESDM No. 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik. Direktur Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan Kementerian ESDM, Harris menyebutkan, sejak awal pemerintah telah menyiapkan konsep revisi Permen ESDM No. 50 Tahun 2017 bersamaan dengan draf Peraturan Presiden (Perpres) tarif listrik EBT. Permen ESDM No. 4 Tahun 2020 sendiri pada dasarnya tidak memiliki banyak perbedaan dibandingkan dengan Permen ESDM No. 50 Tahun 2017. Namun, Permen tersebut diyakini memiliki peran penting dalam pengembangan EBT di Indonesia. Untuk mendukung program pemerintah tersebut, beberapa strategi yang direkomendasikan dalam penelitian ini akan membantu pihak terkait seperti pemerintah, opinion leader, dan konsumen awal pengguna RE mencapai tujuan perihal mandiri energi.

Ketika sumber daya energi konvensional mengering dan polusi meningkat, perusahaan utilitas dan pembuat kebijakan berusaha mengembangkan program energi baru yang lebih ramah lingkungan dan dapat diisi ulang. Energi terbarukan telah muncul sebagai sumber energi alternatif, tetapi pemasarannya belum berhasil meskipun ada kekhawatiran konsumen yang meluas tentang lingkungan.

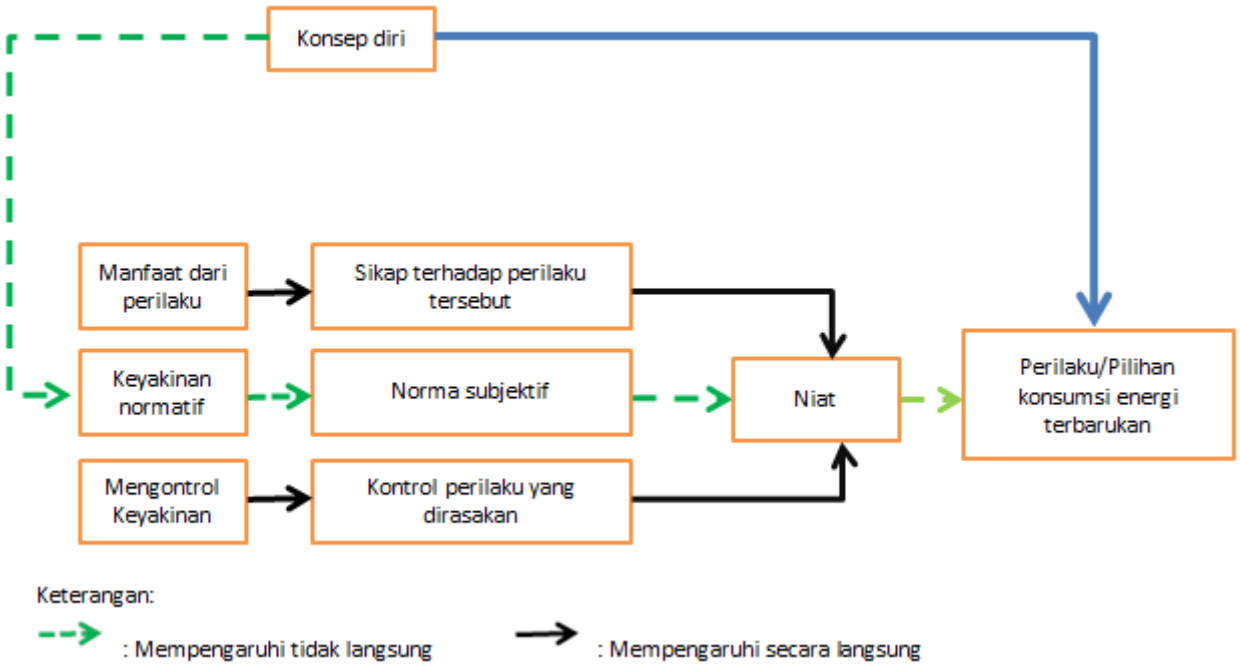
Dengan menggunakan teori perilaku konsumen dan mengadopsi konsep adopsi inovasi sebagai kerangka teoretis, penelitian ini menyelidiki hubungan tiga variabel (perhatian dengan lingkungan, pengetahuan tentang energi terbarukan, dan keyakinan tentang konsekuensi yang menonjol dari penggunaan energi terbarukan) untuk mendapatkan model kampanye energi terbarukan. Berdasarkan teori perilaku konsumen, ditemukan hubungan positif antara keyakinan tentang konsekuensi yang menonjol dan sikap untuk membayar lebih untuk energi terbarukan. Tingkat perhatian keseluruhan cukup tinggi bagi konsumen dalam sampel, sedangkan tingkat pengetahuan relatif rendah.

Dalam penelitian ini, ditemukan perhatian konsumen gagal diwujudkan menjadi pengetahuan yang lebih tinggi tentang energi terbarukan. Studi ini menunjukkan kepedulian dan keyakinan lingkungan konsumen tentang energi terbarukan hingga saat ini lebih emosional daripada berbasis fakta atau pengetahuan.

Implikasi perubahan perilaku konsumen energi terbarukan terlihat pada tingginya permintaan listrik terbarukan di pasar lebih rendah dari permintaan produk hijau lainnya. Melalui penelitian ini, konsep perilaku konsumen terbukti memiliki peran penting dalam perilaku konsumen untuk produk energi terbarukan, meskipun listrik yang bersumber pada energi terbarukan memiliki kekurangan pada visibilitas dan keterlibatan produk. Simulasi pilihan konsumen pada 151 rumah tangga di Supit Urang, Malang dilakukan dengan membandingkan pilihan konsumen untuk menggunakan RE. Hasil simulasi tersebut menunjukkan pengaruh positif dari identitas yang memberi sinyal pada permintaan RE. Sampel mengharapkan pangsa pasar untuk RE sebagai pengganti energi dapat terus ditingkatkan.

Penelitian ini dilakukan terhadap perilaku konsumen di bidang energi terbarukanterutama menyangkut kesediaan membayar listrik ramah lingkungan dan perilaku s*witching product.* Mengubah perilaku bukanlah hal yang mudah untuk konsumen yang sudah lama mengkonsumsi sebuah merek atau produk atau jasa tertentu untuk pemenuhan kebutuhan hidup sehari-harinya. Namun, hal ini selalu menjadi perhatian bagi perusahaan untuk dapat mengubah perilaku tersebut (switching product). Perusahaan meletakan perhatian pada area konsumen tertentu karena melihat perkembangan pasar yang kompetitif untuk produk tertentu. Begitupun dengan perusahaan penyedia listrik yang benar-benar kompetitif menemukan cara agar konsumen yang melakukan pencarian informasi energi alternatif pengganti listrik dan gas dapat membuat konsumen mengalihkan perhatiannya pada produk jenis baru ini. Namun, untuk produk RE biaya menjadi penghalang utama. Bukan karena harga yang tinggi melainkanharga yang tidak terduga ketika mereka harus *switching product* di pasar listrik dan gas. Berikut ini merupakan bagan tentang konsep perubahan perilaku konsumen energi terbarukan yang dirumuskan oleh peneliti:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 4 Model Perubahan Perilaku Konsumen Energi Terbarukan
(Sumber: Peneliti, 2020)

Model perubahan perilaku konsumen energi terbarukan diperoleh dari aktivitas atau kegiatan yang dilakukan oleh responden yang ditunjukkan melalui hasil dalam penelitian ini. Model ini memiliki kesamaan dengan model Howard dan Sheth, baik dalam ruang lingkup, sudut pandang maupun tujuannya. Model Perilaku Konsumen dari Engel, Kollat dan Blackwell (EKB) membedakan tipe-tipe perilaku konsumen atas dasar situasi yang dihadapinya, apakah pilihan membeli berlangsung secara rutin atau hanya pada saat tertentu saja.

Langkah-langkah utama dalam model EKB adalah pengenalan kebutuhan, pencarian informasi, evaluasi alternatif, pembelian, dan hasilnya (Suhari, 2010).

Berdasarkan model perilaku konsumen dan hasil penelitian yang diperoleh, peneliti menemukan konsumen energi terbarukan mempertimbangkan faktor tidak langsung dalam proses pengambilan keputusannya. Faktor tersebut adalah keyakinan normatif yang dihubungkan dengan norma subjektif yang sudah lebih dahulu ada di lingkungan mereka sebelum energi terbarukan ini digunakan. Perubahan yang muncul dalam diri konsumen yang diakibatkan oleh faktor eksternal seperti norma normatif subjektif memunculkan tekanan sosial dalam dirinya sendiri, kemudian mendapatkan niat untuk mengonsumsi energi terbarukan bersama anggota masyarakat lain di lingkungannya.

Penelitian ini merupakan studi empiris kuantitatif dengan menggunakan survei *online* yang dikirim ke rumah tangga di Indonesia pengguna RE dan survei *offline* yang dikirim ke rumah tangga di Supit Urang, Malang (telah diakui sebagai daerah percontohan tingkat nasional untuk daerah dengan mandiri energi). Survei *online* digunakan untuk menyimulasikan situasi pilihan pelanggan untuk penggunaan listrik sebagai layanan mayoritas serta perbandingan dan perubahan penggunaan listrik yang terjadi di Indonesia.

Dalam penelitian ini, peneliti mengirimkan kuesioner sebanyak mungkin kepada lebih dari 400 responden dengan tujuan untuk mengetahui situasi pilihan konsumen yang sebenarnya. Peneliti melakukan survei *online* dan mengarahkan pilihan responden pada penggunaan energi terbarukan. Penelitian ini mengkaji perubahan perilaku konsumen pada penggunaan energi terbarukan dan produk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

listrik terbarukan pada khususnya. Tujuannya untuk memunculkan model perubahan perilaku berdasarkan konsep adopsi-inovasi.

Hipotesis dalam penelitian ini menunjukkan persentase responden yang memilih RE lebih tinggi visibilitas dan keterlibatannya dalam penggunaan RE secara mandiri. Peneliti mengirimkan kuesioner kepada 200 rumah tangga untuk mengisi survei *online* dengan simulasi konsumen menghasilkan total 151 balasan yang valid dengan toleransi kesalahan sebesar 10%. Selanjutnya peneliti melakukan survei *offline* yang melibatkan 30 orang yang diperoleh dari 151 responden yang sudah mengisi kuesioner *online* untuk diminta mengisi kuesioner secara *offline* sekaligus melakukan penggalian data secara kualitatif.

Peneliti membedakan responden antara rumah tangga yang tidak memiliki pengetahuan tentang energi terbarukan dan responden rumah tangga dengan anggota keluarga yang memiliki pengetahuan tentang energi terbarukan. Pemilihan ini berdasarkan asumsi bahwa keterlibatan seorang anggota keluarga yang memiliki pengetahuan tentang energi terbarukan lebih banyak memiliki keterlibatan dalam perubahan perilaku bagi rumah tangga yang di dalamnya tidak terdapat orang dengan pengetahuan RE atau rumah tangga yang belum menggunakan RE di rumahnya.

Penelitian ini menunjukan terdapat kemungkinan bias di antara responden yang diperkirakan tidak akan mempengaruhi simpulan peneliti tentang perilaku konsumen energi terbarukan. Pada saat melakukan studi pilihan konsumen secara *online* dan mengundang responden melalui komunitas, diperoleh hasil yang dapat digunakan untuk melakukan generalisasi atas populasi penelitian. Namun, karena peneliti menggunakan pengambilan sampel dengan cara acak untuk survei *online,* maka hasil yang diperoleh digunakan sebagai indikator tentatif tentang perubahan perilaku konsumen menggunakan pola adopsi-inovasi sehubungan dengan kemandirian energi pada rumah tangga di Indonesia.

Upaya mengintegrasikan RE dengan luaran berupa listrik dan gas, saluran harus dibuat menjadi lebih praktis dan aman agar dapat menyeimbangkan kebutuhan listrik dan gas serta produksi tidak berhenti. Dalam penelitian ini diperoleh hasil bahwa visibilitas perilaku konsumen (dalam hal ini keterlibatan) menunjukkan hasil yang lebih tinggi. Selain itu, munculnya peningkatan keterlibatan masyarakat dalam RE memungkinkan konsumen untuk mengubah perilaku konsumsi listrik konvensional pada penggunaan listrik dan gas yang bersumber dari RE. Hal ini dapat menyebabkan munculnya permintaan yang lebih tinggi untuk listrik terbarukan. Meningkatnya kepedulian tentang perubahan iklim membuat kesadaran publik menjadi meningkat, sehingga dapat mendorong tercapainya kebijakan baru oleh pemerintah untuk mendukung penelitian ilmiah terkait masalah ini.

Indonesia merupakan salah satu negara utama yang padat energi dan berada di bawah beban yang berlebihan untuk meningkatkan efisiensi energi serta berupaya mengurangi emisi karbon. Penggunaan energi terbarukan sebagai pengganti bahan bakar fosil berpotensi mengurangi emisi karbon dan konsumsi bahan bakar kendaraan untuk mengatasi masalah lingkungan. Penggunaan RE dipandang sebagai solusi untuk mengurangi emisi karbon yang mencegah kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, berbagai upaya sedang dilakukan untuk mempromosikan penggunaan RE sebagai alternatif energi pengganti listrik dan gas yang inovatif dan terjangkau.

Peneliti menggunakan model berdasarkan teori perilaku konsumen, salah satunya adalah Theory Plan Behaviour (TPB). Hal ini dilakukan untuk membuat konsumen sadar tentang adopsi RE. Ulasan ini didasarkan pada faktor-faktor yang memengaruhi adopsi RE di antara konsumen pengguna energi terbarukan di Indonesia. Model tersebut memperhitungkan sepuluh fitur utama yang memengaruhi penerapan RE di masyarakat, seperti kepedulian lingkungan, norma pribadi, sikap, biaya, frekuensi, durasi, niat, norma subjektif, kontrol perilaku yang dirasakan, dan norma pribadi. Semua konstruksi ini merupakan pendorong penerapan RE di masyarakat. Faktor-faktor

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ini memengaruhi hubungan antara penerapan RE dan bagaimana konsumen bermaksud serta melindungi lingkungannya. Tinjauan tersebut didasarkan pada peningkatan bagaimana kesenjangan "sikap dan tindakan" dipahami karena merupakan elemen penting untuk studi lebih lanjut tentang perilaku konsumen.

Dalam penelitian ini diperoleh kerangka kerja cara memodifikasi masalah lingkungan dan konsumen dalam memperoleh RE. Hal ini akan membuka jalan bagi lebih banyak penelitian akademis dan karya masa depan yang dapat menekankan bagaimana memperoleh hasil empiris terkait masalah lingkungan yang melibatkan aspek pemasaran dan komunikasi (komunikasi pemasaran). Sebelum perilaku konsumen dinilai dan dipertimbangkan, perlu dilakukan observasi terhadap teknologi terkini dengan metode dan pengetahuan tentang aspek adopsi teknologi yang ada. Terlepas dari potensinya yang tinggi, sumber energi terbarukan tidak cukup dieksploitasi di Indonesia. Penelitian ini membahas potensi terjadinya perubahan perilaku konsumsi untuk sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk membuat strategi pemasaran sosial yang didasarkan pada penggunaan adopsi-inovasi untuk kemandirian energi. Untuk mendapatkan hasil analisis ini, peneliti menggunakan hasil survei terkait akseptabilitas untuk membayar RE yang digunakan. Setelah membedakan parameter yang mempengaruhi penerimaan atau pilihan dan kesediaan untuk membayar RE, responden diminta untuk mendemonstrasikan cara-cara untuk mengeksploitasi RE. Oleh karena itu, penelitian ini hanya mengukur kesenjangan antara hasil studi preferensi yang dinyatakan konsumen dan wawasan yang dihasilkan untuk perubahan perilaku konsumen.

Berdasarkan hasil temuan terkait adopsi-inovasi untuk perubahan perilaku konsumen energi terbarukan, disusunlah strategi SWOT yang dapat digunakan untuk memaksimalkan sumber energi terbarukan di suatu wilayah berdasarkan hasil analisis di bawah ini.

	Internal	Eksternal
	Strength	**Opportunities**
Positif	1. Produksi desentralisasi 2. Pembuangan karbon (Dekarbonisasi) konsumsi energi 3. *Sustainability* 4. Sesuai dengan undang-undang di Indonesia 5. keamanan energi	1. Hidup berdampingan, co-promotion, co-branding dengan konsep ekologis lainnya 2. Sumber energi terbarukan yang sangat beragam 3. Harga listrik dan harga bahan bakar fosil yang tinggi 4. Sumber energi terbarukan menciptakan lapangan kerja baru
	Weakness	**Threats**
Negatif	1. Infrastruktur jaringan yang tidak memadai 2. Modal / Biaya awal yang tinggi 3. Penelitian yang tidak memadai 4. Kurangnya penguatan dan pemantauan 5. Hambatan teknologi 6. Tidak efisien (Distorsi) pasar dan persaingan 7. Permasalahan administratif	1. Keterlambatan regulasi pasar energi 2. Keterlambatan pencapaian target 3. Eksploitasi yang tidak merata dan tidak memadai 4. Kapasitas kelembagaan yang tidak memadai 5. Penyebaran informasi yang tidak memadai

Gambar 5 Analisis SWOT untuk Sumber Energi Terbarukan
(Sumber: Peneliti 2020)

Evaluasi keseluruhan dari kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman (analisis SWOT) harus dipertimbangkan untuk bauran pemasaran agar sukses. Peneliti mendapatkan analisis SWOT tersebut dengan cara melakukan survei yang dimulai secara umum dengan sesi informasi dan pendahuluan yang menjelaskan penggunaan energi terbarukan kepada responden untuk memastikan bahwa responden mengetahuinya. Penjelasan gambar analisis SWOT tersebut RE memiliki sifat berkelanjutan karena dekarbonisasi, pertumbuhan ekonomi yang dihasilkan, aman (menahan diri dari risiko geopolitik, tidak ada risiko kecelakaan, misalnya tumpahan minyak) dan sebagian besar RE dapat dipasok bahkan di daerah pedesaan terpencil. Perkembangan mereka didukung oleh peluang yang disebutkan dalam kolom *opportunities* dan *threat.* RE dapat berkembang menjadi *co-branding* dan *co-promotion* dengan tujuan lain yang diupayakan oleh komunitas di daerah pengahasil RE.

Energi terbarukan sendiri muncul dalam variasi yang besar, artinya setiap negara atau bahkan konsumen/warga negara dapat mengembangkan keunggulan atau keunikannya masing-masing. Pengembangan RE lebih lanjut diperkuat dengan harga energi konvensional yang tinggi di seluruh dunia. Industri energi terbarukan di Supit Urang diperkirakan mampu mendukung seluruh penduduk di kota Malang, menyediakan jutaan pekerjaan pada tahun 2020.

Strength dan *Weakness* dalam matriks SWOT dapat disebut sebagai biaya dari RE. Infrastruktur jaringan yang tidak memadai dikombinasikan dengan biaya awal yang tinggi menyebabkan RE belum dapat ditransfer dari satu kota ke kota lain dan ke pedesaan terpencil atau sebuah daerah. Kurangnya penegakan aturan dan pemantauan terkait target yang ditetapkan, menyebabkan eksploitasi RE tidak merata di seluruh Indonesia. Hambatan penelitian dan teknologi bersama dengan kurangnya informasi dan dukungan kelembagaan juga memperlambat penyebaran RE. Penundaan dalam deregulasi bersama dengan pasar sejenis distorsi dan kekurangan persaingan merupakan bagian penyebab RE belum berkembang dengan baik di Indonesia.

Dalam penelitan ini, peneliti mempelajari sikap konsumen terhadap energi terbarukan di Indonesia dan keinginan mereka untuk menggunakan dan membeli listrik atau sistem energi terbarukan. Setelah responden mengisi kuesioner, peneliti menggunakan model regresi linier sederhana untuk menganalisis hasil penelitian. Kesediaan untuk membeli sistem energi terbarukan sendiri (misalnya pemanas air menggunakan gas metana) dipengaruhi oleh usia, seberapa menjanjikan potensi energi terbarukan terlihat dan apakah orang tersebut dapat memilih sistem energi terbarukan sendiri? Kesediaan untuk membayar produk listrik ramah lingkungan tertentu dipengaruhi oleh pendapatan, jenis bangunan, dan potensi energi terbarukan yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan masalah harga dan peralatan (operasi, pemeliharaan) sering dianggap sebagai hambatan untuk membeli RE. Penghematan energi dan ketahanan energi paling sering dipilih sebagai motivasi untuk membeli RE dan alasan lingkungan lebih jarang dipilih. Namun, membeli RE akan memiliki makna lingkungan yang kuat bagi banyak responden. Beberapa responden menyebutkan harga yang lebih rendah dan subsidi pemerintah dapat memotivasi mereka untuk membeli RE lebih banyak lagi.

Peneliti menyimpulkan bahwa selain regulasi diperlukan juga kampanye dari periklanan agar informasi terkait RE yang dibutuhkan oleh konsumen dapat tersampaikan dengan baik. Di pasar listrik yang diliberalisasi, konsumen dapat memilih produk listrik sesuai dengan kesukaan mereka, banyak pemasok menawarkan produk energi hijau sukarela kepada pelanggan. Kemauan untuk membayar listrik hijau juga dipelajari di beberapa negara. Studi-studi ini mewakili situasi yang berbeda mengingat kebijakan energi terbarukan, struktur produksi listrik, serta periode waktu dan tahapan pembukaan pasar listrik yang berbeda. Sebagian besar literatur yang ada berfokus pada negara-negara Barat, hanya ada sedikit penelitian yang melihat situasi energi terbarukan di Indonesia.

Penelitian ini menunjukkan perilaku konsumen dipengaruhi oleh beberapa faktor pada waktu yang bersamaan, dan pada

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

karakteristik seperti pendapatan, usia dan pendidikan yang telah terbukti berdampak pada kesediaan konsumen untuk membayar listrik ramah lingkungan. Sebagai tambahan, kesadaran lingkungan, jenis energi terbarukan, harga, dan energi terbarukan yang menjanjikan, secara umum dapat memengaruhi kemauan untuk membeli energi hijau. Di sisi lain, kurangnya informasi, kebingungan konsumen dan kebiasaan lama dapat menghambat pembelian energi terbarukan. Selain itu, terlihat bahwa struktur produksi energi di dalam negeri berpengaruh terhadap seberapa penting perannya produk energi terbarukan dipertimbangkan.

Penelitian yang dilakukan di Norwegia menemukan efisiensi energi dipandang sebagai tindakan lingkungan yang lebih penting daripada membeli listrik hijau karena produksi energi terbarukan sudah merupakan bagian tertinggi dalam produksi listrik (Aasen, Westskog, Wilhite, & Lindberg, 2010). Jenis mekanisme partisipasi juga dapat memengaruhi partisipasi seperti yang diungkapkan oleh (Kotchen & Moore, 2007). Selain itu, jenis energi terbarukan yang tersedia memiliki dampak lingkungan tambahan nyata yang dapat mempengaruhi permintaan (Hast, Syri, Jokiniemi, Huuskonen, & Cross, 2015). Energi terbarukan juga dapat dipandang sebagai contoh barang publik, dan kemungkinan biaya tambahannya dibayar oleh individu sukarela. Sejak konsumen membeli energi terbarukan, tidak hanya mendapatkan keuntungan, namun juga terdapat insentif yang kuat untuk tumpangan gratis seperti yang dinyatakan oleh (Batley, Colbourne, Fleming, & Urwin, 2001; Wiser, 1998).

Studi di Supit Urang menunjukkan faktor terpenting yang mempengaruhi niat konsumsi RE adalah penyebaran informasi, perilaku konsumen sangat dipengaruhi oleh pilihan konsumen lain. Niat konsumsi tidak terpengaruh dengan karakteristik seperti pekerjaan, kondisi ekonomi atau pendidikan. Perilaku pembelian sebenarnya dipengaruhi oleh niat berlangganan tetapi tidak oleh faktor ekonomi (Zhang, Jiang, & Lin, 2011).

Hasil survei *online* di kalangan penduduk di beberapa daerah perkotaan Indonesia menunjukkan responden dengan pendapatan dan pendidikan lebih tinggi memilih untuk membayar RE lebih tinggi daripada energi yang selama ini digunakan. Hasil survei tersebut menunjukkan RE dinilai ramah lingkungan sehingga produk dikategorikan dalam produk mewah dan efek Veblen (konsumen lebih memilih produk dengan harga lebih tinggi) ada di segmen populasi tertentu (Zhang & Wu, 2012).

Liu et al. telah mempelajari penerimaan pedesaan dari energi terbarukan di Cina dan menemukan sebagian besar penduduk pedesaan menunjukkan respon positif untuk listrik terbarukan. Orang tua dan muda dengan penghasilan yang lebih tinggi cenderung bersedia membayar lebih untuk listrik hijau. Tingkat pengetahuan individu dan persepsi tentang biaya energi terbarukan meningkatkan kemungkinan bersedia membayar lebih tinggi (Liu, Wang, & Mol, 2013b). Analisis oleh Yuan dkk. juga menunjukkan bahwa pendapatan, usia, dan pendidikan memengaruhi tingkat kesadaran teknologi energi surya dan keputusannya untuk menerapkan teknologi energi surya di rumah. Survei mereka di daerah perkotaan dan pedesaan kota Jinan di provinsi Shandong juga menunjukkan bahwa pemanas air tenaga surya telah mendapatkan tingkat kesadaran publik yang lebih tinggi daripada teknologi energi surya lainnya. Tingkat kesadaran itu lebih tinggi di antara penduduk perkotaan daripada penduduk di pedesaan (Yuan, Zuo, & Ma, 2011).

Beberapa penelitian di atas dapat disimpulkan munculnya beberapa kemungkinan bahwa konsumen memiliki ketakutan dan kekhawatiran tentang penggunaannya. Orang mungkin akan mengira penggunaan RE ramah lingkungan dapat merusak peralatan elektronik mereka. Dengan demikian, diperlukan sebuah saluran agar konsumen mendapatkan informasi yang jelas, sehingga mereka dapat memilih menggunakan RE atau tidak. Peneliti menemukan bahwa kesediaan untuk membeli listrik ramah lingkungan bergantung pada bagaimana responden melihat potensi RE secara umum, jenis bangunan, dan pendapatan. Kemungkinan untuk memilih sistem RE secara statistik berpengaruh signifikan terhadap hasil.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Demikian pula Yuan et al. (2011) menemukan jenis bangunan memengaruhi sikap terhadap teknologi surya. Pendapatan tampaknya memengaruhi kesediaan untuk membeli energi terbarukan dan jumlah yang harus dibayar konsumen.

SIMPULAN

Sumber energi terbarukan dan manfaat yang dihasilkan belum dapat dipahami dengan baik oleh konsumen dan komunitas lokal, sehingga konsumen energi terbarukan di Indonesia perlu mendapatkan pencerahan tentang pentingnya konsep difusi inovasi yang lebih sesuai dengan kondisi saat ini. Hal ini tentunya berimplikasi pada pembuat kebijakan, pemasok listrik, dan peneliti selanjutnya. Untuk membuat strategi pemasaran yang sukses atau *branding* yang efisien digunakan model perilaku konsumen untuk produk listrik dan motif di balik konsumerisme hijau yang harus dipahami. Melalui model perubahan perilaku ini, pengambil kebijakan dapat melakukan identifikasi strategi pemasaran dan *branding* sehingga diharapkan akan berhasil mengubah perilaku konsumen dan meningkatkan derajat keterlibatan konsumen pada produk energi terbarukan.

Dengan pengembangan energi terbarukan, konsumen akan menjadi lebih terlibat dan lebih banyak memiliki peran sentral dalam sistem komunitas di wilayah energi mandiri. Oleh sebab itu, selain memantapkan penggunaan energi terbarukan, bagian lain seperti pemasaran, penelitian lebih lanjut tentang perilaku konsumen harus terus dilakukan untuk mendapatkan sebuah sistem energi mandiri secara menyeluruh. Hasil penelitian ini berimplikasi pada pembuat kebijakan yang ingin meningkatkan permintaan listrik terbarukan di bawah aturan pasar saat ini. Penelitian pengaruh perilaku konsumen ini mendorong pilihan konsumen menggunakan listrik energi terbarukan. Pengaruh ini dapat menyebabkan peningkatan permintaan listrik terbarukan lebih cepat dengan biaya lebih rendah.

Terdapat beberapa langkah yang dapat diambil pada tingkat makro yang dapat meningkatkan kehidupan individu tanpa benar-benar terlibat dalam tindakan apa pun, seperti pemasangan energi terbarukan di semua gedung milik umum. Dengan demikian, pengurangan emisi CO_2 juga dapat tercapai, yang akan bermanfaat bagi seluruh masyarakat.

Survei yang dilaporkan di atas memberikan ruang untuk koreksi antara pengguna (konsumen), organisasi, dan negara. Survei tersebut yaitu pelanggan dapat berbagi pengalaman dan mengomunikasikan kebutuhan mereka secara langsung. Semua survei yang diterapkan sejauh ini telah memberikan kontribusi besar untuk pemahaman pasar, dan memberikan wawasan pemasaran yang unik. Langkah selanjutnya memanfaatkan hasil survei untuk menghasilkan bauran pemasaran yang terbaik. Penelitian yang dilakukan sejauh ini pada dasarnya merupakan penelitian pemasaran. Jika kondisi ekonomi yang buruk dan tingkat pendidikan yang rendah dapat menghambat penggunaan energi terbarukan, maka, pembuat kebijakan harus memopulerkan penggunaan energi dan teknologi terbarukan untuk meningkatkan dukungan publik lokal.

DAFTAR PUSTAKA

A. Hast, B. Alimohammadisagvand, S. Syri. (2015). Consumer attitudes towards renewable energy in China—The case of Shanghai. Sustainable Cities and Society,17, 69-79.

Adjikri, Fikri. (2017). Strategi Pengembangan Energi Terbarukan Di Indonesia. JOM elektro. 1-1. 1-13

Adnan, N., Nordin, S.M., Rahman, I. et al. (2017). A market modeling review study on predicting Malaysian consumer behavior towards widespread adoption of PHEV/EV. Environ Sci Pollut Res 24, 17955–17975. https://doi.org/10.1007/s11356-017-9153-8

Angeliki N. Menegaki. (2012). A social marketing mix for renewable energy in Europe based on consumer stated preference surveys. Elsevier: Renewable Energy, 39-1 30-39.

Arikunto. (2010). Prosedur penelitian: suatu pendekatan praktek. Jakarta: Rineka Cipta.

Cahyono , M. Sigit. (2013). Pengaruh Jenis Bahan Pada Proses Pirolisis Sampah

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Organik Menjadi Bio-Oil Sebagai Sumber Energi Terbarukan. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan, 5-2, 67-76

Chen, Mei-Fang, Pei-JuTung. (2014). Developing an extended Theory of Planned Behavior model to predict consumers' intention to visit green hotels. International Journal of Hospitality Management, 36, 221-230

Creswell, J. W. (2014). Research design: pendekatan kualitatif. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Daphna, Oyserman. (2009). Elsevier:Journal of Consumer Psychology 19-3, 276-279. https://doi.org/10.1016/j.jcps.2009.06.001

Everett M. Rogers. (1983). Diffusion of Innovations. London: The Free Press.

Gao, Lan, Shanyong Wang, Jun Li, Haidong Li. (2017). Application of the extended theory of planned behavior to understand individual's energy saving behavior in workplaces. Resources, Conservation and Recycling, 127, 107-113

Gay, L., & G.E, Mills. (2006). Educational research (competencies for analysis and applications). USA: Pearson.

Hae-Kyong Bang Alexander E. Ellinger John Hadjimarcou Patrick A. Traichal. (2020). Consumer concern, knowledge, belief, and attitude toward renewable energy: An application of the reasoned action theory. https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6793(200006)17:6<449::AID-MAR2>3.0.CO;2-8

Juwito, Arif Febriansyah, Sasongko Pramonohadi , T. Haryono. (2012). Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya. Jurnal Ilmiah Semesta Teknika. 5-1. 22-34

Keirstead, James., et.al. (2012). Evaluating biomass energy strategies for a UK eco-town with an MILP optimization model. Biomass and Bioenergy, 39, 306-316

Kholiq, Imam. (2015). Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Subtitusi BBM. Jurnal IPTEK, 19-2. 75-91

Kostakis.I.E.Sardianou. (2012). Which factors affect the willingness of tourists to pay for renewable energy?. Renewable Energy, 38-1 1, 169-172.

Lee, Yi-Hsuan. Yi-Chuan Hsieh and Chia-Ning Hsu. (2011). Adding Innovation Diffusion Theory to the Technology Acceptance Model: Supporting Employees' Intentions to use E-Learning Systems. Journal of Educational Technology & Society, 14-4, 124-137

Liu, Wenling Can, Wanga Arthur P.J.Mol. (2013). Rural public acceptance of renewable energy deployment. The case of Shandong in China. Applied Energy, 102, 1187-1196.

Lofland, J., Snow, D., Anderson, L., & Lofland, L, H., (2006). Analyzing social setting: a guide to qualitative observation and analysis. US: Thomson Wadsworth.

Momsen, Kathrina, Thomas Stoerk. (2014). From intention to action: Can nudges help consumers to choose renewable energy?. Energy Policy. 74, 376-382.

Nienhuesera, Ian Andrew ,Yueming Qiub. (2016). Economic and environmental impacts of providing renewable energy for electric vehicle charging – A choice experiment study. Applied Energy, 180, 256-268

Purba, Noir Primadona. (2014). Variabilitas Angin dan Gelombang Laut Sebagai Energi Terbarukan di Pantai Selatan Jawa Barat. Jurnal Akuatika, 5-1. 8-15

Raphael Hanimann a,n , Johan Vinterbäck, Cecilia Mark-Herbert. (2015). Consumer behavior in renewable electricity: Can branding in accordance with identity signaling increase demand for renewable electricity and strengthen supplier brands?. Energy Policy, 78, 11-21

Singletom, Jr., & Straits, B., 2005. Approaches to social research (4th edition). New York, NY: Oxford University Press.

Solangi, Yasir Ahmed., et.al. (2019). Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach. Journal of Cleaner Production, 236, 117-655

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Soon, Jan-Jan, Siti-Aznor Ahmad. (2015). Willingly or grudgingly? A meta-analysis on the willingness-to-pay for renewable energy use. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 44, 877-887

Suhari, Y. (2010). E-COMMERCE : MODEL PERILAKU KONSUMEN. Jurnal Dinamika Informatika, 2(2). https://doi.org/10.35315/informatika.v2i2.898

Swaminathan Mani, Tarun Dhingra. (2012). Diffusion of innovation model of consumer behaviour e Ideas to accelerate adoption of renewable energy sources by consumer communities in India. University of Petroleum and Energy Studies (UPES), Dehradun, India. 39-1, 162-165.

Tan, Sie Ting., et.al. (2014). Energy and emissions benefits of renewable energy derived from municipal solid waste: Analysis of a low carbon scenario in Malaysia. Applied Energy, 136, 797-804

Weigel, F. K., Hazen, B. T., Cegielski, C. G., & Hall, D. J. (2014). Diffusion of Innovations and the Theory of Planned Behavior in Information Systems Research: A Metaanalysis. Communications of the Association for Information Systems, 34, pp-pp. https://doi.org/10.17705/1CAIS.03431

Yadava, Rambalak, Govind Swaroop Pathak. (2016). Young consumers intention towards buying green products in a developing nation: Extending the theory of planned behavior. Journal of Cleaner Production, 135, 732-739

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JURNAL KETAHANAN NASIONAL
Vol. 24, No.2, Agustus 2018, Hal 239-260
DOI:http://dx.doi.org/ 10.22146/jkn.30999
ISSN:0853-9340(Print), ISSN:2527-9688(Online)
Online sejak 28 Desember 2015 di :http://jurnal.ugm.ac.id/JKN

VOLUME 24 | No. 2, Agustus 2018 | Halaman 239-260

Meningkatkan Keamanan Energi Melalui Perincian Indikator Energi Terbarukan dan Efisiensi Guna Membangun Ketahanan Nasional Dari Daerah

Erkata Yandri
Sekolah PascasarjanaEnergi Terbarukan, Universitas Darma Persada
Pusat Studi Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada
email: erkata@gmail.com, erkata@pasca.unsada.ac.id

Ratna Ariati
Sekolah Pascasarjana Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada
Pusat Studi Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada
email: ratna.ariati@gmail.com

Riki Firmandha Ibrahim
Sekolah Pascasarjana Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada
email: r.firmandha@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this paper was to discussed how to developed the concept of Indonesia's energy security model with of Renewable Energy (RE) and Energy Efficiency (EE) programs.

To did this, there were four important concepts must be completed: reconceptualized the Indonesia's energy security model; explained the energy security (ES) relationship with the details of the indicator; explained the potential of ET and EE in each sector; explained the role of local government in exploiting the potential of ET and EE.

As an archipelago country divided into several regions, in order to get accurate prediction, our result showed that development Indonesian energy security models needed to be developed properly with more detailed indicators of RE and EE. To pursued the goal of national energy policy, the potential of RE and EE in each province should be utilized immediately, the role of local government was very important. The concept of detailed RE and EE indicators would create a contribution for local governments in realizing national energy security.

Keywords: Energy Security, Local Government, Renewable Energy, Energy Efficiency, Detailed Indicators

ABSTRAK

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk membahas bagaimana mengembangkan konsep model keamanan energi Indonesia dengan program Energi Terbarukan (ET) dan Efisiensi Energi (EE).

Untuk melakukan ini, ada empat konsep penting yang harus diselesaikan: mengkonsepkan kembali model keamanan energi Indonesia; menjelaskan hubungan kemananan energi (ES) dengan perincian indikator; menjelaskan potensi ET dan EE di masing-masing sektor; menjelaskan peran pemerintah daerah dalam memanfaatkan potensi ET dan EE.

Sebagai negara kepulauan yang terbagi menjadi beberapa provinsi, analisis menunjukkan bahwa model keamanan energi Indonesia perlu dikembangkan dengan indikator ET dan EE yang lebih rinci. Untuk mengejar tujuan kebijakan energi nasional, potensi ET dan EE di setiap provinsi harus segera dimanfaatkan, maka peran

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pemerintah daerah sangat penting. Konsep model indikator ET dan EE yang terperinci ini akan merupakan kontribusi bagi pemerintah daerah dalam mewujudkan keamanan energi nasional.

Kata Kunci: Keamanan Energi, Pemerintah Daerah, Energi Terbarukan, Efisiensi Energi, Indikator Rinci

PENGANTAR

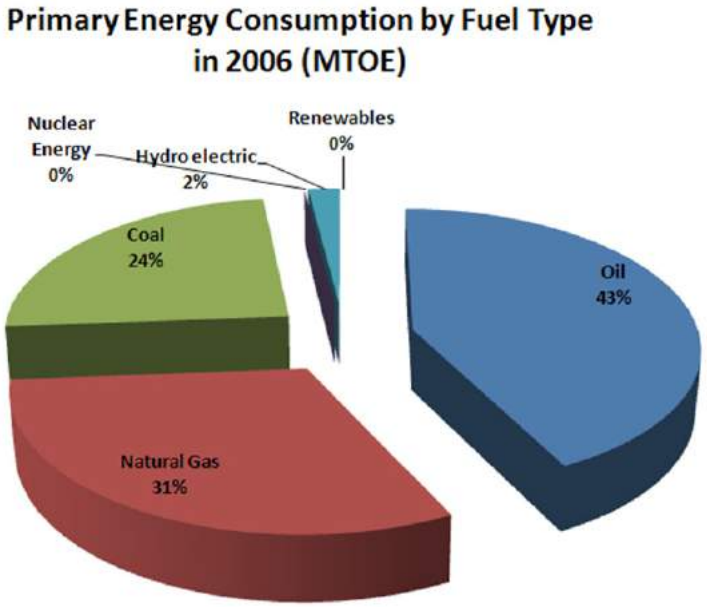
Energi adalah salah satu kebutuhan masyarakat yang tidak bisa lepas dari kehidupan sehari-hari, tidak hanya secara pribadi tapi juga dalam kehidupan berbangsa dan bernegara. Gangguan pasokan energi secara langsung akan mempengaruhi pertumbuhan ekonomi dan pembangunan suatu negara. Oleh karena itu, masing-masing negara memiliki strategi energi khusus untuk mengamankan pembangunan nasionalnya. Dalam kasus Indonesia, strategi energinya dituangkan dalam bentuk Undang-Undang pada tahun 2007, yaitu Undang-Undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi. Dalam pasal 2 Undang-Undang tersebut secara jelas tercantum strategi pengelolaan energi yang pada prinsipnya didasarkan pada asas-asas manfaat, nasionalitas, efisiensi yang setara, nilai tambah ekonomi, keberlanjutan, kesejahteraan masyarakat, pelestarian lingkungan, keamanan nasional, dan integritas. Prinsip-prinsip ini mengarah pada keberlanjutan pembangunan nasional dan keamanan energi atau disebut *Energy Security* atau disingkat dengan ES.

Yang dimaksud dengan pengelolaan energi sebagaimana tercantum pada pasal 1 Ketentuan Umum dari Undang-Undang tersebut adalah penyelenggaraan kegiatan penyediaan, pengusahaan, dan pemanfaatan energi serta penyediaan cadangan strategis dan konservasi sumber daya energi. Ketentuan tersebut membawa pengertian bahwa pengelolaan energi dilakukan mulai dari hulu hingga hilir seluruh kegiatan yang terkait dengan energi atau dengan kata lain dari mulai penyediaan hingga pemanfaatan akhir oleh pengguna/konsumen energi.Pengelolaan energi di sisi penyediaan meliputi (1). Sumber daya energi tak terbarukan yang akan habis jika dieksploitasi secara terus menerus, antara lain minyak bumi, gas bumi, batubara, gambut, dan serpih bitumen; (2). Sumber daya energi terbarukan (ET) yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut; dan (3). Sumber energi baru yang dapat dihasilkan oleh teknologi baik yang berasal dari sumber energi tak terbarukan maupun sumber energi terbarukan, antara lain nuklir, hydrogen, gas metana batu bara (*coal bed methane*), batu bara tercairkan (*liquefied coal*), dan batubara tergaskan (*gasified coal*). Adapun pengelolaan energi di sisi pemanfaatan baik yang menggunakan energi secara langsung maupun tidak langsung dari sumber energi, diamanatkan untuk dilakukan berdasarkan asas-asas pengelolaan yaitu: (1). Mengoptimalkan seluruh potensi sumber daya energi, (2). Mempertimbangkan aspek teknologi, sosial, ekonomi, konservasi, dan lingkungan; (3). Memprioritaskan pemenuhan kebutuhan masyarakat dan peningkatan kegiatan ekonomi di daerah penghasil sumber energi (Undang-Undang No 30, 2007).

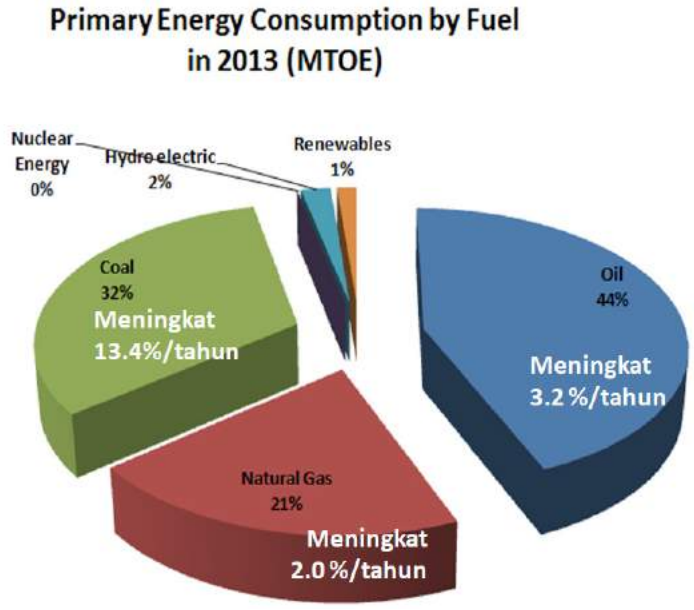
Dengan strategi seperti tersebut di muka, diharapkan tujuan pengelolaan energi untuk mendukung pembangunan nasional baik sebagai bahan baku industri maupun sebagai bahan bakar dapat tercapai dan berkelanjutan dalam arti dapat menjamin penyediaan dan pemanfaatan energi untuk generasi sekarang dan yang akan datang. Pada kenyataannya,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 1
Perbandingan Konsumsi Energi Primer Per Jenis Sumber Energi Tahun 2006 Dan 2013



Sumber: Pusdatin ESDM, 2014



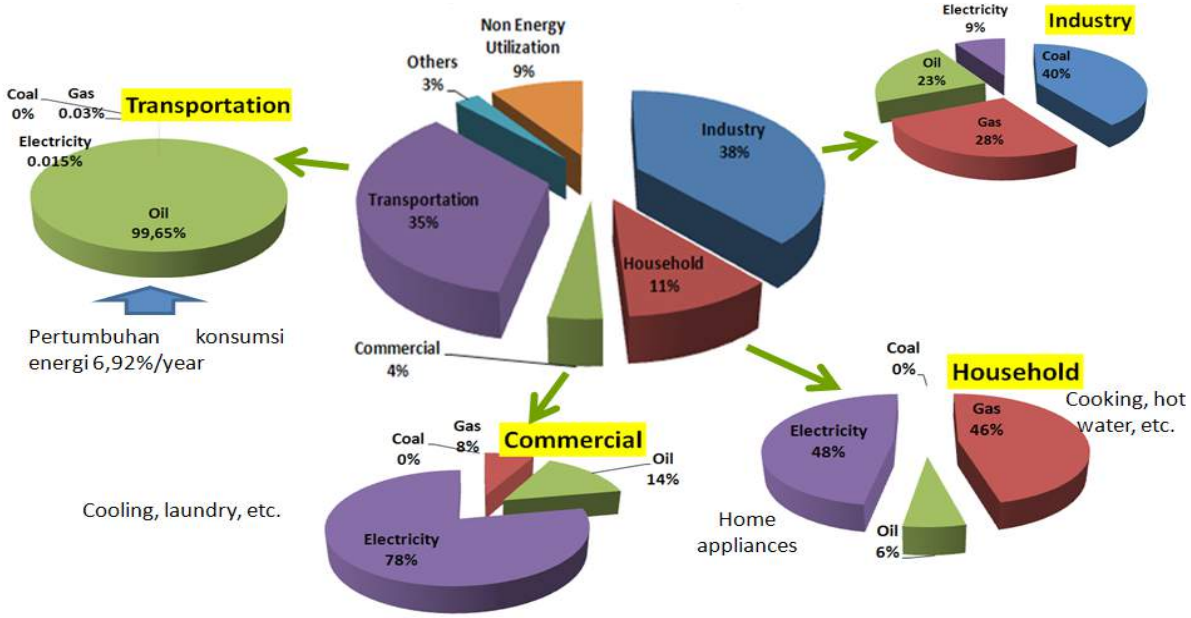
Sumber: Pusdatin ESDM, 2014

sebagaimana pada gambar 1, konsumsi energi Indonesia baik energi primer maupun energi akhir terus meningkat dari tahun ke tahun sejak tahun 2006 sampai dengan 2013 secara berturutan dengan rata-rata 3,2% (oil), 2,0% (gas) dan 13,4% (coal), (Pusdatin ESDM, 2014).

Dalam perkembangannya telah terjadi perubahan paradigma di bidang energi, yang semula dipandang hanya sebagai komoditi yaitu dijual untuk meningkatkan pendapatan yang digunakan untuk pembangunan nasional, kini langsung

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 2
Konsumsi Energi Akhir Menurut Sektor Tahun 2013
(Tidak Termasuk Biomassa Tradisional)



Sumber: British Petroleum (BP), 2017.

dipergunakan sebagai modal pembangunan untuk mencapai kemandirian energi (Harris, 2018). Perubahan paradigma energi tersebut dituangkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Tujuan dari kebijakan ini adalah untuk mengoptimalisasikan pemanfaatan energi guna (1). Pembangunan ekonomi nasional; (2). Penciptaan nilai tambah di dalam negeri; (3). Penyerapan tenaga kerja; (4). Peningkatan porsi gas dan batubara domestic dibanding ekspor; (5). Peningkatan sumber energi insitu (energi baru terbarukan dan PLTU Mulut Tambang); (6). Peningkatan konektivitas energi.

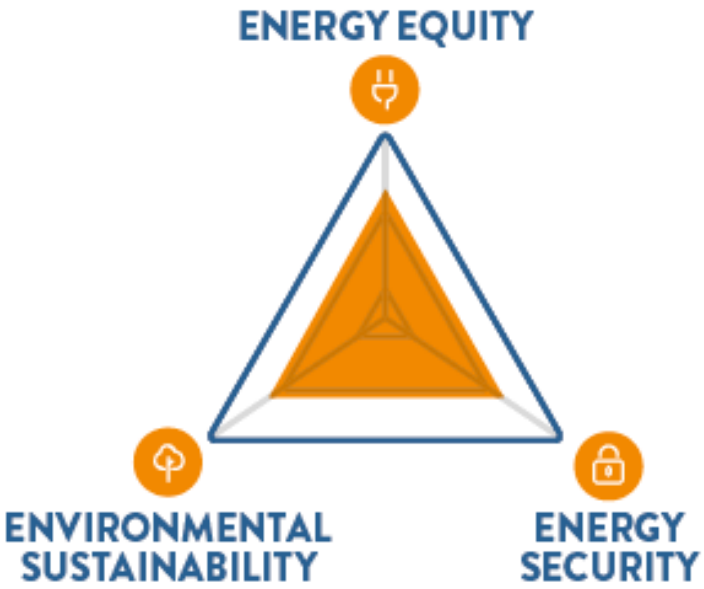
Dengan kebijakan energi ini dimaksudkan dapat mencapai target kontribusi energi terbarukan (ET) ke dalam bauran energi nasional masing-masing sekitar 23% dan 31% pada tahun 2025 dan 2050. Kebijakan ini juga bertujuan untuk menghemat konsumsi energi melalui efisiensi energi (EE) sebanyak 17% dan 39% (dengan skenario *Business as Usual*) pada tahun 2025 dan 2050 (PP No 79 Tahun 2014).

Kebijakan tersebut dianggap sangat ambisius. Diprediksi, konsumsi energi akan terus meningkat tajam seiring dengan pertumbuhan penduduk sekitar 1,49% per tahun dan pertumbuhan ekonomi sekitar 5-7% per tahun (Badan Pusat Statistik, 2014; BPPT, 2016), maka diperkirakan pada tahun 2050, kontribusi energi terbarukan hanya bisa mencapai 13,7% (untuk skenario tinggi), atau 14,9% (untuk skenario rendah). Karena itu, dibutuhkan upaya besar dari semua pihak di dalam negeri, baik dari sisi penyediaan maupun permintaan untuk mencapai tujuan tersebut.

Kita dapat membandingkan dengan status konsumsi energi per sektor dan per jenis energi final, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 (British Petroleum (BP), 2017). Ini menunjukkan bahwa keamanan energi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 3
Tiga Demensi Trilemma Energi



Sumber: World Energy Council, 2017.

Indonesia cukup rentan dan lemah (Mujiyanto and Tiess, 2013),terutama dalam menghadapi trilemmaenergi (Gunningham, 2013).

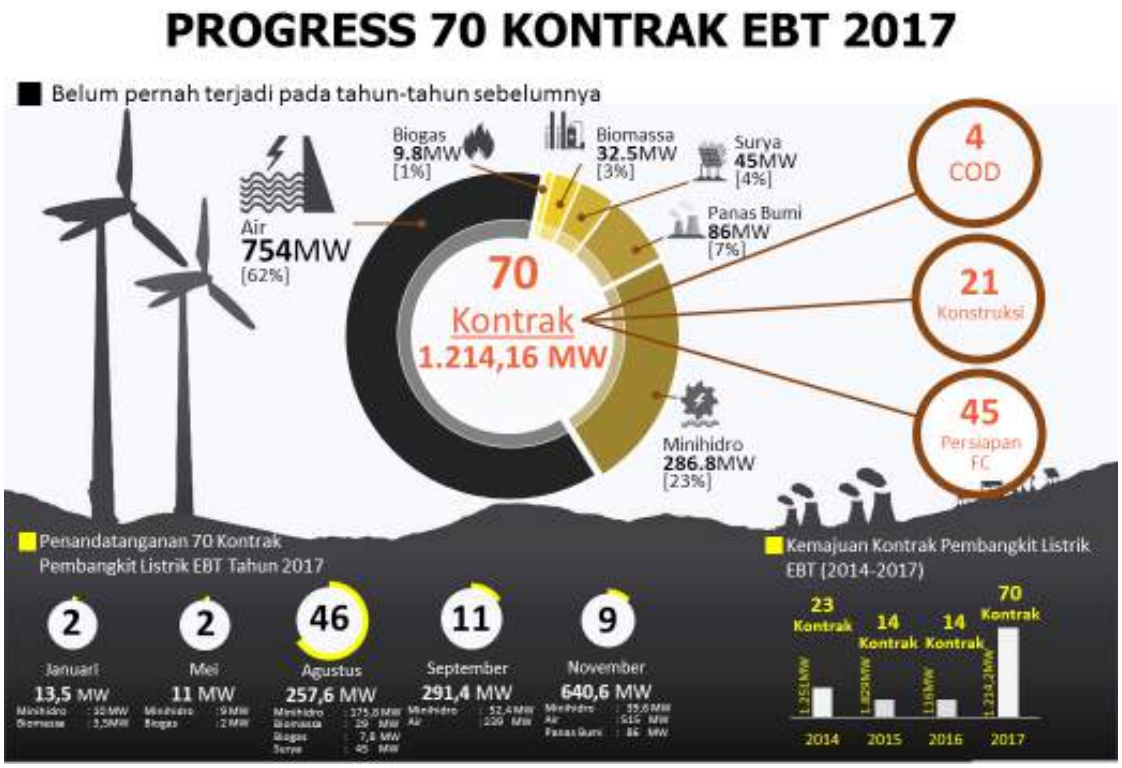
Keberlajutan energi (*energy sustainability*) dari suatu negara, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3, didasarkan pada tiga demensi inti, yaitu (1). *Energy security* (ES) yang merupakan pengelolaan efektif dari pasokan energi primer domestik maupun sumber daya eksternal, infrastruktur energi yang andal, dan kemampuan penyediaan energi untuk memenuhi kebutuhan saat ini maupun di masa yang akan datang; (2). *Energy equity* yang dapat menyediakan akses energi dengan harga terjangkau bagi semua penduduk di negara tersebut; (3). *Environmental sustainability* yang mencakup pencapaian penyediaan dan pemanfaatan energi yang efisien, pengembangan pasokan energi dari energi terbarukan dan sumber energi lain yang rendah karbon. Menyeimbangkan ketiga demensi tersebut menimbulkan trilemma energi dan menjadi dasar kesejahteraan serta daya saing suatu negara. Rentannya dan lemahnya keamanan energi Indonesia dapat dilihat dari letaknya berdasarkan indeks trilemma energi yang menduduki peringkat 75 dari 125 negara (World Energy Council, 2017).

Terlepas dari upaya yang telah dilakukan oleh negara sampai dengan saat ini untuk mengatasi trilemma energi tersebut, dapat dikatakan bahwa capaian di bidang pengembangan energi terbarukan masih sangat rendah. Sebagai gambaran 70 kontrak pengembangan energi baru terbarukan yang ditandatangani oleh para pengembang dengan Perusahaan Listrik Negara pada tahun 2017, pada bulan Juli tahun 2018 sebanyak 45 kontrak di antaranya dikuatirkan gagal karena terkendala oleh tiadanya pendanaan, sebagaimana terlihat pada gambar 4 (Harris, 2018).

Adapun pencapaian di bidang konservasi dan efisiensi energi walaupun belum menggembirakan namun sudah menunjukkan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 4
Pencapaian Di Bidang Energi Baru Dan Terbarukan



Sumber: Harris, 2018.

kecenderungan yang membaik, sebagaimana dapat dilihat pada gambar 5 (Dirjen EBTKE/ KESDM, 2017).

Peningkatan pemanfaatan energi baru dan energi terbarukan diamanatkan oleh Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi kepada Pemerintah dan Pemerintah Daerah sesuai dengan kewenangannya (UU Energi No. 30 Tahun 2007). Adapun amanat untuk melakukan konservasi energi dibebankan kepada semua pengguna energi pada seluruh tahapan pengelolaan energi. Amanat tersebut tertuang dengan jelas pada pasal 25 ayat 1 bahwa konservasi energi menjadi tanggung jawab semua pihak yaitu pemerintah, pemerintah daerah, pengusaha dan masyarakat.

Penjabaran dari tanggung jawab semua pihak untuk melaksanakan Konservasi Energi tertuang dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2009 (Peraturan Pemerintah RI, 2009). Dalam Peraturan tersebut Pemerintah bertanggung jawab terhadap pelaksanaan konservasi energi secara nasional; pemerintah daerah propinsi serta kabupaten/kota bertanggungjawab terhadap pelaksanaan konservasi energi sesuai dengan kewenangannya di daerah masing-masing; pengusaha bertanggung jawab untuk melaksanakan konservasi energi di setiap tahap pelaksanaan usaha dengan menggunakan teknologi yang efisien energi dan/atau menghasilkan produk dan/atau jasa yang hemat energi; adapun masyarakat bertanggung jawab mendukung dan melaksanakan program konservasi energi. Yang dimaksud dengan konservasi energi sebagaimana didefinisikan pada Peraturan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 5
Pencapaian Di Bidang Konservasi Dan Efisiensi Energi



Sumber: Dirjen EBTKE/KESDM, 2017.

Pemerintah Nomor 70 tahun 2009 tersebut adalah upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. Salah satu parameter untuk menilai efisiensi energi nasional adalah intensitas energi yaitu jumlah konsumsi energi per satuan produk domestik bruto (PDB). Semakin rendah intensitas energi, semakin baik efisiensi energinya.Indonesia memiliki intensitas energi yang lebih tinggi di sektor kimia dan petrokimia, sektor industri tekstil dan kulit dibandingkan dengan sektor industri lainnya (Pappas, dkk., 2018).

Pada dasarnya kewenangan Pemerintah di bidang energi antara lain adalah membuat peraturan perundang-undangan, menetapkan kebijakan nasional, menetapkan dan memberlakukan standard dan prosedur. Kewenangan pemerintah propinsi di bidang energi antara lain adalah membuat peraturan daerah propinsi, membina dan mengawasi pengusahaan di lintas kabupaten/kota, serta menetapkan kebijakan pengelolaan di lintas kabupaten/kota. Adapun kewenangan pemerintah kabupaten/kota sama dengan kewenangan pemerintah provinsi namun terbatas di wilayah kabupaten/kota yang bersangkutan (UU Energi No. 30 Tahun 2007).

Selanjutnya, Presiden telah menetapkan Peraturan Presiden nomor 22/2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Rencana ini terdiri dari rencana aksi dari multi sektor untuk mencapai tujuan Kebijakan Energi Nasional (Peraturan Presiden RI, 2017). RUEN perlu dikembangkan lebih lanjut oleh pemerintah daerah sebagai Rencana Umum Energi Daerah (RUED) yang menjadi andalan terhadap keamanan energi nasional.

Keamanan energi merupakan bidang penelitian yang cukup aktif dalam beberapa tahun terakhir, yang dibahas mulai dari konsep definisi, metodologi dan kerangka kerja untuk menentukan dimensi, pemilihan indikator yang ditentukan dengan teknik tertentu (survei, wawancara, dll), dan pengembangan indeks komposit, serta evaluasi dan penilaian sebagai perbandingan oleh suatu atau sekelompok negara, yang bisa dilihat dari berbagai makalah review (Johansson, 2013; Ang, dkk., 2015; Cherp and Jewell, 2011; Månsson, dkk., 2014; Vivoda, 2010).

Karena ambigu dan memungkinkan beberapa interpretasi, topik keamanan energi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

yang sangat multidisiplin ini disarankan untuk dikategorikan menjadi beberapa perspektif, yaitu: geopolitik, ekonomi, kebijakan, dan teknologi, dengan strategi diversifikasi sangat penting untuk memastikan keamanan energi selama proses pasokan secara keseluruhan (Kiriyama dan Kajikawa, 2014).

Sejauh ini, tidak ada kesepakatan yang jelas dan tegas tentang definisi keamanan energi, namun badan energi internasional (*IEA, International Energy Agency*) mendefinisikan bahwa keamanan energi sebagai ketersediaan sumber energi tanpa henti dengan harga terjangkau (International Energy Agency (IEA), 2018). Sebelumnya, konsep keamanan energi suatu negara adalah untuk mengamankan akses terhadap sumber energi fosil, seperti minyak (Bielecki, 2002).

Untuk menjawab tantangan keamanan energi yang semakin kompleks, meningkatnya kebutuhan energi dengan semakin menipisnya cadangan minyak dunia, dan meningkatnya tekanan pada perubahan iklim global, yang mencakup isu-isu seperti; volatilitas harga, rantai pasokan, stabilitas politik kawasan penghasil minyak, kelestarian lingkungan, energi terbarukan (ET), efisiensi energi (EE), dan sebagainya, berbagai model telah ditawarkan dengan menerapkan metode dan teknik tertentu yang melibatkan berbagai indikator, disederhanakan menjadi indeks komposit.

Diskusi tentang keamanan energi tidak terlepas dari topik model energi. Model adalah alat yang mudah digunakan untuk melakukan simulasi, karena tidak praktis atau terlalu mahal dilakukan di dunia nyata. Model keamanan energi, seperti model lainnya, merupakan representasi sederhana dari sistem nyata. Model bervariasi, mulai dari yang sederhana hingga yang kompleks, atau dari yang paling penting hingga yang kurang penting, tergantung dari jenis dan jumlah indikator yang digunakan.

Dengan kata lain, kompleksitas masalah keamanan energi saat ini tidak dapat diantisipasi lagi dengan indikator sederhana dan umum, sehingga diperlukan indikator yang kompleks, dengan tetap fokus pada prioritas dan objektifitas. Idealnya, merancang keamanan energi suatu bangsa harus disesuaikan dengan konteks spesifik di suatu negara, seperti; kondisi khusus, tingkat perkembangan ekonomi, persepsi risiko, serta kekuatan sistem energi dan isu geopolitik (Chester, 2010).

Peluang untuk perbaikan keamanan energi masih terbuka lebar karena masih ada celah dan kebebasan untuk indikator tertentu (Ang, dkk., 2015). Intinya, bagaimana Indonesia memperbaiki kemampuan internal pada pasokan energi dengan mengurangi ketergantungan dari negara lain. Sebenarnya, analisis ilmiah tentang keamanan energi di Indonesia sudah dipublikasikan pertama kali pada tahun 2006 (Indonesia Institute for Energy Economics (IIEE), 2006).

Untuk mendapatkan prediksi yang akurat, maka model keamanan energi Indonesia perlu dikembangkan dengan baik. Ini merupakan suatu tantangan nyata dan juga kesempatan. Secara umum, model yang ada saat ini hanyalah hasil perhitungan, cenderung sebagai analisis prediktif dengan tanpa memberikan gambaran umum dan solusi terperinci tentang apa yang harus dilakukan. Dari hasil pencarian publikasi ilmiah yang membahas tentang Indonesia, baik regional maupun nasional, tidak ada satupun yang secara khusus memberikan analisis lebih rinci mengenai ET dan EE.

Dengan sistem otonomi daerah, maka peran pemerintah daerah sangatlah penting.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membahas bagaimana memperbaiki konsep model keamanan energi Indonesia dengan teknik yang merinci indikator energi bersih, dengan fokus pada peran pemerintah daerah yang mendukung pengembangan ET dan EE. Untuk mencapai tujuan tersebut, ada empat tahap konsep penting yang harus diselesaikan, sebagai berikut.

Pertama, menjelaskan konsep perincian indikator ES. Intinya, bagaimana mengubah fokus dan orientasi dari energi fosil kepada pengembangan ET dan EE pada sektor tertentu (sektor residensial, komersial, industri dan transportasi), dan daerah tertentu (pedesaan / perkotaan, Jawa / non-Jawa seperti Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, Papua, dll.). Sebagai negara berkembang dan kepulauan, yang terbagi atas beberapa propinsi, dengan banyaknya daerah pedesaan di perbatasan yang belum memiliki akses energi yang baik, maka pengembangan keamanan energi Indonesia perlu dimodelkan secara berbeda (Urban, dkk., 2007).

Kedua, menjelaskan hubungan ES dengan detail indicator. Dalam hal ini mengacu kepada Referensi yang dibuat oleh Sovacool and Mukherjee (2011), indikator ET secara inklusif terdapat dalam dimensi utama, yaitu; ketersediaan (*Av* , *availability*), sedangkan EE dalam dimensi pengembangan dan efisiensi teknologi (*Ef* .*efficiency*), melengkapi keterjangkauan (*Af* , *affordability*), kesinambungan (*Su* , sustainability), dan tata kelola (*Go* , governance).

Ketiga, menjelaskan hubungan antara potensi ET / EE di daerah dengan ES: Dalam pengembangan potensi ET dan ES, agar memberikan dampak dan hasil yang jelas dalam keterbatasan alokasi waktu dan sumber daya yang dimiliki. Dalam hal ini, prinsip fokus dan prioritas bisa diaplikasikan, misalnya dalam jenis ET yang mana dan dimana, begitu juga dengan ES untuk sektor yang mana dan dimana. Prinsip dan fokus tersebut juga dilakukan untuk menjelaskan hubungan EE dan ES.

Keempat, menjelaskan peranan pemerintah daerah dalam ES: Perlu memberikan gambaran, bagaimana seharusnya pemerintah daerah bersikap dan bertindak sesuai dengan payung hukum yang sudah disediakan oleh pemerintah pusat, dalam menunjang ES secara nasional dari konsep ES secara lokal.

PEMBAHASAN

Konsep Perincian Indikator ET dan EE

Menurut konsep asli penelitian ini, umumnya untuk ET dan EE, keduanya dibuat secara lebih rinci dengan notasi berdasarkan; Sektor (perumahan = R, komersial = C, transportasi = T, industri = I), dan daerah (Jawa = J, dari luar Jawa = OJ, meliputi pulau Sumatera (OJS), Kalimantan (OJK), Sulawesi (OJC), Maluku (OJM), Papua (OJP), dll). Kemudian, khusus untuk ET, dapat dibagi menjadi: Surya (S) dan non-Surya (NS), yang dapat dipisahkan untuk Thermal (T) dan Listrik /Electricity (E).

Sebagai contoh, indikator yang menggambarkan ET di sektor industri memiliki notasi IET, atau lebih detail untuk panas matahari *(thermal)* di Pulau Sumatera (luar Jawa) memiliki notasi OJSTIET. Adapun untuk EE dapat dibagi menjadi: *Process* = *P* , *Utility* = *U* , *Office* = *O* . Dengan demikian dapat dicontohkan, upaya EE dalam proses pendinginan (*cooling,* C) di industri yang berada di Pulau Jawa memiliki notasi; JCPIEE. Tabel 1 menunjukkan konsep umum untuk merinci ET dan EE

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1
Konsep Umum Merinci Untuk Semua Sektor

Region / Pulau / Propinsi			**Sektor**			
			Industry	**Commercial**	**Residential**	**Transport**
Jawa	Jawa	Jabar & Banten				
		Jateng				
		Jatim				
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh	**Energi Terbarukan (Renewable Energy)**		**Efisiensi Energi (Energy Efficiency)**	
		Sumut	**Surya** / **Non Surya**		Process / **Utility** / **Office**	
		Sumbr & Riau	Photovoltaic, Solar Thermal, Hydro, Wind, Geothermal, Ocean, Biomass, Others, Cooling, Heating, Machine, Boiler, Compressor, Chiller, Electronics, Cooling, Lighting			
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lampung				
	Bali / NTT	Bali				
		NT				
	Kalimantan	Kalbar				
		Kalut, Kalteng, Kaltim				
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo	**Electricity / Thermal**		**Electricity / Oil / Gas / Coal**	
		Sulsel, Sultra				
	Maluku	Maluku & Maluku Utara				
	Papua	Papua & Papua Barat				
Total 34 propinsi dan 514 kota			Total 24 divisi industri manufaktur			

Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS), 2014; United Nation (UN), 2008.

untuk semua sektor; industri, komersial, perumahan, dan transportasi.

Selain mendukung keamanan energi nasional, pengembangan ET oleh pemerintah daerah dapat meningkatkan rasio elektrifikasi, mengatasi krisis listrik yang banyak terjadi di daerah, pembangunan kawasan dengan pendekatan pusat ekonomi, sehingga dapat meningkatkan pendapatan daerah (Mary and Armawi, 2017). Didorong oleh berbagai kebutuhan seperti untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri, kesadaran akan isu lingkungan dan menciptakan lapangan kerja, banyak pihak telah memulai pengembangan ET untuk memenuhi kebutuhan tersebut (Martono, 2016). Namun, cakupan pembangunan yang lebih luas yang dihambat oleh beberapa

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 2
Konsep Umum Merinci Dari Sektor Ke Energi Terbarukan (*renewable energy*)

Region / Pulau / Propinsi			Sektor								
			Industrial		Commercial		Residential		Transportation		
			Energi Terbarukan								
			Surya		Non Surya						
			Photovoltaic	Solar Thermal	Hydro	Wind	Geothermal	Ocean	Biomass	Other	
Jawa	Jawa	Jabar & Banten	Electricity & Thermal								
		Jateng									
		Jatim									
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh									
		Sumut									
		Sumbr & Riau									
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lampung									
	Bali / NTT	Bali									
		NT									
	Kalimantan	Kalbar									
		Kalut, Kalteng, Kaltim									
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo									
		Sulsel, Sultra									
	Maluku	Maluku & Maluku Utara									
	Papua	Papua & Papua Barat									
Total 34 propinsi dan 514 kota			Total 24 divisi industri manufaktur								

Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS), 2014; United Nation (UN), 2008.

kendala, sepertinya kurang mendapat dukungan pemerintah (Buaran, dkk., 2016).

Konsep perincian indikator yang lebih jelas lagi dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3.

Hubungan Perincian ET Dan ES Terhadap ES

Keamanan energi (ES = *energy security*), untuk semua provinsi dan sektor, dapat dinyatakan secara sederhana dengan:

$$ES = f\left(Av + Ef + Af + Su + Go\right) \quad (1)$$

dimana, Av, Ef, Af, Su, and Go adalah indikator dari *availability* (ketersediaan), *efficiency* (efisiensi), *affordability* (keterjangkauan), *sustainalility* (kesinambungan), dan *governance* (tata kelola). Indikator Av adalah fungsi dari energi fossil (*fossil energy*, FE) dan energi terbarukan (*renewable energy*), yang dinyatakan dengan:

$$Av = f\left(FE + ET\right) \quad (2)$$

Peran FE saat ini yang 92,3% (Mulyana, 2017) seharusnya dikurangi dengan memperbanyak

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 3
Konsep Umum Merinci Dari Sektor Keefisiensi Energi (*energy efficiency*)

			Sektor								
			Industrial			Commercial		Residential		Transportation	
			Energi Efficiency								
			Process			Utility			Office		
Region / Pulau / Propinsi			Cooling	Heating	Machine	Cooling	Boiler	Chiller	Apliances	Cooling	Lighting
Jawa	Jawa	Jabar & Banten	Electricity, Oil, Gas, Coal								
		Jateng									
		Jatim									
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh									
		Sumut									
		Sumbr & Riau									
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lampung									
	Bali / NTT	Bali									
		NT									
	Kalimantan	Kalbar									
		Kalut, Kalteng, Kaltim									
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo									
		Sulsel, Sultra									
	Maluku	Maluku & Maluku Utara									
	Papua	Papua & Papua Barat									
Total 34 propinsi dan 514 kota					Total 24 divisi industri manufaktur						

Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS), 2014; United Nation (UN), 2008.

hasil dari ETdan EE. Sebagai pengguna energi, yang bertanggung jawab untuk ketersediaan dari energi terbarukan, maka ET dapat dinyatakan dengan:

$$ET = f(S + NS)) \quad (3)$$

dimana, S and NS adalah Surya and Non-Surya. Pada tahap ini, S dan NS hanya untuk menyederhanakannya, tanpa mengabaikan peran dari sumber energi terbarukan lainnya, yang tentunya masih dapat dikembangkan secara lebih rinci pada tahap penelitian selanjutnya.

Sedangkan Ef dapat dinyatakan dengan:

$$Ef = f(EE) \quad (4)$$

dimana, EE adalah efisiensi energi, yang dapat dinyatakan untuk di setiap sektor juga dengan:

$$EE = f(\mathrm{P} + U + O) \quad (5)$$

Dalam hal ini, P , U , O adalah; *process, utility, and office*, sebagaimana yang sudah dijelaskan sebelumnya. Mengembangkan efisiensi energi di daerah ini akan memberi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 4
Total Potensi Energi Terbarukan Menurut Wilayah / Provinsi

Region / Propinsi			Total Potensi	
			MW	%
Jawa	Jawa	Jabar & Banten	42.995,8	24,7%
		Jateng		
		Jatim		
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh	5.062,0	1.538,0
		Sumut		
		Sumbar& Riau		
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lamp.		
	Bali / Nusa Teng.	Bali	15.663,8	9,0%
		Nusa Tenggara		
	Kalimantan	Kalbar	23.670,2	13,6%
		Kalut, Kalteng, Kaltim		
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo	22.754,6	13,1%
		Sulut, Sultra		
	Maluku	Maluku &Malut	5.118,6	2,9%
	Papua	Papua & Papua Barat	24.294,6	14,0%
Total			173.731,4	100%
			100%	

Sumber: Hutapea, 2017.

penghematan dalam konsumsi energi, dalam hal ini tentu akan mengurangi *FE* .

Hubungan Pengembangan Potensi ET Dan EE Di Daerah Terhadap ES

Seperti ditunjukkan pada tabel 4, masing-masing daerah memiliki potensi energi terbarukan yang tidak sama, terutama untuk panas bumi, pembangkit listrik tenaga air besar maupun kecil, dan angin. Dari ketiga tipe ET tersebut, potensi ET dari yang terbesar ke yang terkecil terdapat di; Jawa (24,7%), Sumatera (22,6%), Papua (14,0%), Kalimantan (13,6%), Sulawesi (13,1%), Bali (9%), dan Maluku (2,9%). Potensi tenaga air melebihi 50% dimana sekitar 23% di Papua, diikuti oleh potensi angin (33,8%), dan panas bumi (15,7%).

Dari pemetaan potensi energi terbarukan, dengan memperhitungkan bahwa (1). Lebih dari 60% penduduk Indonesia berada di Pulau Jawa (Badan Pusat Statistik (BPS), 2014), (2). Hampir 80% kapasitas listrik terpasang terdapat di Jawa-Bali (Perusahaan Listrik Negara (PLN), 2013), dan (3). Sumber energi fosil seperti batubara yang berasal dari luar Jawa, maka pengembangan energi berbasis energi terbarukan harus lebih dipercepat dan didorong di Jawa.

Perhitungan ini tanpa bermaksud mengenyampingkan pentingnya daerah di luar Jawa. Artinya, setiap pemerintah daerah harus berkompetisi dalam mengembangkan potensi energi terbarukan di daerahnya masing-masing.

Berdasarkan penyajian Direktur Konservasi Energi, pada tanggal 15 September 2017, di *IndoEBTKE ConEx 2017* (Dirjen EBTKE/KESDM, 2017) sebagai terlihat pada tabel 5, ada 244 perusahaan yang diidentifikasi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

wajib menerapkan manajemen energi dan melaporkan konsumsi energinya sebagaimana diatur oleh Pemerintah (Peraturan Pemerintah RI, 2009). Perusahaan-perusahaan tersebut yang mengkonsumsi sekitar 6.000 TOE (*ton of oil equivalent*, setara ton minyak), kebanyakan berasal dari beberapa jenis industri, dengan hanya 1 perusahaan saja yang bergerak di bidang konstruksi.

Sebagaimana yang terlihat pada tabel 6, pemerintah juga menggambarkan distribusi 11 provinsi yang merupakan pengguna energi terbesar, dengan konsumsi sekitar 91% dari konsumsi energi nasional (Dirjen EBTKE/ KESDM, 2017). Mereka menjadi target kampanye pemerintah untuk mengurangi penggunaan energi sebesar 10%. Perlu dicatat, bahwa efisiensi energi yang tinggi terkait dengan faktor produktivitas total yang tinggi pula di sektor manufaktur, seperti; tekstil, pakaian, makanan, kayu dan furnitur, agroindustri, dan bahan kimia (Cantore,dkk., 2016).

Penjelasan lebih rinci tentang potensi mikro hydro, panas bumi, dan energi angina di berbagai wilayah atau provinsi di Indonesia dapat dilihat pada tabel 7, tabel 8, dan tabel 9.

Melalui program Konservasi Energi, Kementerian ESDM menerapkan beberapa program tambahan dengan merangkai Standar dan membubuhi Label (S/L) Solusi Energi dan label Standar Kinerja Energi Minimum (MEPS) untuk peralatanlampu CFL, AC, Kulkas, Kipas Angin, Penanak Nasi, Motor Listrik dan Ballast Elektronik, serta menyusun kode bangunan (ESDM, 2016).

Agar memiliki skala besar dan dampak yang langgeng, kebijakan EE harus melibatkan semua sektor, dengan lebih fokus pada sektor swasta (Geller, dkk,. 2006). Contohnya, beralih dari industri padat energi

Tabel 5
Identified Companies For Energy Management

No.	Manufacture Industry Division	Companies
1	Textile industry	40
2	Iron & steel industry	34
3	Manufacturing industry	30
4	Pulp & paper industry	20
5	Power plant industry	20
6	Agro industry	13
7	Chemical industry	11
8	Petrochemical industry	11
9	Food industry	11
10	Beverage industry	4
11	Fertilizer industry	8
12	Cement industry	8
13	Motor vehicle industry	8
14	Coal & minerals mining industry	8
15	Oil & gas industry	10
16	Other industries (cigarettes, etc.)	7
17	Construction building industry	1
	Total perusahaan	**244**

Sumber: Finahari, 2017.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 6
Propinsi Yang Ditargetkan Untuk 10% Energy Consumption Cutting

No.	Propinsi	Konsumsi dalam GWh/Year	
		2014	2015
1	Banten	51.277	51.257
2	Jawa Barat		
3	DKI Jakarta & Tangerang	41.269	41.328
4	Jawa Timur	30.523	30.824
5	Jawa Tengah	19.631	22.892
6	Sumatera Utara	8.271	8.703
7	Sumatera Selatan	6.199	6.606
8	Sulawesi Selatan	5.247	5.441
9	Bali	4.335	4.594
10	Riau	3.971	4.241
11	Lampung	3.392	3.570
	Total	**174.115**	**179.456**

Sumber: Finahari, 2017.

Tabel 7
Potensi Mikro Hydro Menurut Wilayah / Provinsi

Region / Propinsi			(MW)	
			Besar	Mini/Mikro
Jawa	Jawa	Jabar & Banten	2.861,0	0,7
		Jateng	0,8	1.049,0
		Jatim	0,5	1.142,0
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh	5.062,0	1.538,0
		Sumut	3.808,0	1.204,0
		Sumbar& Riau	3.607,0	1.637,0
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lamp.	3.102,0	1.355,0
	Bali / Nusa Teng.	Bali Nusa Tenggara	0,6	0,1
	Kalimantan	Kalbar	4.737,0	0,1
		Kalut, Kalteng, Kaltim	16.844,0	8,0
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo	3.967,0	0,6
		Sulut, Sultra	6.340,0	1.070,0
	Maluku	Maluku &Malut	0,4	0,2
	Papua	Papua & Papua Barat	22.371,0	0,6
	Total		98.634,1	0.005,4
			45,5%	5,2%

Sumber: Hutapea, 2017.

(pertambangan, logam dasar, bahan kimia, petrokimia, dll) ke manufaktur, layanan intensif, dan sebagainya. Langkah selanjutnya adalah proses pembandingan EE, terutama ke provinsi lain atau negara maju. seperti Jepang, Jerman, dll (Honma dan Hu, 2014).

Konsumsi energi terbarukan memiliki dampak positif yang signifikan terhadap

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 8
Potensi Panas Bumi Menurut Wilayah / Provinsi

	Region / Propinsi		MWe
Jawa	Jawa	Jabar & Banten	9.017,0
		Jateng	
		Jatim	
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh	11.772,0
		Sumut	
		Sumbar& Riau	
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lamp.	
	Bali / Nusa Teng.	Bali	354,0
		Nusa Tenggara	1.497,0
	Kalimantan	Kalbar	182,0
		Kalut, Kalteng, Kaltim	
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo	2.997,0
		Sulut, Sultra	
	Maluku	Maluku &Malut	1.426,0
	Papua	Papua & Papua Barat	75,0
	Total		27.320,0
			15,7%

Sumber: Hutapea, 2017.

Tabel 9
Potensi Energi Angin Menurut Wilayah / Provinsi

	Region / Propinsi		MW
Jawa	Jawa	Jabar & Banten	8.793
		Jateng	6292
		Jatim	7907
Outside Jawa (Luar Jawa)	Sumatera	Aceh	0,894
		Sumut	0,356
		Sumbar& Riau	1372
		Sumsel, Jambi, Bengkulu, Lamp.	4.775
	Bali / Nusa Teng.	Bali	13.812
		Nusa Tenggara	
	Kalimantan	Kalbar	0,554
		Kalut, Kalteng, Kaltim	1.899
	Sulawesi	Sulut, Sulteng, Gorontalo	2.259
		Sulut, Sultra	6.121
	Maluku	Maluku &Malut	3.692
	Papua	Papua & Papua Barat	1.848
	Total		58.771,9
			33,8%

Sumber: (Hutapea, 2017)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pertumbuhan ekonomi dalam jangka panjang, yang mencerminkan penerapan terkait dengan penciptaan lapangan kerja jangka panjang (Bhattacharya, dkk., 2016), dan juga arus masuk positif investasi asing langsung (FDI, *foreign direct investment*) (Reddy, dkk., 2016). Penciptaan lapangan kerja dan masuknya investasi juga terjadi di upaya peningatan EE.

Sebagai referensi, dari program efisiensi energi di negara bagian California, diprediksi lebih dari 400 ribu pekerjaan langsung dan tidak langsung dapat diciptakan pada tahun 2020 (Roland-Holst, 2008). Dalam hal pengembangan efisiensi energi, sebaiknya juga dipercepat dan didorong di Jawa karena energi nasional banyak dikonsumsi di Pulau Jawa (Yandri, dkk., 2017). Akhirnya, dengan memprioritaskan pengembangan energi terbarukan dan efisiensi energi diharapkan kemandirian dan keamanan energi lokal maupun nasional akan tercapai.

Peranan Pemerintah Daerah untuk ET dan EE

Upaya pemanfaatan energi terbarukan dan efisiensi energi telah diamanatkan dalam Undang-Undang (UU Energi No. 30 Tahun 2007). Selanjutnya, pemerintah daerah sebaiknya menyesuaikan kebijakannya pemerintah yang disesuaikan dengan profil regionalnya. Pemerintah daerah memiliki tanggung jawab untuk mengembangkan program energi yang dapat ditindaklanjuti ke dalam pelaksanaannya (Rijanto, 2011). Namun, sebagai akibat dari sistem pemerintahan otonom, banyak pemerintah daerah belum mengambil langkah maju untuk mendukung kebijakan nasional dan bekerja secara independen. Dapat dikatakan bahwa langkah untuk menunjang konsep ketahanan energi nasional dengan mengembangkan energi alternatif ini masih belum ada.

Konsep model keamanan energi melalui perincian indikator energi terbarukan dan energi efisiensi menawarkan atas masalah yang dihadapi oleh Pemerintah Daerah dalam menerapkan pengembangan energi terbarukan, sebagaimana diamanatkan oleh Undang-Undang No. 30 tahun 2007 tentang Energi dan semua peraturan derivatifnya. Indikator detail secara otomatis memberikan indikator kinerja energi utama (KEPI, *key energy performance indicator*) dengan memanfaatkan indikator notasi yang lebih rinci untuk ET dan EE, serta indikator penyusun lainnya.

Pengertian KPI secara umum antara lain; ukuran perilaku sistem dalam hal atribut yang bermakna dan jelas; ukuran yang merangkum informasi yang relevan dengan fenomena tertentu, atau ke perwakilan yang wajar untuk mengukur; parameter, atau nilai yang berasal dari parameter, yang menunjuk / menyediakan informasi tentang / menjelaskan fenomena / lingkungan / area dengan signifikansi yang melampaui batas yang secara langsung terkait dengan parameter (properti yang diukur atau diamati) nilai; dan; variabel yang menggambarkan sistem, di mana variabel adalah representasi operasional dari suatu atribut (kualitas, karakteristik, properti) dari sistem dan ini mewakili citra kita tentang atribut yang didefinisikan dalam hal pengukuran spesifik atau prosedur observasi (Perotto, dkk., 2008).

Di sini, peranan perencanaan strategis untuk energi sangatlah penting. Untuk memulai dengan mempertimbangkan bagaimana informasi tersebut sistem akan mendukung tujuan utama dalam rencana manajemen energi. Jika tujuan ini adalah ekspresi terbaik dari apa yang diharapkan organisasi untuk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 6
Contoh Konsep Sistem *Dashboard* Untuk Kemudahan Pemantauan Dan Tindak Lanjut



Sumber: Yandri, dkk., 2017.

dicapai dalam mengelola energinya, maka langkah pertama adalah mengubah sasaran tersebut menjadi indikator kinerja utama (KPI) yang dapat diukur dan dilacak.

Dalam hal ini, kita akan mengetahui secara lebih rinci kontribusi ET atau EE di masing-masing sektor, atau di suatu wilayah atau pulau terhadap indikator dari PDB. Jadi bisa lebih jelas melihat peta jalan ET dan EE, serta isu dan tindakan yang akan diambil.

Model keamanan energi yang terperinci ini dapat disederhanakan ke dalam indeks komposit, yang bisa ditampilkan di *dashboard* agar mudah dipahami, dilacak dan ditindak-lanjuti. Dengan berkembangnya teknologi komunikasi saat ini, tentu akan semakin mudah diakses dari komputer dan telepon genggam oleh pemangku kepentingan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.

Secara umum, konsep ini dapat menganalisis keamanan energi dengan kondisi energi yang kompleks secara lokal /nasional, dengan memusatkan perhatian pada kontribusi ET dan EE untuk semua sektor. Untuk itu, pemerintah daerah perlu melakukan beberapa hal berikut.

Pertama, memanfaatkan indikator notasi rinci ET dan EE sebagai indikator kinerja energi utama (KEPI), untuk mengidentifikasi masalah yang lebih jelas terkait dengan keamanan energi, di mana dan tindakan apa yang akan diambil segera. Indikator notasi rinci harus dilakukan dengan benar.

Kedua, melacak kinerja keamanan energi tentang bagaimana memantau, mengendalikan, dan mengelola masalah energi. Ini bisa memberi gambaran kemajuan keamanan energi lokal /nasional dari waktu ke waktu, selama implementasi dapat melakukan tindakan korektif, inovasi, dan akselerasi.

Ketiga, mengembangkan kebijakan ET dan EE yang komprehensif untuk perencanaan jangka panjang keamanan energi lokal/ nasional, karena aktifitas kebijakan energi telah didefinisikan secara jelas dalam model menjadi indikator untuk dinilai dengan mudah dan cepat. Pemerintah daerah diharapkan lebih selektif dan berhati-hati dalam mengeluarkan kebijakan sektoral (perumahan, industri, komersial, dan transportasi).

Keempat, menguji dan membuktikan beberapa gagasan atau saran sebelum kebijakan diambil dengan menggunakan simulasi model keamanan energi. Meningkatkan keamanan energi nasional ke depan, Indonesia harus mempertimbangkan untuk memperketat subsidi energi daripada hanya untuk meningkatkan produksi energy (Prambudia and Nakano, 2012).

Berdasarkan apa yang telah dibahas, untuk menjamin keamanan energi, Indonesia harus lebih serius dan fokus pada pengembangan energi terbarukan dan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

efisiensi energi. Konsep merinci ET dan EE, untuk memperbaiki model keamanan energi saat ini, sejalan dengan upaya untuk memperkuat keamanan energi. Peranan pemerintah daerah sangat penting untuk mengejar perkembangan ET dan EE dalam mencapai tujuan tersebut, sebagai kontribusi pemerintah daerah dalam menerapkan UU Energi. Artinya, pemerintah daerah harus mempertimbangkan keamanan energi lokal / regional. Dalam menyusun rencana strategis dan rencana kerja, setiap pemerintah daerah, provinsi maupun kabupaten/kota, harus mengacu kepada RUEN. Dengan kata lain, penyusunan rencana umum energi lokal / regional (RUED) mengacu pada semua yang telah digariskan dalam Peraturan Presiden.

Dengan indikator energi terbarukan dan efisiensi energi yang lebih terperinci, maka dapat membantu pemerintah daerah dalam mengevaluasi kinerja masing-masing sektor dalam mencapai target energi nasional yang telah ditetapkan.Konsep ini bisa dikembangkan lebih lanjut, baik secara teknis pengembangan / perincian indikator ET dan EE yang lebih spesifik untuk suatu daerah, maupun teknis pemodelan yang disesuaikan dengan kemudahan aplikasi kemajuan teknologi informasi saat ini.

Selanjutnya, tugas pemerintah pusat untuk membuat suatu aturan main dalam memberikan apresiasi terhadap pencapaian atau kontribusi ES dari masing-masing pemerintah daerah tersebut, agar timbul suatu dinamika kompetisi yang sehat dari masing-masing pemerintah daerah.

SIMPULAN

Berdasarkan pemaparan di atas, maka dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut.

Pertama, pengembangan ET dan EE merupakan suatu keniscayaan karena telah diamanatkan oleh Undang-Undang.

Kedua, konsep perincian indikator ES dengan indikator utama; *availability* (ketersediaan), *efficiency* (efisiensi), *affordability* (keterjangkauan), *sustainalility* (kesinambungan), dan *governance,* perlu melibatkan potensi di semua sektor, yaitu residensial, komersial, industrial, dan transportasi, yang juga mencakup perincian di semua jenis ET (surya dan non surya) dan EE di semua sektor.

Ketiga, kontribusi ET dan EE terhadap ES dapat dilihat dari hubungan empiris terhadap 5 kategori indikator utama tsb.

Keempat, untuk mendapatkan hasil yang jelas dan terukur, maka pengembangan potensi ET dan EE harus dengan prinsip fokus dan prioritas, agar potensi ET dan EE di daerah bisa terwujud secara optimal dan terukur.

Kelima, dengan perincian indikator ES, maka akan mempermudah pemerintah daerah dalam berkontribusi terhadap ES secara nasional melalui pengembangan ET dan EE di daerahnya masing-masing.

DAFTAR PUSTAKA

Ang, B.W., Choong, W.L. and Ng, T.S., 2015. Energy security: Definitions, dimensions and indexes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [online] 42, pp.1077–1093. Available at: <*http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032114008892*>.

Badan Pusat Statistik (BPS), 2014. Statistical Yearbook of Indonesia. [online] Jakarta. Available at: <*http://www.bps.go.id*>.

Bhattacharya, M., Paramati, S.R., Ozturk, I. and Bhattacharya, S., 2016. The effect of renewable energy consumption on

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

economic growth : Evidence from top 38 countries. APPLIED ENERGY, [online] 162(November 2015), pp.733–741. Available at: <http://*dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.104*>.

Bielecki, J., 2002. Energy security: Is the wolf at the door? *Quarterly Review of Economics and Finance*, 42(2), pp.235–250.

British Petroleum (BP), 2017. BP Statistical Review of World Energy 2017. [online] Available at: <*http://www.bp.com*>.

Buaran, B., Armawi, A. and Martono, E., 2016. Peran Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dalam Mewujudkan Ketahanan Nasional. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 22(3, 27 Desember 2016), pp.241–154.

Cantore, N., Calì, M. and Willem, D., 2016. Does energy ef fi ciency improve technological change and economic growth in developing countries ? Energy Policy, [online] 92, pp.279–285. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.040*>.

Cherp, A. and Jewell, J., 2011. The three perspectives on energy security: Intellectual history, disciplinary roots and the potential for integration. Current Opinion in Environmental Sustainability, [online] 3(4), pp.202–212. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2011.07.001*>.

Chester, L., 2010. Conceptualising energy security and making explicit its polysemic nature.

Energy Policy, [online] 38(2), pp.887–895. Available at: <http://*dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.039*>.

Dirjen EBTKE/KESDM, 2017. *Kebijakan dan program konservasi energi*.

ESDM, K., 2016. Program Strategis EBTKE dan Ketenagalistrikan. [online] Journal Energi, Available at: <*www.esdm.go.id*>.

Finahari, I.N., 2017. *Program Konservasi Energi*. Jakarta.

Geller, H., Harrington, P. and Rosenfeld, A.H., 2006. *Polices for increasing energy efficiency : Thirty years of experience in OECD countries*. 34, pp.556–573.

Gunningham, N., 2013. Managing the energy trilemma: The case of Indonesia. Energy

Policy, [online] 54, pp.184–193. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.018*>.

Harris, 2018. *Pengelolaan Energi Baru Dan Energi Terbarukan Di Indonesia*.

Honma, S. and Hu, J.L., 2014. Industry-level total-factor energy efficiency in developed countries: A Japan-centered analysis. Applied Energy, [online] 119, pp.67–78. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.049*>.

Hutapea, M., 2017. Policy, Target, and Breakthrough in Wind to Support National Energy

Policy and Paris Agreement. [online] Available at: <*http://www.indoebtkeconex.com/downloadmaterials/#1505419087689-c65b669d-201d*>.

Indonesia Institute for Energy Economics (IIEE), 2006. Surviving Energy Challenges.

Indonesia Energy Economic Review, [online] 1. Available at: <*http://iiee.or.id/journal-ieer/*>.

International Energy Agency (IEA), 2018. Energy security. [online] Available at: <http://www.iea.org/topics/energysecurity/

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

subtopics/whatisenergysecurity/> [Accessed 22 Apr. 2018].

Johansson, B., 2013. A broadened typology on energy and security. *Energy,* [online] 53, pp.199–205. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.012*>.

Kiriyama, E. and Kajikawa, Y., 2014. A multilayered analysis of energy security research and the energy supply process. *A*pplied Energy, [online] 123, pp.415–423. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.01.026*>.

Månsson, A., Johansson, B. and Nilsson, L.J., 2014. Assessing energy security: An overview of commonly used methodologies. *Energy*, 73, pp.1–14.

Martono, E. and Prasetya, A., 2016. Peran Pemuda dalam Pengembangan Eduwisata Energi Terbarukan dan Implikasinya terhadap Pengembangan Ekonomi *Jurnal Ketahanan Nasional*, 22(3, 27 Desember 2016), pp.285–305.

Mary, R.T., Armawi, A. and Hadna, A.H., 2017. Panas Bumi Sebagai Harta Karun Untuk Menuju Ketahanan Energi Ketergantungan Indonesia terhadap energi terhadap fluktuasi ketersediaan dan harga. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 23(2, Agustus 2017), pp.93–113.

Mujiyanto, S. and Tiess, G., 2013. Secure energy supply in 2025: Indonesia's need for an energy policy strategy. Energy Policy, [online] 61(5), pp.31–41. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.119*>.

Mulyana, R., 2017. Pengembangan EBTKE. [online] Jakarta. Available at: <h*ttp://www.indoebtkeconex.com/downloadmaterials/#1494643000700-49414ff0-a95f*>.

Pappas, D., Chalvatzis, K.J., Guan, D. and Ioannidis, A., 2018. Energy and carbon intensity: A study on the cross-country industrial shift from China to India and SE Asia. Applied Energy, [online] 225(April), pp.183–194. Available at: <*https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.132*>.

Perotto, E., Canziani, R., Marchesi, R. and Butelli, P., 2008. Environmental performance, indicators and measurement uncertainty in EMS context: a case study. *Journal of Cleaner Production*, 16(4), pp.517–530.

Perusahaan Listrik Negara (PLN), 2013. Statistik PLN. [online] Available at: <http://www.pln.co.id>.

Pusdatin ESDM, 2014. Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2014. [online] Available at: <*http://www.esdm.go.id*>.

Reddy, S., Ummalla, M. and Apergis, N., 2016. The effect of foreign direct investment and stock market growth on clean energy use across a panel of emerging market economies. Energy Economics, [online] 56, pp.29–41. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2016.02.008*>.

Rijanto, M.W. and Armawi, A., 2011. Peran pemda dan masyarakat dalam pengembangan energi alternatif.pdf. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 35–48(XV1 (3)).

Roland-holst, D., 2008. Energy Efficiency , Innovation , and Job Creation in California. [online] Berkeley. Available at: <*https://escholarship.org/content/qt7qz3b977/qt7qz3b977.pdf*>.

Sovacool, B.K. and Mukherjee, I., 2011. Conceptualizing and measuring energy

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

security: A synthesized approach. Energy, [online] 36(8), pp.5343–5355. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.043*>.

United Nation (UN), 2008. *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC), Rev.4*.

Urban, F., Benders, R.M.J. and Moll, H.C., 2007. Modelling energy systems for developing countries. *Energy Policy*, 35(6), pp.3473–3482.

Vivoda, V., 2010. Evaluating energy security in the Asia-Pacific region: A novel methodological approach. Energy Policy, [online] 38(9), pp.5258–5263. Available at: <*http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.028*>.

World Energy Council, 2017. World Energy Trilemma Index. [online] p.145. Available at: <*https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/11/Energy-Trilemma-Index-2017-Report.pdf*>.

Yandri, E., Ariati, R. and Ibrahim, R., 2017. Improving Energy Security Model through Detailing Renewable and Energy Efficiency Indicators : A Concept for Manufacture Industry. In: *SIGER 2017*. [online] Universitas Lampung, p.9. Available at: <*http://siger.unila.ac.id/publications/*>.

Peraturan Perundangan

Undang-Undang RI Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi

Peraturan Presiden RI Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional

Peraturan Pemerintah RI Nomor 70 Tahun 2009 Tentang Konservasi Energi..

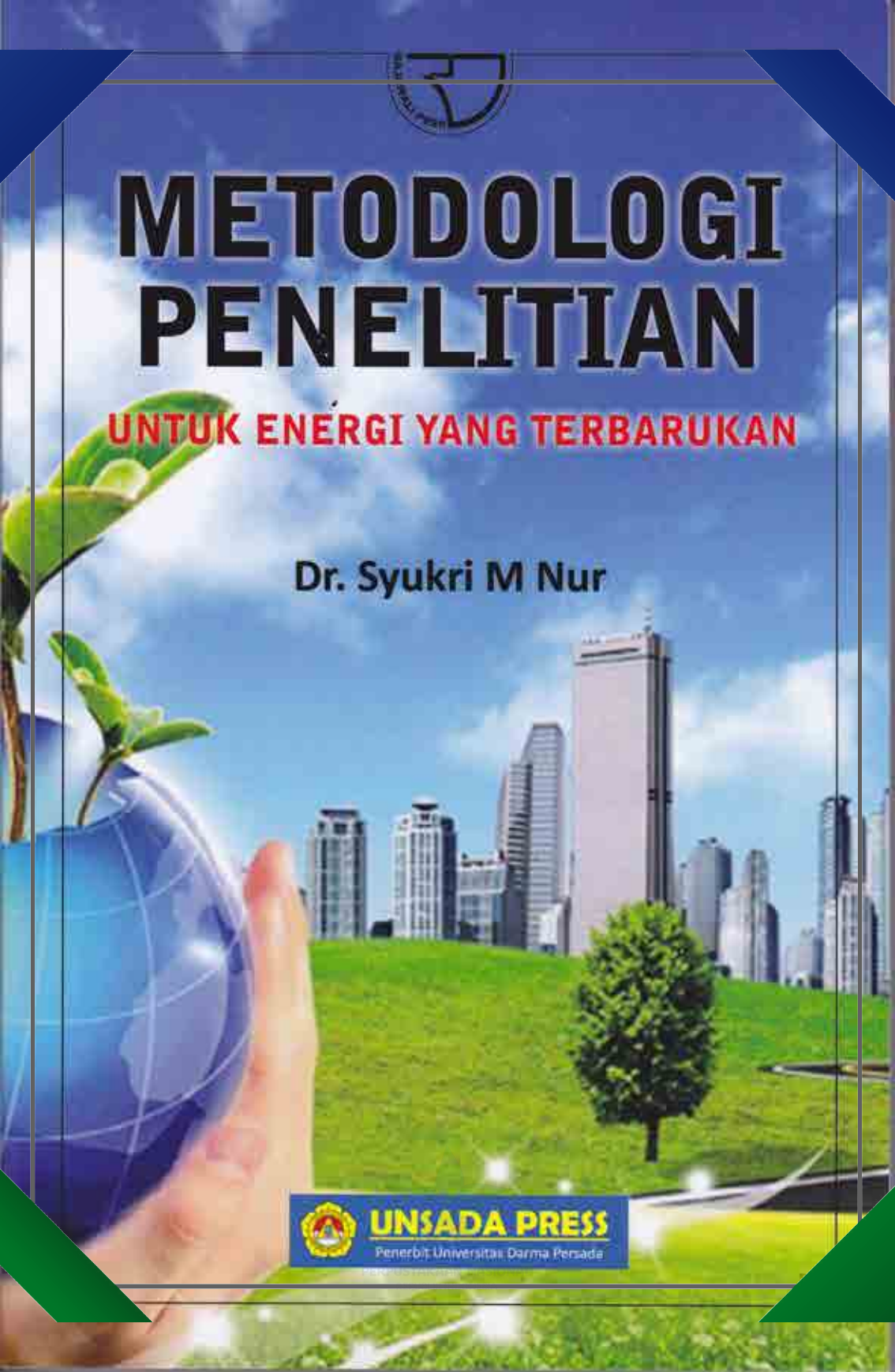
Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

METODOLOGI PENELITIAN

UNTUK ENERGI YANG TERBARUKAN

Dr. Syukri M Nur



UNSADA PRESS
Penerbit Universitas Darma Persada

Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Syukri M Nur

Metodologi Penelitian Untuk Energi Terbarukan/Syukri M Nur
— Ed. 1—Cet. 1.—Depok: Rajawali Pers, 2018.

xviii, 218 hlm. 23 cm
Bibliografi: Setiap bab
ISBN 978-602-425-670-8

1. Metodologi

Hak cipta 2018, pada Penulis

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apa pun, termasuk dengan cara penggunaan mesin fotokopi, tanpa izin sah dari penerbit

2018. RAJ
Dr. Syukri M Nur
METODOLOGI PENELITIAN UNTUK ENERGI TERBARUKAN

Cetakan ke-1, Oktober 2018

Hak penerbitan pada PT RajaGrafindo Persada, Depok

Desain cover octiviena@gmail.com

Dicetak di Rajawali Printing

PT RAJAGRAFINDO PERSADA

Anggota IKAPI

Kantor Pusat:
Jl. Raya Leuwinanggung, No.112, Kel. Leuwinanggung, Kec. Tapos, Kota Depok 16956
Tel/Fax : (021) 84311162 – (021) 84311163
E-mail : rajapers@rajagrafindo.co.id http: // www.rajagrafindo.co.id

Perwakilan:

Jakarta-16956 Jl. Raya Leuwinanggung No. 112, Kel. Leuwinanggung, Kec. Tapos, Depok, Telp. (021) 84311162. **Bandung**-40243, Jl. H. Kurdi Timur No. 8 Komplek Kurdi, Telp. 022-5206202. **Yogyakarta**-Perum. Pondok Soragan Indah Blok A1, Jl. Soragan, Ngestiharjo, Kasihan, Bantul, Telp. 0274-625093. **Surabaya**-601 18, Jl. Rungkut Harapan Blok A No. 09, Telp. 031-8700819. **Palembang**-30137, Jl. Macan Kumbang III No. 10/4459 RT 78 Kel. Demang Lebar Daun, Telp. 0711-445062. **Pekanbaru**-28294, Perum De' Diandra Land Blok C 1 No. 1, Jl. Kartama Marpoyan Damai, Telp. 0761-65807. **Medan**-20144, Jl. Eka Rasmi Gg. Eka Rossa No. 3A Blok A Komplek Johor Residence Kec. Medan Johor, Telp. 061-7871546. **Makassar**-90221, Jl. Sultan Alauddin Komp. Bumi Permata Hijau Bumi 14 Blok A14 No. 3, Telp. 0411-861618. **Banjarmasin**-701 14, Jl. Bali No. 31 Rt 05, Telp. 0511-3352060. **Bali**, Jl. Imam Bonjol Gg 100/V No. 2, Denpasar Telp. (0361) 8607995. **Bandar Lampung**-35115, Jl. P. Kemerdekaan No. 94 LK I RT 005 Kel. Tanjung Raya Kec. Tanjung Karang Timur, Hp. 082181950029.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

METODOLOGI PENELITIAN

UNTUK ENERGI YANG TERBARUKAN

Buku ini akan fokus pada upaya penjelasan tentang metodologi penelitian untuk energi terbarukan yang bersumber dari sinar surya, angin, panas bumi, air, biomassa dan kelautan. Melalui penelitian dan pengembangan semua subsistem yang terkait maka pilihan dan ketersediaan pasokan energi alternatif dapat tercapai.

Karena materi buku ini merupakan bagian buku ajar Metodologi Penelitian, maka alih pengetahuan dan keterampilan dari pengajar ke mahasiswa akan dilakukan dengan dua cara, yaitu:

Pertama, melalui tatap muka di perkuliahan dengan materi teori dan diskusi.

Kedua, melalui penyampaian materi praktikum dan bimbingan teknis kepada mahasiswa.

Kedua cara ini diharapkan mampu mewujudkan kemampuan mahasiswa untuk menulis proposal penelitiannya, dan juga kelak mampu melakukan penelitian dan menuliskannya dalam bentuk tesis dan artikel ilmiah yang siap dipublikasikan melalui penerbit terakreditasi oleh Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia.

RajaGrafindo Persada
PT RAJAGRAFINDO PERSADA
Jl. Raya Leuwinanggung No. 112
Kel. Leuwinanggung, Kec. Tapos, Kota Depok 16956
Telp 021-84311162 Fax 021-84311163
Email: rajapers@rajagrafindo.co.id
www.rajagrafindo.co.id

UNIVERSITAS DARMA PERSADA
TRILINGUAL • MONOZUKURI • ENERGI TERBARUKAN
"Nalar Arif Baktiku Bangsa"
Jl. Taman Malaka Selatan
Pondok Kelapa, Jakarta Timur 13450
T: 021-8649057/59
F 021-8649052
UNSADA Univ Darma Persada
UnsadaOfficial
unsada.official
Universitas Darma Persada
www.unsada.ac.id

RAJAWALI PERS
DIVISI BUKU PERGURUAN TINGGI
9 786024 256708

Volume 11, No. 1, 2018

ISSN: 1907-9931 (print), 2476-9991 (online)

Mikroalga: Sumber Energi Terbarukan Masa Depan

MICROALGAE: FUTURE RENEWABLE ENERGY SOURCES

Sarman Oktovianus Gultom

Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Papua
Jl. Gunung Salju Amban, Manokwari, 98314, Indonesia

Corresponding author e-mail: sarmangultom82@gmail.com

Submitted: 24 Maret 2018 / Revised: 02 November 2018 / Accepted: 02 November 2018

http://doi.org/10.21107/jk.v11i1.3802

ABSTRACT

The discovery of renewable fuel sources is critical to address the problem of limited fossil fuel energy in meeting the increasing energy demand. In addition, the use of renewable fuels is expected to reduce environmental pollution that has been sourced from CO_2 emissions of fossil fuel combustion. One of the future renewable alternative fuel sources is the microalgae. Development of microalgae as a renewable energy source continues to be done because it has advantages over other energy sources, such as high biomass production rates, not competing with foodstuffs, and does not require extensive land for growth. This Thechnilcal review is directed to provide information on the development and utilization of microalgae as a renewable alternative energy source, including harvesting technologies and microalgae convertion into fuel.

Keywords: *microalgae, biodiesel, cultivation, energy*

ABSTRAK

Penemuan sumber bahan bakar terbarukan sangat penting untuk menjawab permasalahan keterbatasan energi bahan bakar berbasis fosil dalam memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat. Selain itu, penggunaan bahan bakar terbarukan diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang selama ini bersumber dari emisi gas CO_2 hasil pembakaran bahan bakar fosil. Salah satu sumber bahan bakar alternatif terbarukan masa depan adalah mikroalga. Pengembangan mikroalga sebagai sumber energi terbarukan terus dilakukan karena memiliki keuntungan dibandingkan sumber energi lainnya, seperti laju produksi biomassa yang tinggi, tidak berkompetisi dengan bahan pangan, serta tidak membutuhkan lahan yang luas untuk pertumbuhannya. Technical review ini diarahkan untuk memberikan informasi tentang pengembangan dan pemanfaatan mikroalga sebagai sumber energi akternatif terbarukan, termasuk teknologi panen dan korvesi mikroalga menjadi bahan bakar.

Kata kunci: *mikroalga, biodiesel, kultivasi, energi*

PENDAHULUAN

Pengembangan sumber bahan bakar alternatif yang terbarukan terus dilakukan guna menjawab tantangan besar yang sementara dan akan dihadapi umat manusia di muka bumi, yaitu ketersediaan energi bahan bakar. Kebutuhan energi bahan bakar terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya kebutuhan dan ekonomi masyarakat. Hingga saat ini, pemenuhan energi bahan bakar dunia, dan secara khusus di Indonesia masih bergantung sepenuhnya pada bahan bakar yang berasal dari minyak bumi yang tidak terbarukan (*petrolium-based oil*), yang mana di masa yang akan datang ketersediaannya semakin berkurang dan akhirnya akan habis. Oleh sebab itu, pengembangan sumber energi bahan bakar terbarukan sangat penting dilakukan guna mempertahankan ketersediaan bahan bakar secara kontinyu.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Beberapa tahun terakhir telah banyak dilakukan penelitian untuk mendapatkan sumber energi bahan bakar terbarukan pengganti bahan bakar yang berasal dari minyak bumi, Salah satunya adalah pengembangan mikroalga. Banyak hasil penelitian yang menunjukkan bahwa mikroalga memiliki potensi yang besar sebagai sumber bahan bakar terbarukan karena memiliki kandungan minyak yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar biodiesel. Selain kandungan minyak yang dimiliki, mikroalga juga dikenal sebagai tumbuhan akuatik yang memiliki keunggulan dibandingkan sumber bahan bakar lainnya, antara lain: tidak membutuhkan lahan yang luar, mampu menghasilkan biomassa dengan sangat cepat, serta mampu memanfaatkan CO_2 dalam pertumbuhannya sehingga mengurangi pencemaran udara.

Di Indonesia, pengembangan mikroalga sebagai sumber bahan bakar terbarukan juga terus dilakukan diantaranya dengan dilakukannya identifikasi jenis-jenis mikroalga yang tumbuh pada daerah-daerah tropis di Indonesia. Berdasarkan beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dilaporan bahwa terdapat beberapa tempat di Indonesia yang memiliki jenis mikroalga yang kandungan minyaknya cukup tinggi sebagai sumber bahan bakar terbarukan.

Potensi dan tantangan pengembangan mikroalga sebagai sumber bahan bakar terbarukan akan dibahas pada telaah ilmiah ini. Ruang lingkup telaah ilmiah ini antara lain kultivasi dan kondisi tumbuh mikroalga, teknik pemanenan mikroalga, teknologi konversi mikroalga menjadi bahan bakar terbarukan, serta propek dan masalah dalam pengembangan mikroalga sebagai bahan bakar terbarukan.

Mikroalga: kultivasi dan kondisi tumbuh

Produksi biomassa pada mikroalga menjadi alasan utama dilakukannya kultivasi mikroalga (Hung *et al.,* 2010). Pada tahun 1960 Oswald dan Golueke untuk pertama kalinya memanfaatkan kultur mikroalga untuk menjadi bahan bakar minyak terbarukan. Penelitian yang dilakukan mencakup sistem pada kultur mikroalga dengan sekala besar, tehnik pemanenan mikroalga, pengendapan lumpur mikroalga degan cara anaerobik serta pemanfaatan mikroalga untuk menghasilkan biogas (Report, 2002; Benemann, 2003; Benemann, Van Olst *et al.,* 2006). Selanjutnya Kultivasi mikroalga dilaporkan secara detail oleh Benemann (1978), baik dari sisi desain maupun analisis keteknikannya.

Secara umum pertumbuhan mikroalga terjadi pada tiga kondisi yang berbeda, yaitu kondisi fototropik (*phototrophic conditions*). kondisi heterotropik (*heterotrophic conditions*) dan kondisi mixotropik (*mixotrophic conditions*). Pada kondisi tumbuh secara fototropik mikroalga sangat bergantung cahaya matahari sebagai sumber energi dan CO_2 sebagai sumber karbon. Kondisi ini sering disebut juga autotropik fotosintesis (*autotrophic photosynthesis)*. Pada kondisi heterotropik pertumbuhan mikroalga membutuhkan substrat karbon organik sebagai sumber energi. Beberapa sumber substrat karbon organik yang umum digunakan antara lain: glukosa, asetat dan gliserol. Berdasarkan beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dilaporkan bahwa produksi biomassa serta kandungan lipid pada mikroalga yang tumbuh dengan kondisi heterotropik lebih tinggi dari yang tumbuh pada kondisi fototropik (Miao and Wu 2006; Mosojídek *et al.,* 2008). Pada kondisi ini juga densitas sel mikroalga yang dicapai lebih tinggi dari kondisi fototropik sehingga biaya yang dibutuhkan untuk pemanenan lebih rendah. Beberapa jenis mikroalga juga mampu tumbuh pada kondisi mixotropik yang merupakan perpaduan atara fototropik dan heterotropik. Jenis mikroalga tersebut dapat mengasimilasi cahaya matahari dan karbon organik sebagai sumber energinya baik secara bersamaan maupun secara bergantian.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kultivasi mikroalga

Keberhasilan dalam melakukan kultivasi mikroalga sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor penting. Hal tersebut perlu diperhatikan karena mikroalga yang berbeda membutuhkan syarat tumbuh yang berbeda.

Jenis mikroalga

Secara natural mikroalga memiliki jenis yang spesifik (*strain*) yang membedakannya dengan mikroalga yang lain. Jenis mikroalga tertentu mampu bertahan hidup pada kondisi tertentu. Kondisi yang tepat sangat penting bagi pertumbuhan mikroalga terlebih ketika diperhadapkan dengan organisme penggangu lainnya. Tehnik kultivasi mikroalga yang tepat

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

terus dilakukan khususnya untuk menghadapi masalah kontaminasi terhadap sel mikroalga yang dikembangkan.
CO_2

Salah satu unsur penting yang dibutuhkan oleh mikroalga untuk pertumbuhannya adalah CO_2. Pada proses metabolismenya, CO_2 yang dibutuhkan oleh mikroalga diubah menjadi biomassa. Sumber CO_2 tersebut pada umumnya berasal dari gas yang dihasilkan oleh industrI yang merupakan hasil pembakaran untuk menghasilkan tenaga. Pada beberapa tahun terakhir penelitian tentang pemanfaatan CO_2 bagi mikroalga terus dilakukan karena hal ini bukan hanya berpengaruh pada produksi biomassa oleh mikroalga tetapi juga pengurangan efek rumah kaca pada atmosfir akibat gas CO_2.

Fisiologi mikroalga

Pertumbuhan mikroalga juga dipengaruhi oleh sifat fisiologinya. Fisiologi mikroalga ini akan mempengaruhi pengambilan nutrisi serta lingungan kultivasinya. Secara alamiah mikrolaga yang hidup pada kolam (*ponds*) terbuka akan bertumbuh dengan cepat hingga menutupi permukaan kolam. Apabila fisiologi dari mikroalga tersebut sangat baik, maka kondisi tersebut dapat memacu produksi biomassa dengan kandungan minyak dan pati yang tinggi. Akan tetapi, respon fisiologi tertentu tidak mendukung mikroalga untuk bertahan hidup pada kolam tersebut. Hal mungkin terjadi karena tingginya konsentrasi O_2 yang terakumulasi pada kolam yang menghalangi pertumbuhan mikroalga (Benemann, Van Olst, *et al.,* 2006). Saturasi cahaya juga menjadi masalah bagi fisiologi mikroalga. Pada mikroalga yang tumbuh pada permukaan kolam akan menerima cahaya matahari yang sangat banyak melebihi yang dibutuhkan untuk proses fotosintesis. Oleh sebab itu penelitian terkini dilakukan melalui perubahan fisiologi dan genetic untuk mengurangi pigmen penyerap cahaya pada mikrolaga (Nakajima and Ueda, 2000).

Cahaya matahari

Mikroalga termasuk golongan mikroorganisme yang membutuhkan cahaya matahari dalam melakukan fotosintesis untuk pertumbuhannya. Pada kondisi tumbuh secara fototropik, mikroalga memperoleh energi dari cahaya matahari dan CO2 dengan memanfaatkan klorofil dan pigmen lainnya yang berperan dalam proses fotosintesis. Akan tetapi, bagi jenis mikroalga yang mampu tumbuh secara heterotrofik, kehadiran cahaya matahari tidak dibutuhkan karena mikroalga mampu bertumbuh dengan mamanfaatkan karbon organik sebagai sumber energi pada kondisi tanpa cahaya.

Sistem kultivasi mikroalga
Sistem terbuka

Kultivasi mikroalga sistem terbuka merupakan sistem kultivasi dimana mikroalga tumbuh di alam terbuka, umumnya pada perairan alamiah seperti kolam, sungai dan danau. Dalam pengembangannya kultivasi sistem terbuka juga telah dilakukan pada kolam-kolam buatan yang didisain untuk pertumbuhan mikroalga (Borowitzka, 1999). Pada sistem terbuka ini kebutuhan CO_2 oleh mikroalga sangat tercukupi karena CO_2 diperoleh langsung dari udara terbuka. Namun, jika biomassa mikroalga sudah sangat banyak maka penetrasi udara ke dalam kolam tempat mikroalga bertumbuh akan sangat sukar sehingga dibutuhkan alat penghembus udara (*submerged aerator*) untuk membantu penyerapan CO_2 (Terry and Raymond, 1985). Kultivasi sistem terbuka merupakan metode kultivasi mikroalga yang relatif murah jika dibandingkan dengan kultivasi sistem tertutup yang menggunakan fotobioreaktor. Namun demikian, sistem terbuka perlu mempetimbangkan lingkungan tumbuh mikroalga karena pada kondisi terbuka mikroalga sangat mudah terkontaminasi oleh bakteri, protozoa ataupun jenis mikroalga lainnya yang tidak dikehendaki (Chisti, 2008).

Sistem tertutup

Pada umumnya, kultivasi mikroalga sistem tertutup didasarkan pada penggunaan fotobioreaktor tertutup (*closed photobioreactor*). Kultivasi sistem tertutup dirancang untuk memberikan solusi atas kelemahan yang ada pada sistem terbuka, terlebih khusus dalam meminimalkan terjadinya kontaminasi (Brennan and Owende, 2010; Y. Chisti, 2008). Beberapa jenis fotobioreaktor tertutup yang telah digunakan untuk memproduksi mikroalga, antara lain: *tubular photobioreactor, flat plat photobioreactor, dan column photobioreactor*. Dibandingkan dengan sistem terbuka, kultivasi sistem tertutup memberikan beberapa keuntungan seperti mampu menghasilkan biomassa yang lebih tinggi serta mudah untuk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mengontrol pertumbuhan jenis mikroalga yang diinginkan. Namun, salah satu kelemahan yang perlu diperhatikan adalah tingginya biaya pemeliharaan alat serta

Tabel 1. Kentungan dan kelemahan kultivasi sistem terbuka dan sistem tertutup

Sistem kultivasi	Keuntungan	Kelemahan
Kolam terbuka	• Biaya lebih mudah • Mudah untuk dibersihkan • Dapat menggunakan lahan non-pertanian • Masukan energi yang rendah • Mudah dalam pemeliharaan	• Produktivitas biomassa yang rendah • Membutuhkan lahan yang luas • Mudah terkontaminasi • Kurangnya • Pemanfaatan Cahaya dan CO2 yang terbatas
Tubular photobioreactor	• Memiliki luas area permukan pencahayaan yang besar • Cocok untuk kultur di luar ruangan • Biaya relatif murah • Memiliki produktivitas biomassa yang baik	• Membutuhkan lahan yang luas • Terjadi perubahan pH, oksigen terlarut dan CO2 sepanjang pipa.
Flat plat photobioreactor	• Produktivitas biomassa yang tinggi • Mudah untuk disterilkan • Memiliki luas area permukan pencahayaan yang besar • Cocok untuk kultur di luar ruangan	• Sangat sukar untuk di dilakukan dalam ukuran besar • Sangat sukar dalam mengatur temperatur
Column photobioreactor	• Transfer massa yang tinggi • Konsumsi energi yang rendah • Mudah disterilkan	• Area pencahayaan kecil • Biaya mahal dibandingkan kolam terbuka

Sumber: Brennan, L, and P Owende (2010)

Teknik pemanenan mikroalga

Filtrasi

Beberapa sistem filtrasi yang umum digunakan untuk pemanenan mikroalga, antara lain: *filter presses, vibrating screens, micro-strains, belt filters* dan *vacuum drums* (Milledge and Heaven 2012). Klasifikasi sistem filtrasi didasarkan pada ukuran pori membran yang digunakan, yaitu: *reverse ormosis* (ukuran pori < 0,001 µm), *ultra-filtration* (ukuran pori 0,002-2 µm, *micro-filtration* (ukuran pori 0,1- 10 µm) dan *macro-filtration* (ukuran pori > 10 µm). Pada umumnya pemberian tekanan dibutuhkan pada metode filtrasi untuk melewatkan cairan melalui pori membran (Jaouen *et al.,* 1999).

Flokulasi

Pada umumnya mikroalga memiliki muatan negatif pada permukaan selnya. Muatan ini disebabkan karena adanya penyerapan ion dari media tumbuh dan juga diakibatkan adanya ionisasi pada dinding sel mikroalga. Kondisi ini sangat dipengaruhi oleh jenis mikroalga, kekuatan muatan ion pada media tumbuh serta kondisi lingkungan lainnya (Ives 1959; Golueke and Oswald 1965; Shelef, Sukenik and Green 1984). Muatan negatif pada sel mikroalga ini sangat penting untuk pertumbuhan mikroalga, secara khusus untuk menghindari terjadinya agregasi alamiah antara sel yang tersuspensi (Grima *et al.,* 2003). Dengan adanya muatan negatif pada permukaan sel mikroalga, maka flokulasi menjadi salah satu tehnik pemanenan yang umum digunakan. Pada pemanenan secara flokulasi, flokulan yang digunakan adalah bahan yang mengandung muatan positif, seperti besi klorida (FeCl3), almunium sulfat($Al_2(SO_4)_3$) dan besi sulfat ($Fe_2(SO_4)_3$) (Koopman and Lincoln 1983; Grima *et al.,* 2003).

Flotasi

Metode ini merupakan proses pemisahan berdasarkan gaya grafitasi di mana sel mikroalga menempel pada udara atau gelembung gas sehingga sel tersebut terapung pada permukaan. Pada kondisi tersebut sel mikroalga dapat dipanen dengan mudah. Pada beberapa jenis mikroalga tertentu sel nya dapat terapung secara alamiah apabila kandungan lipid pada sel meningkat (Edzwald 1993). Pada metode flotasi, kebutuhan biaya operasional

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

akan semakin besar jika melibatkan flokulan (Mohn 1998).

Sentrifugasi

Sentrifugasi merupakan suatu metode pemanenan mikroalga yang didasarkan pada pemberian tenaga putar untuk mengendapkan sel mikroalga sehingga terpisah dari cairan media tumbuhnya (Mohn, 1998). Pemisahan tersebut didukung oleh adanya perbedaan densitas antara sel mikroalga dan media cair tempat sel bertumbuh. Menurut Sim, Goh and Becker (1988), dibandingkan metode pemanenan mikroalga yang lain, metode sentrifugasi mampu mengasilkan mikroalga dalam bentuk pasta dengan kandungan padatan hingga diatas 15%. Beberapa studi juga menunjukkan bahwa semakin cepat putaran sentrifugasi, maka biomassa mikroalga yang diperoleh dapat mencapai hingga 95% (Heasman *et al.,* 2000).

Sedimentasi

Pada umumnya metode sedimentasi untuk pemanenan biomassa alga diaplikasikan pada pengolahan air limbah. Metode ini didasakan pada hukum Stoke untuk menentukan karakteristik padatan tersuspensi dengan adanya perbedaan densitas, radius serta kecepatan sedimentasi sel mikroalga. Akan tetapi, penggunakan hukum Stoke ini tidak dapat diterapkan pada partikel yang dapat diflokulasi karenan srukturnya yang rumit serta hanya cocok diaplikasikan pada mikroalga yang ukurannya besar (>70 µm) seperti *Spirulina* (Schenk *et al.,* 2008; Shelef *et al.,* 1984; Munoz and Guieysse 2006).

Peletisasi mikroalga

Metode pemanenan mikrolaga dengan cara peletisasi merupakan metode baru yang beberapa tahun terakhir terus dikembangkan. Metode ini melibatkan mikroorganisme lainnya, seperti fungi yang mampu membentuk pelet. Gultom, Zamalloa and Hu (2014) melaporkan bahwa interaksi antara mikroalga (*Chlorella vulgaris*) dan jamur berfilamen (*Aspergillus niger*) terjadi ketika kultivasi mikroalga dan fungi dilakukan pada media yang sama. Sel mikroalga menempel pada hipha sehigga mudah untuk dipanen (Gambar 1). Interaksi ini diduga terjadi karena mikroalga dan fungi memiliki muatan yang berbeda sehingga terjadi tarik menarik antar kedua sel.



Gambar 1. Interaksi antara sel mikroalga *Chlorella vulgaris* dan hipha *Aspergillus niger* terlihat dengan menggunakan mikroskop cahaya (a) Tampak jauh (b) Tampak dekat. Anak panah menunjukkan sel mikroalga (Gultom, Zamalloa and Hu 2014).

Teknologi Konversi Mikroalga menjadi Energi Bahan Bakar

Pengembangan teknologi konversi mikroalga menjadi energi terus dilakukan. Potensi mikroalga sebagai bahan baku pembuatan minya bio-disel, bio-etanol dan produk lainnya menjadi pemacu dalam menemukan dan menerapkan teknologi konversi mikroalga yang efektif, efisien serta secara ekonomi dapat menguntungkan. Secara umum teknologi konversi mikroalga dapat dibedakan ke dalam dua kategori, yaitu: konversi secara termo-kimia dan konversi secara bio-kimia. Pemilihan konvesi mikroalga menjadi energi dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor penting, antara lain: jenis dan kuantitas biomassa mikroalga, jenis energi yang diinginkan, ekononomis dan produk akhir yang diinginkan (McKendry 2002).

Pirolisis

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pada proses pirolisis, biomassa dikonvesikan menjadi tiga jenis energi, yaitu minyak, syngas dan arang. Pirolisis umumnya dilakukan dengan menggunakan suhu yang tinggi (350-700^{0}C) tanpa adanya udara (Goyal, Seal and Saxena 2008). Berdasarkkan lama waktu proses, proses pirolisis biomassa dapat dilakukan dalam tiga metode, yaitu: (1) metode pirolisis kilat (*flash pyrolysis*), menggunakan suhu 500 ^{0}C dengan waktu 1 detik, (2) metode cepat (fast pyrolysisi), menggunakan suhu 500 ^{0}C dengan waktu 10-20 detik, dan (3) metode pirolisis lambat (*slow pryrolysis*), menggunakan suhu 400 ^{0}C dengan waktu yang lebih lama. Di masa yang akan datang, pirolisi dinilai memiliki potensi untuk mengkonversi biomassa menjadi minyak karena memberikan hasil yang memuaskan dimana rasio konversi biomassa menjadi minyak dapat mencapai hingga 95,5%. Namun, beberapa kelemahan dari metode pirolisis ini antara lain minyak yang dihasilkan lebih asam, kental dan mengandung padatan serta bahan kimia terlarut. Oleh sebab itu, prose hidrogenasi dan pemecaran secara katalitik sangat diperlukan untuk menurunkan kandungan oksigen dan mengurangi kandungan alkali (Clark and Deswarte, 2015; Demirbas, 2006).

Gasifikasi

Gasifikasi merupakan reaksi oksidasi secara parsial pada biomassa dengan melibatkan suhu yang sangat tinggi (800-1000 ^{0}C) untuk menghasilkan campuran gas yang mudah terbakar. Pada proses gasifikasi, biomassa bereaksi dengan oksigen dan uap air untuk menghasilkan gas sintesis yang merupakan campuran CO, H_2, CO_2, N, dan CH_4, atau yang umum disebut “syngas”. Beberapa studi tentang proses gasifikasi pada biomassa mikroalga telah dilakukan. Hirano *et al.,* (1998) melaporkan bahwa produksi tertinggi metanol dari proses gasifikasi *spirulina* adalah sebesar 0,64 g methanol/g biomassa pada suhu 1000 ^{0}C. Gasifikasi pada mikroalga *Chlorella vulgaris* pada sebuah sistem dengan sikkulasi nitrogen untuk menghasilkan minyak yang kaya akan metana juga telah dilakukan oleh Minowa and Sawayama (1999). Data dari hasil studi tentang gasifikasi masih jarang sehingga penelitian pada bidang ini perlu terus dilakukan, terlebih khusus kebutuhan energi yang dibutuhkan pada proses pengeringan bahan sebelum dilakukan proses gasifikasi.

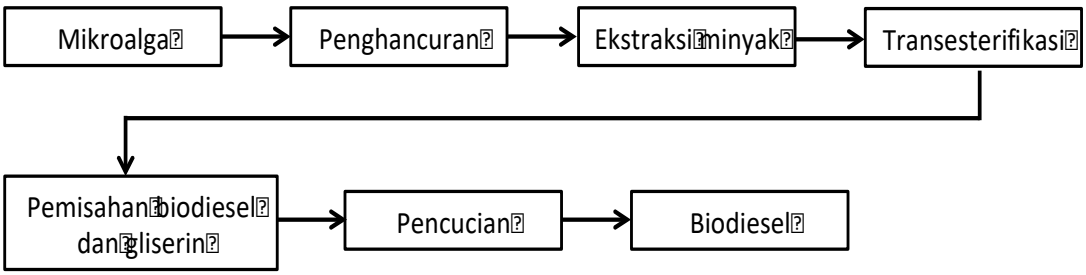
Fermentasi

Proses fermentasi pada umumnya digunakan untuk mengkonversi biomassa yang mengandung gula, pati maupun selulosa menjadi etanol. Sebagian besar biomassa yang mengandung karbohidrat denga rumus umum $(CH_2O)_n$ dapat diubah menjadi etanol. Sebelum proses fermentasi dilakukan, reaksi kimia bersama hidrolisis enzimatis sering digunakan untuk menghasilkan gula sederhana yang selanjutnya difermentasikan menjadi etanol dengan bantuan ragi seperti *Saccharomyces cerevesiae* (Demirbas, 2010). Mikroalga merupakan salah satu tumbuhan uniselular yang dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan etanol karena memiliki kandungan pati yang cukup tinggi (sekitar 37% berat kering). Produksi etranol berbahan baku mikroalga dapat dilakukan melalui tahapan berikut: (1) pemisahan pati dari dalam sel mikroalga dengan cara mekanis maupun enzimatis, (2) penambahan *Saccharomyces cerevesiae* pada biomassa untuk memulai proses fermentasi, (3) produksi etanol dari proses fermentasi, dan (4) pemurnian etanol melalui proses destilasi. Hirano, Ueda, Hirayama, & Ogushi (2008) melaporkan bahwa efisiensi konversi etanol dari mikroalga dapat mencapai 65%.

Biodisel dari mikroalga

Biodisel merupakan bahan bakar minyak terbarukan mono-alkil ester yang berasal dari bahan-bahan alamiah, seperti minyak tumbuhan maupun lemak hewan, melalui proses transesterifikasi (Abbaszaadeh *et al.,* 2012; Demirbas, 2010). Biodisel memiliki karakteristik yang cukup sama dengan bahan bakar diesel yang saat ini banyak digunakan untuk kendaraan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 2. Konversi mikroalga menjadi biodiesel melalui proses transesterifikasi

Biodisel memiliki potensi yang sangat besar untuk menjadi sumber energi alternatif terbarukan, antara lain: (1) bahan baku selalu tersedia karena berasal dari bahan baku terbarukan; (2) mudah terdegradasi; (3) tidak merusak lingkungan karena tidak menghasilkan gas-gas berbahaya bagi lingkungan; (4) lebih baik dibandingkan bahan bakar disel yang berasal dari petrolium karena memiliki emisi hasil pembakaran yang lebih rendah serta tidak berkontribusi terhadap pemanasan global karena memiliki siklus karbon yang tertutup.

Dalam memproduksi biodisel, bahan baku menjadi salah satu faktor terpenting yang perlu dipertimbangkan karena berkontribusi terhadap 75% total biaya produksi. Oleh sebab itu, pemilihan bahan baku yang tepat untuk pembuatan biodisel sangat penting dilakukan. Secara umum terdapat 3 genarasi sumber bahan baku biodisel yang telah dikembangkan, yaitu:

a. Bahan baku generasi pertama

Merupakan jenis-jenis tanaman yang pertama kali digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodisel. Adapun bahan baku pada generasi pertama ini adalah minyak kedelai (*soybeans*), minyak sawit (*palm oil*), minyak rapa (*rapeseed*), dan minyak bunga matahari (*sunflower*). Penggunaan bahan baku ini pada akhirnya memberikan pengaruh terhadap terhadap pasar dan ketahanan pangan secara global karena 95% bahan baku biodisel tersebut merupakan bahan pangan.

b. Bahan baku generasi kedua

Pada generasi kedua, bahan baku biodisel yang dikembangkan merupakan bahan baku yang tidak digunakan sebagai pangan, seperti: tanama Jatropa, minyak jojoba, biji tembakau, termasuk minyak jelantah atau bekas pakai. Beberapa keuntungan penggunaan bahan baku genberasi kedua ini, antara lain: tidak berkompetisi dengan bahan pangan, lebih efisien dan ramah lingkungan jika dibandingkan dengan bahan baku generasi pertama, membutuhkan luas lahan yang lebih kecil, dapat menghasilkan produk sampingan yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut baik pada industri bahan kimia maupun energi. Meski demikian, ketersediaan bahan baku generasi kedua ini belum mampu memenuhi kebutuhan energi atau bahan bakar minyak. Selain itu, minyak yang dihasilkan dari tanaman ataupun lemak hewani mengandung asam lemak jenuh yang lebih tinggi sehingga dapat berpengaruh memiliki performa yang rendah pada lingkungan bersuhu rendah (Janaun & Ellis, 2010; Ahmad *et al.,* 2011).

c. Bahan baku generasi ketiga

Melihat adanya kendala yang dihadapi dalam penggunaan bahan baku generasi pertama dan kedua, maka dikembangkan bahan baku ketiga yaitu mikroalga. Pengembangan mikroalga sebagai bahan baku terbarukan dalam pembuatan biodiesel didasarkan pada kemampuan mikroalga untuk melakukan fotosistesis dengan efisiensi yang sangat tinggi dalam menghasilkan biomassa dan laju pertumbuhan yang sangat cepat dibandingkan tumbuhan lainnya.

Biodisel yang berasal dari mikroalga memiliki karakteristik yang sama dengan biodisel yang berbasis petroleum, seperti densitas, viskositas, titik nyala dan nilai pemanasan. Berdasarkan hasil percobaan, biodisel berbahan baku mikroalga telah memenuhi kriteria yang telah ditetapkan oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM) untuk kualitas biodisel dan *International Biodisel Standard for Vehicles*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

(ENI 4214). Namun hasil penelitian lainnya melaporkan bahwa biodisel yang dihasilkan dari mikroalga memiliki derajat asam lemak tak jenuh yang cukup tinggi. Hal ini akan membatasi penggunaan biodisel karena biodisel tersebut mudah mengalami oksidasi saat penyimpanan. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengatasi masalah tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pengembangan sumber energi alternatif terbarukan sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi dunia seiring menipisnya persediaan energi bahan bakar berbasis fosil. Menjawab tantangan di atas, secara teknis mikroalga sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi sumber produksi biodisel yang diharapkan mampu memenuhi kebutuhan energi bahan bakar dunia. Selain sebagai bahan baku biodiesel, mikroalga juga berpotensi untuk dikonversi menjadi bentuk energi lainnya seperti bioethanol, biometanol maupun syngas melalui teknologi konversi seperti pirolisis, gasifikasi maupun fermentasi. Namun demikian, penelitian-penelitian lanjutan perlu terus dilakukan ke arah pengembangan jenis mikroalga yang mengandung konsentrasi minyak yang tinggi namun juga mampu menurunkan derajat asam lemak tak jenuhnya sehingga biodisel tidak mudah teroksidasi saat penyimpanan.

DAFTAR PUSTAKA

Abbaszaadeh, A., Ghobadian, B., Omidkhah, M., & Najaf, G. (2012). Current biodiesel production technologies: A comparative review. *Energy Conversion and Management Journal* , 1-11.

Ahmad, A. L., Yasin, N. M., Derek, C. J. C., & Lim, J. K. (2011). Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 584-593.

Benemann, J. (2003). *Bio fixation of CO2 and greenhouse gas abatement with microalgae technology readmap. Final report submitted to the U.S. Department of Energy.* Energy Technology Laboratory.

Benemann, J., Van Olst, J., Massingill, M., Werssiuman, J., & Biune, D. (2006). The controlled eutrophication process: using microalgae for CO2 utilization and agricultural fertilizer recycling, Oilgae – Oil & Biodiesel from Algae.

Borowitzka, M. (1999). Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *Journal of biotechnology , 70* (1), 313-321.

Brennan, L., & Owende, P. (2010). Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews , 14*(2), 557–577.

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances , 41*, 99-107.

Chisti, Y. (2008). iodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in biotechnology , 26* (3), 126-131.

Clark, J., & Deswarte, F. (2015). *Introduction to chemicals from biomass.* West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.

Demirbas, A. (2006). Oily products from mosses and algae via pyrolysis. *Energy Sources Part A—Recovery Utilization and Environmental Effects , 28*(10), 933–940.

Demirbas, A. (2010). Use of algae as biofuel sources. *Energy Conversion and Management , 51*(12), 2738-2749.

Demirbas, M. F. (2010). Microalgae as a feedstock for biodiesel. *Energy Education Science and Technology Part A-Energy Science and Research*, 25(1-2), 31-43.

Edzwald, J. K. (1993). Algae, Bubbles, Coagulants, and Dissolved Air Flotation. *Water Science Technology , 27*(10), 67-81.

Golueke, C. G., & Oswald, W. J. (1965). Harvesting And Processing Sewage-Grown Planktonic Algae. *Water Pollution Control Federation , 37*(4), 471-498.

Goyal, H., Seal, D., & Saxena, R. (2008). Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: a review. *Renewable and sustainable energy reviews , 12*(2), 504-517.

Grima, E. M., Belarbi, E. H., Fernández, F. A., Medina, A. R., & Chisti, Y. (2003). Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. *Biotechnology advances*, 20(7-8), 491-515.

Gultom, S. O., Zamalloa, C., & Hu, B. (2014). Microalgae Harvest through Fungal Pelletization—Co-Culture of Chlorella

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

vulgaris and Aspergillus niger. *Energies , 7*(7), 4417-4429.

Heasman, M., Deamar, J., O'Connor, W., Sushames, T., & Foulkes, L. (2000). Development of Extended Shelf-Life Microalgae Concentrate Diets Harvested by Centrifugation for Bivalve Molluscs-A Summary. *Aquaculture Research , 31*(8-9), 637-659.

Hirano, A., Ueda, R., Hirayama, S., & Ogushi, Y. (2008). CO2 fixation and ethanol production with microalgal photosynthesis and intracellular anaerobic fermentation. *22*, 137-142.

Hirano, A., Hon-Nami, K., Kunito, S., Hada, M., & Ogushi, Y. (1998). emperature effect on continuous gasification of microalgal biomass: theoretical yield of methanol production and its energy balance. *Catalysis Today , 45* (1), 399-404.

Hung, Y.-T., Amuda, O. S., Alade, A. O., Amoo, I. A., Tay, S. T.-L., & Li, K. H. (2010). Algae Harvest Energy Conversion. In L. K. Wang, J.-H. Tay, S. T.-L. Tay, & Y.-T. Hung, *Environmental Bioengineering* (pp. 723-741). New York: Humana Press.

Ives, K. J. (1959). The Significance of Surface Electric Charge on Algae in Water Purification. *Journal of Biochemical and Microbiological Technology and Engineering , 1*, 37-47.

Janaun, J., & Ellis, N. (2010). Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews , 14*, 1312–1320.

Jaouen, P., Vandanjon, L., & Quemeneur, F. (1999). The shear stress of microalgal cell suspensions (Tetraselmis suecica) in tangential flow filtration systems: the role of pumps. *Bioresource Technology , 68*, 149-154.

Koopman, B., & Lincoln, E. P. (1983). Autoflotation Harvesting of Algae from High-rate Pond Effluents. *Agricultural Wastes , 5*, 231-246.

McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource technology , 83* (1), 47-54.

Miao, X., & Wu, Q. (2006). Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil. *Bioresour. Technol. , 97*, 841–846.

Milledge, J. J., & Heaven, S. (2012). A review of the harvesting of micro-algae for biofuel production. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* , 1-15.

Minowa, T., & Sawayama, S. (1999). novel microalgal system for energy production with nitrogen cycling. *Fuel , 78* (10), 1213-1215.

Mohn, F. (1998). Harvesting of micro-algal biomass. In L. J. Borowitzka, & M. A. Borowitzka , *Micro-algal biotechnology.* Cambridge: Cambridge University Press.

Mosojídek, J., Torzillo, G., Sven, J. E., & Brian, F. (2008). Mass Cultivation of Freshwater Microalgae. In J. Mosojídek, G. Torzillo, J. E. Sven, & F. Brian, *Encyclopedia of Ecology* (pp. 2226–2235). Oxford, UK: Academic Press.

Munoz, R., & Guieysse, B. (2006). Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. *Water Research , 40*, 2799-2815.

Nakajima, Y., & Ueda, R. (2000). The effect of reducing light-harvesting pigment on marine microalgal productivity. *Journal of applied phycology* , 285-290.

Patil, V., Tran, K.-Q., & Giselrød, H. (2008). Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *International journal of molecular sciences , 9* (7), 1188-1195.

Report, G. C. (2002). *An assessment of solar energy conversion technologies and research opportunities. Technical Assessment Report.* GCERP.

Schenk, P. M., Thomas-Hall, S. R., Stephens, E., Marx, U. C., Mussgnug, J. H., Posten, C., *et al.* (2008). Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. *Bionergy Resources , 1*, 20-43.

Shelef, G., Sukenik, A., & Green, M. (1984). *Microalgae Harvesting and Processing: A Literature Review.* Solar Energy Research Institute, U.S. Department of Energy. Springfield: National Technical Information Service U.S. Department of Commerce.

Sim, T. S., Goh, A., & Becker , E. W. (1988). Comparison of Centrifugation, Dissolved Air Flotation and Drum Filtration Techniques for Harvesting Sewage-grown Algae. *Biomass , 16*, 51-62.

Terry, K., & Raymond, L. (1985). System design for the autotrophic production of microalgae. *Enzyme and Microbial Technology , 7* (10), 474-487.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JDEP 3 (1) 2020 pp. 39 - 51
JDEP (Jurnal Dinamika Ekonomi Pembangunan)
ISSN 2614-2546 (Online) http://jdep.upnjatim.ac.id/index.php/jdep

Model Pemberdayaan Berbasis Pemanfaatan Sumberdaya Alam Berkelanjutan: Studi pada Program Energi Terbarukan di Kabupaten Jombang

Lucas Magalhaes[1] & Arif Dwi Hartanto[2]

[1]*Litbang Bappeda Kabupaten Jombang*
[2]*Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Merdeka Malang*

Article Infortion

Article history:
Received 17 November 2019;
Received in revised form 27 December 2019; Available online 29 January 2020

ABSTRACT

The concept of economic development that is based on villages so far still causes debate. Supporting arguments say that village empowerment is the key to the success of inclusive economic development. The aim is to create sustainable economic development based on creating high economic value. Based on this, the main objective of this research is to examine how much impact the new and renewable energy program in Jombang has had on the empowerment of rural communities. Based on the Cluster Analysis method, the new and renewable energy program is proven to have implications for the empowerment of rural communities as indicated through two things, namely: (i) an increase in income especially the poor; and (ii) local communities are able to develop village development planning and implementation. This proves that the new and renewable energy program has been able to realize the independence of the village. Therefore, this program is expected to be a proliferation of empowerment models that are based on sustainable use of natural resources.

Keywords: *New and Renewable Energy, Village Empowerment, Village Independence*

Konsep pembangunan ekonomi yang bertumpu pada desa sejauh ini masih menimbulkan perdebatan. Argumentasi pendukung mengatakan bahwa pemberdayaan desa menjadi kunci kesuksesan pembangunan ekonomi yang inklusif. Tujuannya untuk menciptakan pembangunan ekonomi berkelanjutan berbasis penciptaan nilai ekonomi yang tinggi. Berdasarkan hal tersebut, maka tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengkaji seberapa besar dampak program energi baru dan terbarukan di Kabupaten Jombang terhadap pemberdayaan masyarakat desa. Berdasarkan metode Cluster Analysis, program energi baru dan terbarukan terbukti mampu berimplikasi pada pemberdayaan masyarakat desa yang diindikasikan melalui dua hal, yaitu: (i) adanya peningkatan pendapatan khususnya masyarakat miskin; dan (ii) masyarakat lokal mampu menyusun perencanaan dan pelaksanaan pembangunan desa. Hal ini membuktikan bahwa program energi baru dan terbarukan telah mampu mewujudkan kemandirian desa. Maka dari itu, program ini diharapkan dapat menjadi proliferasi model pemberdayaan yang berprinsip pada pemanfaatan sumberdaya alam berkelanjutan.

Kata kunci: *Energi Baru Terbarukan, Pemberdayaan Desa, Kemandirian Desa*

PENDAHULUAN

Salah satu isu sentral dalam pembangunan berkelanjutan adalah persoalan pengangguran dan kemiskinan, khususnya di daerah pedesaan (Zubaedi, 2007). Masyarakat pedesaan mayoritas berkecimpung di sektor pertanian dengan nilai tambah yang rendah. Persoalan ini tidak terlepas dari dua persoalan, yaitu: 1) model pembangunan yang masih mengesampingkan pemerataan; dan 2) model pembangunan yang kurang memperhatikan daya dukung sumberdaya lokal. Penelitian Hadiyanti (2006) membuktikan bahwa model pembangunan yang hanya berorientasi pada pertumbuhan (*growth pole*) sangat berpengaruh terhadap tingginya ketimpangan dan urban bias. Menurut Constantino et al (2012) dan Santosa (2014), persoalan ketimpangan disebabkan oleh dua hal, yaitu: (i) kegagalan konsep *trickle-down effect* dalam menciptakan lapangan kerja serta

Author Correspondence:
E-mail: [1]lucas5866@yahoo.co.id, [2]arief.pelukis@yahoo.com

https://doi.org/10.33005/jdep.v3i1.104

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

berbagai peluang ekonomi; dan (ii) orientasi kebijakan yang hanya tertuju pada spasial perkotaan.

Persoalan urban bias telah menguatkan paradigma pentingnya pemberdayaan masyarakat berbasis pemanfaatan sumberdaya lokal yang berkelanjutan. Eyben, Kabeer& Cornwall (2008) mendefinisikan strategi pemberdayaan sebagai sebuah upaya untuk meningkatkan kemampuan, kemandirian, dan keswadayaan masyarakat. Melalui strategi pemberdayaan, partisipasi masyarakat dalam melaksanakan pembangunan akan semakin meningkat. Peningkatan partisipasi masyarakat sangat penting dalam mengoptimalkan pengelolaan sumberdaya lokal, terutama yang berada di pedesaan.

Salah satu model pemberdayaan yang belum banyak dilaksanakan adalah konsep pengelolaan sumberdaya alam berkelanjutan dengan ciri yang bisa terbaharukan. Model ini muncul karena kondisi eksisting bahwa Indonesia kaya akan berbagai jenis energi baik yang berbasis fosil maupun non-fosil. Definisi energi baru pada Undang-Undang No 30 tahun 2007 tentang Energi adalah sumber energi yang dapat dihasilkan oleh teknologi baru baik yang berasal dari sumber energi terbarukan maupun sumber energi tak terbarukan. Sedangkan sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut. Energi yang bersifat baru adalah energi yang berasal dari sumber energi terbarukan.

Secara ideal, dibutuhkan pengetahuan tentang bagaimana melaksanakan pemberdayaan berbasis pemanfaatan sumberdaya alam yang berkelanjutan dengan pendekatan energi terbarukan. Untuk dapat memanfaatkan keberagaman energi tersebut, maka dibutuhkan kemauan (*political will*), kebijakan yang cerdas (*smart policy*), dan kerja keras (etos kerja). Sesuai amanah Undang-Undang No 30 Tahun 200 tentang Energi, bahwa penyediaan dan pemanfaatan energi baru dan energi terbarukan wajib ditingkatkan, baik oleh Pemerintah Pusat maupun Pemerintah Daerah. Penggunaan energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif harus selalu dikembangkan sesuai dengan potensi yang dimiliki oleh masing-masing daerah. Oleh karena itu, model pemberdayaan berbasis pemanfaatan sumberdaya alam yang berkelanjutan sangat penting dilakukan dalam rangka menciptakan kesejahteraan masyarakat yang berkelanjutan, khususnya di pedesaan.

Kabupaten Jombang adalah salah satu daerah yang telah mengidentifikasi potensi sumberdya terbarukan bagi kepentingan program pemberdayaan yang terkonsentrasi di pedesaan. Sumberdaya alam terbarukan di Kabupaten Jombang tidak terlepas dari struktur geografis dan spasial yang kaya akan sumberdaya alam, namun dalam beberapa wilayah juga mengalami rendahnya dukungan limpahan sumberdaya alam.

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka tujuan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu: 1) untuk mengidentifikasi upaya yang sudah dilakukan di Kabupaten Jombang dalam melihat potensi energi terbarukan; dan 2) menjabarkan konstruksi antara kondisi eksisting energi terbarukan di Kabupaten Jombang dengan model pemberdayaan masyarakat pedesaan. Kedua tujuan tersebut sangat penting dukungannya bagi pelaksanaan program pemberdayaan sekaligus kontribusinya terhadap pengkayaan literatur mengenai konsep pemberdayaan yang mengadopsi pendekatan pemanfaatan sumberdaya lokal yang berkelanjutan.

KAJIAN PUSTAKA

a. Pengertian energi, energi baru, dan energi terbarukan

Orientasi pembangunan ekonomi saat ini bukan hanya tertuju pada efisiensi dan efektivitas pemanfaatan sumberdaya alam, namun juga terkait dengan aspek keberlanjutan (Garjita et al, 2014). Dalam konteks ekonomi, pemanfaatan sumberdaya alam sudah tertuju pada kegiatan teknis, salah satunya adalah metode pemanfaatan energi terbarukan bagi keberlangsungan produksi dalam jangka panjang. Pengertian Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja atau daya (kekuatan) yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan (Gonzalez, et al, 2016).

Daya ini berdasarkan beberaa sumber, yaitu: (i) energi panas (*thermal energi*); (ii) energi kimia (*chemical energy*); (iii) energi listrik (*electric energy*); (iv) energi nulir (*nuclear energy*); (v) energi radiasi (*radiant energy*); (vi) energi magnet (*magnetic energy*); (vii) energi elastis (*elastic*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

energy); (viii) energi suara (*sound energy*); (ix) energi mekhanik (*mechanical energy*); (x) energi cahaya (*luminuous energy*); dan (xi) energi massa (*mass energy*).

Terdapat berbagai bentuk bahan alam untuk sumber energi. *Pertama* adalah sumber energi tidak terbarukan, yang pemanfaatannya dibagi menjadi dua, yaitu: (i) sudah lama dimanfaatkan, seperti minyak bumi dan gas alam batubara; dan (ii) baru dipakai/ mulai dikaji, yaitu seperti gas metana batubara dan *shale gas*. *Kedua* adalah sumber energi terbarukan, yang pemanfatannya terbagi dalam dua katagori, yaitu: (i) sudah lama dimanfaatkan, seperti tenaga air, panas bumi, energi surya, Biomasa (berbagai bentuk, limbah dan sebagainya); dan (ii) baru dipakai/dikaji, seperti tenaga angin, gelombang dan arus laut.

Banyak faktor yang mempengaruhi pertumbuhan kebutuhan energi, diantaranya adalah (Thiam, 2011): (i) pertumbuhan penduduk; (ii) pertumbuhan ekonomi; (iii) pertumbuhan industri; (iv) administrasi, kantor dan hotel; (v) tingkat kesejahterahan penduduk; dan (vi) perubahan pola hidup penduduk. Kebutuhan yang semakin meningkat menandakan tingginya kebutuhan eksploitasi energi, sehingga dapat berpotensi mengganggu keberlangsungan siklus produksi dalam jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan inovasi energi terbarukan sebagai bagian penting dalam menjamin kegiatan pembangunan ekonomi.

b. Permasalahan pemanfaatan energi terbarukan

Dalam banyak kasus, pemanfaatan energi terbarukan bagi kepentingan ekonomi kerapkali menghadapi beragam kendala. Persoalan yang mendominasi adalah adanya kegagalan mengelola utilitas, sehingga pemanfaatan input produksi dari energi seringkali tidak efisien. Mengacu pada pendapat Thiam (2011) dan Gonzalez et al (2016), setidaknya terdapat beberapa tantangan yang sering dihadapi dalam mengembangkan energi, diantaranya adalah: (i) kebutuhan energi yang tinggi; (ii) jaminan pasokan energi yang rendah; (iii) cadangan energi fossil yang semakin menurun; (iv) energi fossil masih menjadi komuditas ekspor; (v) upaya konservasi dan kelestarian lingkungan hidup masih rendah; (vi) kondisi geopolitik dunia dan isu lingkungan global; (vii) harga belum sesuai keekonomian; (viii) cadangan penyangga belum tersedia; (ix) kapasitas litbang, industri dan infrastruktur belum optimal; dan (x) akses masyarakat terhadap energi masih rendah. Atas beberapa tantangan tersebut, maka diperlukan kebijakan energi nasional agar mampu menciptakan ketahanan energi guna mendukung pembangunan nasional yang berkelanjutan.

Beberapa persoalan di atas menjadikan upaya mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan menjadi sulit dilakukan. Garjita et al (2014) menyatakan bahwa persoalan pengelolaan energi menjadi faktor dominan penyebab inefisiensi perekonomian, terutama dalam aspek produksi, risiko lingkungan, dan kemiskinan. menurut Thiam (2011), energi baru dan energi terbarukan sangat penting bagi pembangunan berkelanjutan, khususnya dalam mengatasi persoalan ketimpangan. Hal ini bisa berdampak pada kebermanfaatannya terhadap pembangunan yang berbasis ketahanan energi, yaitu suatu kondisi terjaminnya ketersediaan energi, akses masyarakat terhadap energi pada harga yang terjangkau dalam jangka panjang dan tidak terpengaruh oleh gejolak regional maupun internasional.

c. Konsep pemberdayaan berbasis sumberdaya lokal

Pemberdayaan merupakan paradigma baru dalam pembangunan, yang memiliki karakteristik yang berfokus pada rakyat (*people-centered*), partisipatif (*participatory*), memberdayakan (*empowering*), dan berkesinambungan (*sustainable*) (Cahyaningrum, 2017). Pemberdayaan adalah perspektif yang lebih luas dari hanya sekedar memenuhi kebutuhan dasar (*basic needs*) atau menyediakan mekanisme untuk mencegah proses pemiskinan lebih lanjut (*safety net*). Konsep ini berkembang dari upaya banyak ahli dan praktisi untuk mencari apa yang disebut sebagai *the Politics of Alternative Development*, yang menghendaki adanya "*inclusive democracy*, *appropriate economic growth*, *gender equality and sustainability* or *intergenerational equity*. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, maka kebijakan pemberdayaan dititik beratkan dan berfokus pada rakyat (*people-centered*), partisipatif (*participatory*), memberdayakan (*empowering*), dan berkesinambungan (*sustainable*) sehingga diharapkan dapat terjadi akselerasi pembangunan ekonomi lokal.

Beberapa penelitian menyebutkan bahwa konsep pemberdayaan sangat penting bagi proses pembangunan yang bersifat berkelanjutan. Menurut

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kongqui (2006), pembangunan yang berkelanjutan melalui mekanisme pemberdayaan dapat dilakukan melalui strategi pemanfaatan ekonomi lokal, termasuk di dalamnya energi terbarukan.

Konsep tersebut dikatakan merupakan alternatif terbaik bagi peningkatan kapasitas individu dan komunitas dalam mendukung pembangunan masyarakat pedesaan. Dalam konteks demikian, pemberdayaan dapat dikonstruksi sebagai upaya untuk membangun kekuatan individu dan kompetensi, struktur melayani alam, dan perilaku proaktif baik kebijakan sosial atau perubahan sosial. Menurut Roseland (2000), pemberdayaan berbasis potensi lokal merupakan suatu proses sosial-tindakan yang mempromosikan partisipasi masyarakat, organisasi, sumberdaya alam yang berkelanjutan, dan masyarakat menuju tujuan peningkatan individu dan kontrol masyarakat, efikasi politik, peningkatan kualitas hidup masyarakat, dan keadilan sosial.

Pada skala individu, pemberdayaan merupakan kapasitas seseorang untuk mendapatkan kontrol atas kehidupan pribadi dan untuk mempromosikan perubahan dalam struktur kekuasaan yang dapat meningkatkan kesejahteraan seseorang (Eyben, Kabeer& Cornwall, 2008). Sedangkan pada skala masyarakat atau komunitas, pemberdayaan mengacu pada proses yang membuat keuntungan kekuatan kolektif masyarakat dalam kaitannya dengan keadaan sebelumnya (Baumgartner& Quaas, 2010). Pemberdayaan sangat penting dalam memberikan kesempatan kepada seluruh masyarakat untuk berpartisipasi sebagai pelaku ekonomi yang berlandaskan pada: 1) komitmen pada peran penting sebagai fungsi pengatur pelaku ekonomi; 2) peran-serta aktif (*participatory process*) dari seluruh komponen masyarakat madani (*civil society*); 3) keberlanjutan (*sustainability*); dan 4) pendanaan bertumpu pada prinsip-prinsip efisiensi, efektivitas, transparansi, dan *accountability* serta dapat langsung diterima oleh masyarakat yang betul-betul memerlukan (*intended beneficiaries*).

Menurut Garjita, Susiowati& Soeprobowati (2014), pemberdayaan berbasis sumberdaya lokal dapat menjadi strategi dalam pembangunan ekonomi. Strategi tersebut terkait mekanisme pemberdayaan melalui: 1) alokasi sumberdaya; 2) penguatan pemberdayaan; dan 3) pengembangan sumber daya manusia. Mekanisme pemberdayaan melalui alokasi sumber daya memiliki arti bahwa untuk menciptakan tujuan pemberdayaan, maka sumber daya sebagai kunci kebermanfaatan masyarakat harus dialokasikan dengan prinsip keadilan, terlebih sumberdaya alam. Alokasi sumber daya menjadi hal yang sangat utama dalam menciptakan pemberdayaan pada individu dan masyarakat, sehingga menuntut peran aktif partisipasi masyarakat dalam meuwujudkan upaya kesejahteraan bersama.

Untuk mendukung terjadinya pengalokasian sumber daya yang adil, maka diperlukan penguatan kelembagaan dan peningkatan kemampuan sumber daya manusia lokal (Nugroho& Setyowati, 2014). Hakikat pemberdayaan adalah peningkatan kapasitas individu dan masyarakat, sehingga pengembangan sumberdaya diharapkan dapat mendukung terjadinya pengalokasian sumber daya yang adil melalui perubahan pola pikir dan motivasi individu menjadi lebih baik. Sedangkan penguatan kelembagaan dapat mendukung alokasi sumberdaya melalui efisiensi dan efektifitas pemanfaatannya.

Melalui sinergisitas ketiga komponen tersebut, maka peningkatan aksesbilitas usaha produktif dan penguatan daya tawar individu dapat diwujudkan. Hal ini dapat menciptakan percepatan perubahan struktural dan kesejahteraan masyarakat lokal. Artinya, terdapat perubahan kelas dari tingkat ekonomi lemah menjadi mapan, dan dari golongan marginal menuju golongan yang mempunyai aksesbilitas yang lebih baik pada sumberdaya produktif.

METODE PENELITIAN

a. Pendekatan penelitian

Penelitian ini terfokus pada implementasi pemanfaatan energi terbarukan sebagai instrumen kegiatan pemberdayaan yang dilakukan di Kabupaten Jombang. Berdasarkan fokus tersebut, maka penelitian ini menggunakan metode deskriptif evaluatif dengan pendekatan kualitatif. Pendekatan deskriptif evaluatif dinilai paling cocok karena mampu menemukan, mendiskripsikan, dan mengeksplorasi persoalan lapang untuk tujuan identifikasi. Sementara pendekatan kualitatif dinilai cocok karena berusaha memperdalam persoalan melalui survey dan wawancara mendalam (*indepth interview*).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kebijakan Energi Nasional dan Pembangunan Daerah digunakan sebagai dasar kajian terutama dalam menyusun tujuan dan sasaran kebijakan. Pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) ke depan akan diprioritaskan karena cadangan energi hanya mampu menyediakan energi tidak sampai tahun 2050, sebagai sasaran akhir dari kebijakan nasional penyediaan dan pemanfatan Energi. Kebijakan EBT ini disandingkan dengan kebijakan pemberdayaan dalam konteks pembangunan daerah sebagai sebuah upaya untuk mengoptimalkan potensi daerah agar menjadi lebih berkembang. Implementasi pengembangan EBT bersifat prioritas sesuai potensi dan kondisi sosial budaya masyarakat, potensi fisik wilayah serta kondisi ekonomi masyarakat.

b. Proses pengumpulan data

Proses pengumpulan data dilakukan melalui tiga sistematika, yaitu: 1) pengumpulan data, yang meliputi inventarisasi potensi energi baru dan energi terbarukan yang ada di Kabupaten Jombang; 2) pemetaan dan penyusunan basis data, yang meliputi penyusunan peta lokasi potensi energi baru dan energi terbarukan di Kabupaten Jombang; dan 3) analisis pengembangan energi baru terbarukan di Kabupaten Jombang, yang berbasis: (i) kondisi fisik; (ii) kondisi sosial budaya masyarakat; dan (iii) kondisi ekonomi.

Ketiga sistematika tersebut dilakukan melalui perolehan data sekunder dan primer. Untuk menginventarisasi data primer, maka dilakukan tiga tahap, yaitu (i) reduksi data; (ii) penyajian data; dan (iii) kesimpulan. Tahap pertama adalah reduksi data, yakni proses pemilihan dan pemusatan perhatian penelitian melalui seleksi yang ketat terhadap fokus yang akan dikaji. Tahap kedua adalah penyajian data, yaitu proses penyusunan informasi secara sistematik dalam rangka memperoleh kesimpulan-kesimpulan sebagai temuan penelitian. Sedangkan tahap ketiga adalah kesimpulan hasil pemetaan, yang ditarik selama pengumpulan data, sifatnya masih tentatif sehingga perlu untuk terus dilakukan verifikasi data, terutama diskusi lanjutan dengan masing-masing informan.

c. Metode analisis

Setelah dilakukan pengumpulan data, maka data yang masuk kemudian akan dianalisis. Analisis yang dilakukan berorientasi pada implikasi energi baru dan terbarukan terhadap upaya mekanisme pemberdayaan, yang dikaitkan dengan konstruksi antara kondisi eksisting energi terbarukan di Kabupaten Jombang dengan model pemberdayaan masyarakat pedesaan. Untuk melaksanakan analisa tingkat keberhasilan maka dilakukan analisis kluster (*Cluster Analysis*). Analisis ini digunakan untuk mengidentifikasi dampak program pemanfaatan energi baru dan terbarukan terhadap pemberdayaan masyarakat di Kabupaten Jombang. Hasil analisis cluster berupa nilai skor antara satu sampai dengan tiga. Nilai skor satu berarti masyarakat tidak mampu melakukan aktivitas pemberdayaan. Sedangkan nilai skor tiga mencerminkan bahwa masyarakat telah mampu melakukan aktivitas pemberdayaan. Keseluruhan tahap atau proses pengumpulan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1
Mekanisme Perolehan dan Analisa Data

Tujuan	Aspek	Variabel	Sumber Data	Analisa
Data Sekunder dan Primer	Pengumpulan dan Pengolahan Data	• Inventarisasi potensi energi baru dan energi terbarukan yang ada di Kabupaten Jombang	• Studi Literatur • Survei	Analisis Spasial dan Deskriptif
	Pemetaan dan Penyusunan Basis Data	• Penyusunan peta lokasi potensi energi baru dan energi terbarukan	• Studi Literatur • Survei	
Kompilasi Data	Pemetaan Aspek Pendukung Pemberdayaan	Kondisi Fisik • Kondisi Sosial Budaya Masyarakat • Kondisi Ekonomi	• Hasil Analisa	Analisis Pengembangan
Hasil Analisa	Penyusunan Rencana Tindak	Konstruksi antara kondisi eksisting energi terbarukan di Kabupaten Jombang dengan model pemberdayaan masyarakat pedesaan.	• Hasil Analisa	Evaluasi dan Rencana Tindak

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pemetaan potensi energi baru dan terbarukan kabupaten jombang

Berdasarkan hasil pemetaan lapang, ditemukan 5 (lima) jenis energi baru dan terbarukan di Kabupaten Jombang, yaitu: (i) energi biomassa; (ii) energi air atau mikrohidro; (iii) energi surya; (iv) energi angin; dan (v) energi pemanfaatan EBT untuk dusun belum belistrik. Lima jenis energi baru dan terbarukan ini merupakan hasil pengolahan baik yang berasal dari data sekunder maupun data primer. Kedua jenis data tersebut peneliti peroleh bekerjasama dengan pihak OPD (Organisasi Perangkat Daerah) terkait. Pemetaan ini sangat penting sebagai landasan informasi terkait aktivitas pemberdayaan yang sudah dilakukan berbasis sumber energi baru dan terbarukan di Kabupaten Jombang.

Khusus untuk energi biomassa, dibagi kembali menjadi 6 (enam) jenis, yaitu: (i) potensi biomassa jerami dan sekam padi; (ii) potensi biomassa

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

kotoran ternak, khususnya sapi; (iii) potensi biomassa sampah rumah tangga; (iv) potensi limbah tinja manusia untuk biogas; (v) potensi limbah ampas tebu untuk bahan bakar pembangkit listrik; dan (vi) potensi biofuel dari tanaman perkebunan.

- Potensi energi biomassa

  Pertama adalah potensi biomassa jerami dan sekam padi, dimana gas yang dihasilkan di Kabupaten Jombang adalah dari proses biomassa jerami dan sekam padi yang mencapai 0,03 l/g atau 3 m^3/kg jerami. Berdasarkan pengolahan data sekunder, potensi gas bio Kabupaten Jombang dari fermentasi jerami mencapai 89.289,51 m^3 (1 m^3 biogas setara 0,46 kg LPG) per tahun atau setara gas LPG sebesar 41,073 ton/tahun. Estimasi ini mampu memenuhi sekitar 0,12% kebutuhan gas di Kabupaten Jombang yang pada kasus tahun 2015 sebesar 36.724 ton.

  Kedua adalah potensi biomassa kotoran ternak, khususnya sapi, dimana untuk menghitung potensi yang dapat diperoleh dari kotoran sapi baik perah maupun potong dengan perkiraan menghasilkan gas adalah dengan cara: (i) untuk sapi potong diperkirakan menghasilkan 1 m^3 per hari; dan (ii) untuk sapi perah kotoran 1 sapi menghasilkan 2 m^3. Berdasarkan pengolahan data sekunder, potensi biogas dari kotoran sapi di Kabupaten Jombang mencapai 73.217 m^3/hari yang setara dengan 366,55 ton/hari LPG (1 m^3 biogas setara 0,46 kg LPG) atau 199.190 ton LPG/tahun. Sedangkan kebutuhan gas rata-rata per tahun sebesar 36.724. Jadi, potensi tergantinya kebutuhan bahan bakar minyak untuk kebutuhan rumah tangga di Kabupaten Jombang dapat terpenuhi dari biogas.

  Ketiga adalah potensi biomassa sampah rumah tangga, dimana potensi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah Kabupaten Jombang rata-rata per hari sebesar 80 ton yang diperkirakan akan menghasilkan energi listrik sebesar 320 Kwh. Potensi ini bisa ditingkatkan karena produksi sampah Penduduk Jombang sekitar 1,5 juta orang menghasilkan sampah 1.500 ton dengan komposisi sampah basah 40% maka produksi sampah sekitar 600 ton. Diperkirakan akan masuk ke TPA sampah 30%, maka produksi sampah organik akan mencapai 180 ton per hari.

  Keempat adalah potensi limbah tinja manusia untuk biogas, dimana potensi pemanfaatan dapat dilakukan untuk semua penduduk dalam masing-masing rumah tangga. Contohnya adalah Pondok Pesantren Tebu Ireng yang memiliki santri mukim sebanyak 2.521 santri. Potensi biogas dari tinja di asrama sebesar 38 m^3/hari dengan asumsi produksi kotoran per jiwa 300 gram. Produksi gas ini setara dengan 17 kg gas elpiji atau setara nyala kompor 72 jam (1 m^3 gas menyalakan kompor 2 jam). Sangat cukup untuk kebutuhan api memasak dalam sehari.

  Kelima adalah potensi limbah ampas tebu untuk bahan bakar pembangkit listrik, dimana potensi perkebunan tebu di Kabupaten Jombang rata-rata per tahun mencapai 962.481 ton tebu. Satu ton ampas tebu bisa untuk membangkitkan listrik dengan co-generation sebesar 220-240 KWh. Kasus di Pabrik Gula (PG) Kremboong mempunyai potensi listrik dari ampas tebu mencapai 10 MW. Untuk dipakai sendiri 4,5 MW, sehingga sisanya sebesar 5,5 MW bisa dijual ke PLN. Pabrik Gula lainnya berada di sekitar Kabupaten Jombang, yaitu di Kabupaten Mojokerto, Kediri, Sidoarjo Nganjuk dan Tulungagung. Pabrik Gula Tjoekir mempunyai kapasitas menggiling tebu setiap hari sejumlah 4.200 TCD (*Ton Cane per Day*) dan PG Jombang Baru mempunyai kapasitas 2.900 TCD. Bila melihat dari PG Kremboong, diharapkan dua pabrik gula di Jombang ini mampu menyediakan listrik sebesar 10 MW untuk dijual ke PLN. Dengan produksi tebu kabupaten Jombang rata-rata 950. 000 ton/ tahun, maka potensi pasokan listrik mencapai 100.000 MWH.

  Keenam adalah potensi biofuel dari tanaman perkebunan, dimana masih banyak PG yang kekurangan bahan baku tebu, maka tahapan saat ini bioetanol layaknya berbahan baku tetes. Dari tiap ton tebu yang digiling, dihasilkan tetes sekitar 40-45 kg dan sebagian hasilnya masuk ke petani sebagai pemasok tebu. Selain tebu, ubi kayu cukup potensial sebagai bahan baku bioetanol di Kabupaten Jombang. Ubi kayu relatif lebih mudah dibudidayakan pada berbagai jenis lahan pertanian. Lahan-lahan yang selama ini tidak produktif dapat dihidupkan kembali dengan menanam tanaman bioenergi. Produksi ubi kayu di Kabupaten Jombang rata-rata per

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

tahun mencapai 1.387,7 ton. Bila diolah menjadi etanol maka akan diperoleh rata-rata sebesar 2.311.825 Liter/thn.

- Potensi energi air atau mikrohidro

Potensi energi air atau mikrohidro dapat dilihat dari potensi jaringan irigasi, dimana jaringan irigasi di Kabupaten Jombang terdiri dari 2 bagian, yaitu: (i) jaringan irigasi Utara Sungai Brantas; dan (ii) jaringan irigasi Selatan Sungai Brantas. Wilayah irigasi Utara Sungai Brantas dikendalikan oleh dua sungai, yaitu Sungai Marmoyo yang bermata air di Kabuh dan Kali Beng dengan waduk Beng yang berpotensi dimanfatkan tenaga hidronya untuk pembangkit listrik dengan rencana kapasitas Tampung 147 juta m^3. Salah satu kecamatan dengan aliran sungai terbanyak adalah Kecamatan Wonosalam. Sungai-sungai yang bermata air di wilayah Wonosalam dan Bareng diatur di bebarapa DAM untuk mengaliri pertanian di wilayah Bareng, Mojowarno dan Mojoagung. Sungai yang mengalir ditingkatkan daya tampungnya dengan bendung dan DAM yang memungkinkan dimanfaatkan untuk mikrohidro. Berdasarkan hasil survey, terdapat potensi di saluran sekunder DAM Bareng/DAM Biru, terletak di Dusun Bareng, Desa Bareng, Kecamatan Bareng. Saluran ini mempunyai terjunan setinggi 1 m dan debit sebesar 2 m3/dt.

- Potensi energi surya

Program energi diutamakan utuk wilayah terisolir, daerah perbatasan dan keperluan khusus. Program ini sebagai panduan untuk penerapan program listrik tenaga surya. Mengutip Roadmap pemanfatan tenaga surya yang disusun oleh BPPT dengan kriteria perencanaan pembangaun PLTS sebagai berikut.

Pertama adalah wilayah perdesaan, dimana aspek pertama adalah listrik pedesaan dan daerah pesisir, dengan sasaran rumah tangga daerah terpencil, rumah tangga daerah pesisir/perbatasan, sasaran kawasan industri daerah, dan pelayanan medis, dengan sasaran Puskesmas/RS daerah terpencil.

Kedua adalah wilayah perkotaan, dengan sasaran rumah tangga, perkantoran pemerintah/swasta, dan daerah industri.

Ketiga adalah medis, dengan sasaran rumah sakit pemerintah/swasta.

- Potensi Energi Angin

Besarnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah perhitungan potensi energi angin secara matematis. Selain kriteria tersebut, lokasi juga turut menentukan efektifitas tenaga angin. Penggunaan ladang angin sebagai pembangkit listrik membutuhkan luas lahan yang tidak sedikit. Penempatan ladang angin pada lahan yang masih dapat digunakan untuk keperluan yang lain dapat menjadi persoalan tersendiri bagi penduduk setempat. Selain mengganggu pandangan akibat pemasangan barisan pembangkit angin, penggunaan lahan untuk pembangkit angin dapat mengurangi lahan pertanian serta pemukiman. Karena itulah listrik yang berasal dari tenaga angin cocok ditempatkan di daerah pantai, daerah yang memiliki luasan yang lapang, dan panas. Energi terbarukan yang berasal dari tenaga angin kurang cocok untuk Kabupaten Jombang. Hal ini ditunjang dengan keberadaan tenaga angin di Kabupaten Jombang yang kecepatannya termasuk rendah, yaitu rata-rata kurang dari 2 m/s.

- Potensi energi pemanfaatan EBT untuk dusun belum belistrik

Berdasarkan data-data yang dikumpulkan, bahwa Kabupaten Jombang berpotensi untuk pengembangan berbagai jenis EBT, yakni mulai dari potensi pengembangan tenaga surya hingga biomassa. Kecamatan yang berpotensi untuk pengembangan EBT energi surya dan energi biomassa adalah Kecamatan Wonosalam dan Kecamatan Bareng. Pasalnya, Kecamatan Wonosalam dan Kecamatan Bareng kaya akan pertanian padi dan jeraminya dapat dimanfaatkan. Adapun Kecamatan Kabuh dan Plandaan juga potensial dengan pengembangan EBT energi surya, mengingat wilayah utara ini lebih lama mendapat penyinaran matahari dibandingkan wilayah selatan seperti Kecamatan Wonosalam.

b. Kondisi eksisting pemanfaatan energi baru dan terbarukan oleh masyarakat desa di kabupaten jombang

Berdasarkan hasil pemetaan lapang, terdapat 4 (empat) program yang berhasil dilaksanakan oleh masyarakat desa di Kabupaten Jombang dalam rangka pemanfaatan energi baru dan terbarukan, yaitu: (i) Program Swadaya Masyarakat Pemanfaatan Energi Biomassa Melalui Program Kawasan Peternakan Terpadu (Ekonomi Berkelanjutan, Sehat, dan Mandiri Energi); (ii)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Program Swadaya Masyarakat Pemanfaatan Waduk/Embung dan Dam untuk Listrik Hidromikro dan Sarana Irigasi; (iii) Program Swadaya Masyarakat Pemanfaatan TPS 3R untuk Produksi Biogas dan Briket Bahan Bakar; dan (iv) Program Swadaya Masyarakat Pembangunan PLTSa dengan Menggandeng Badan Usaha.

Berdasarkan hasil pengamatan lapang, keempat program tersebut selalu dicirikan oleh 2 orientasi kegiatan, yaitu: (i) kegiatan dalam setiap program selalu dilakukan dalam rangka untuk kelangsungan siklus kehidupan masyarakat desa; dan (ii) kegiatan dalam setiap program selalu dilakukan dalam rangka bagi kepentingan ekonomi desa karena pemanfaatan energi baru dan terbarukan yang dihasilkan bernilai ekonomi cukup tinggi. Pemanfaatan bagi kelangsungan siklus kehidupan masyarakat desa adalah kegiatan atau aktivitas yang bertujuan untuk menyediakan kebutuhan energi masyarakat lokal agar tidak tergantung pada produsen eksternal (di luar desa), sehingga kebutuhan energi dapat dipenuhi secara efisien dan efektif. Sementara pemanfaatan bagi kepentingan ekonomi adalah aktivitas atau kegiatan pemanfaatan energi baru dan terbarukan yang bisa dijual sehingga bisa sebagai sumber penghasilan bagi masyarakat desa.

Dari keempat program pemanfaatan energi baru dan terbarukan di Kabupaten Jombang, dalam aktivitas kegiatannya selalu dicirikan dengan beberapa upaya yang bersifat memberdayakan, diantaranya:

- Energi baru dan terbarukan yang dihasilkan selalu melalui proses pencarian, pemrosesan dan pemanfaatan yang berorientasi untuk menciptakan dan menjaga lapangan pekerjaan bagi perekonomian lokal.
- Mayoritas masyarakat memanfaatkan limbah, maka orientasinya dilakukan dalam rangka memperkuat industri alternatif yang mampu menciptakan pasar lokal dan meningkatkan sumberdaya alam, bersama menciptakan perekonomian lokal yang lebih baik.
- Berorientasi dalam menjaga kontinuitas pasokan energi yang ramah lingkungan dan mendukung pembangunan yang berkelanjutan.
- Berorientasi pada aksi yang mencakup pengembangan dan pembangunan kemitraan strategis terutama dalam penerapan permodalan, teknologi, dan pemasaran.
- Berusaha menciptakan teknologi inovasi yang berbasis kearifan lokal melalui kegiatan penelitian, pengembangan, teknik, dan operasi.

Beberapa kegiatan yang bersifat memberdayakan di atas dicontohkan melalui beragam aktivitas masyarakat. Sebagai contoh, pada Program Swadaya Masyarakat Pemanfaatan Energi Biomassa Melalui Program Kawasan Peternakan Terpadu (Ekonomi Berkelanjutan, Sehat, dan Mandiri Energi), dimana masyarakat telah memanfaatkannya bagi kepentingan sistem industri energi, untuk menjaga kontinuitas pasokan energi yang ramah lingkungan dan mendukung pembangunan desa yang berkelanjutan. Contoh lainnya adalah pada kasus di Kecamatan Mojowarno, yaitu adanya keberlimpahan hasil ternak dan pertanian yang telah menyadarkan masyarakat pentingnya aktivitas pemanfaatan limbah dari hasil peternakan dan pertanian bagi keberlangsungan kehidupan masyarakat yang lebih baik. Upaya ini dilakukan melalui aktivitas swadaya, yakni mengumpulkan dana, ide, dan pemikiran dari masyarakat setempat untuk diakomodir dan kemudian dibuatkan sebuah kelembagaan swadaya masyarakat.

Contoh lainnya yang ditemui pada saat penelitian lapang adalah seperti Program Swadaya Masyarakat Pemanfaatan TPS 3R untuk Produksi Biogas dan Briket Bahan Bakar, dimana kegiatannya mencakup 7 aspek, yaitu: (i) masyarakat telah membentuk kelompok swadaya yang bertugas melaksanakan identifikasi, pemetaan, pengendalian dan bimbingan terhadap potensi energi biogas; (ii) melakukan rehabilitasi kawasan konservasi melalui pelibatan masyarakat; (iii) pelaksanaan pembinaan peningkatan usaha tani, pembudidayaan, pengendalian lingkungan dan prasarana di bidang peternakan; (iv) pelaksanaan identifikasi, koordinasi, pembinaan dan pengembangan bibit ternak; (v) pelaksanaan bimbingan kelembagaan usaha tani, manajemen usaha tani dan pencapaian pola kerjasama usaha tani; (vi) pengembangan penerapan teknologi panen, pasca panen dan pengolahan hasil peternakan; dan (vii) penyusunan perbanyakan dan penyebaran metode penyuluhan dan materi penyuluhan baik dalam bentuk cetak maupun alat elektronik.

Sementara pada Program Pemanfaatan Waduk/Embung dan Dam untuk Listrik

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Hidromikro dan Sarana Irigasi, terdapat 3 kegiatan, yaitu: (i) masyarakat telah membentuk kelompok swadaya yang bertugas melaksanakan identifikasi, pemetaan, pengendalian dan bimbingan terhadap potensi energi hidromikro; (ii) kelompok swadaya masyarakat telah mempunyai program peningkatan kualitas pengelolaan operasional dan pemeliharaan jaringan irigasi serta melaksanakan normalisasi jaringan irigasi guna mencukupi ketersediaan air irigasi; dan (iii) meningkatkan peran serta masyarakat dalam pengelolaan jaringan irigasi, pemanfaatan asset irigasi serta pengawasan dan pengendalian jaringan irigasi. Beberapa kegiatan tersebut mengindikasikan bahwa pemanfaatan energi baru dan terbarukan oleh masyarakat desa di Kabupaten Jombang sangat melekat dengan ciri-ciri aktivitas pemberdayaan, seperti menekankan swadaya, partisipatif, kolaboratif, dan kemandirian.

c. Implikasi pemanfaatan energi baru dan terbarukan terhadap kemandirian dan kesejahateraan masyarakat desa

Kegiatan pemanfaatan energi baru dan terbarukan oleh masyarakat desa di Kabupaten Jombang mencerminkan bahwa masyarakat telah mampu menciptakan beberapa aktivitas yang berciri memberdayakan, diantaranya adalah swadaya, partisipatif, kolaboratif, dan kemandirian. Hal ini menandakan bahwa pemanfaatan energi baru dan terbarukan selain bermanfaat pada kelestarian lingkungan juga mampu meningkatkan peran aktif masyarakat dalam pelaksanaan pembangunan desa. Kesuksesan ini diukur berdasarkan tingkat kesejahteraan dan berdasarkan persepsi dari masyarakat selaku objek sasaran. Dampak program pemanfaatan energi baru dan terbarukan oleh masyarakat desa di Kabupaten Jombang terhadap pemberdayaan dibedakan menjadi 2 indikator, yaitu: (i) dampak terhadap tingkat pendapatan; dan (ii) dampak terhadap kemampuan penyusunan perencanaan pembangunan desa. Kedua indikasi ini merupakan esensi dari suatu masyarakat yang dapat dikatakan berdaya.

- Dampak program pemanfaatan energi baru dan terbarukan terhadap tingkat pendapatan rumah tangga

Salah satu indikasi dampak program pemanfaatan energi baru dan terbarukan adalah terjadinya kenaikan tingkat kesejahteraan, yang diindikasikan dengan peningkatan pendapatan masyarakat desa. Peningkatan pendapatan ini diukur dari prosentase perubahan pendapatan sebelum dan sesudah adanya program pemanfaatan energi baru dan terbarukan.

Berdasarkan hasil analisis cluster, program pemanfaatan energi baru dan terbarukan lebih berdampak pada rumah tangga golongan rendah (menengah ke bawah), yaitu sebesar 34 persen. Artinya, dengan adanya program pemanfaatan energi baru dan terbarukan, rumah tangga golongan rendah mendapatkan tambahan pendapatan sebesar 34 persen dari jumlah pendapatan sebelum adanya program pemanfaatan energi baru dan terbarukan. Posisi kedua adalah golongan menengah yang mendapatkan sebesar 20 persen. Sedangkan rumah tangga golongan atas mendapatkan benefit hanya sebesar 19 persen. Hal ini dikarenakan masyaraat golongan menengah ke atas biasanya merupakan rumah tangga yang sudah memiliki aktivitas ekonomi yang sudah baik dan tidak terlalu terlibat dalam kegiatan program energi baru dan terbarukan. Temuan ini menandakan bahwa program energi baru dan terbarukan di desa Kabupaten Jombang selain berimplikasi bagi kelestarian lingkungan juga mampu menggerakkan aktivitas rumah tangga miskin.

Tabel 2
Dampak Program Terhadap Tingkat Pendapatan Rumah Tangga Masyarakat Sasaran di Kabupaten Jombang

Item	Kelompok I: Rumah Tangga Bawah	Kelompok II: Rumah Tangga Menengah	Kelompok III: Rumah Tangga Atas	Rata-Rata
Pendapatan (Rp)	565.889	2.728.000	6.666.667	3.337.852
Tambahan Pendapatan (Rp)	523.333	718.000	1.429.523	828.222
Perubahan Pendapatan (%)	34%	20%	19%	24,3%

Sumber: Hasil Analisis, 2017

- Dampak program pemanfaatan energi baru dan terbarukan terhadap kemampuanpenyusunan perencanaan pembangunan desa

Tabel 02 menyajikan hasil analisa mengenai dampak program pemanfaatan energi baru dan terbarukan terhadap kemampuan penyusunan perencanaan pembangunan desa. Apabila skor mendekati tiga, maka dapat dikatakan masyarakat telah mampu melaksanakan penyusunan perencanaan pembangunan desa, begitu sebaliknya. Rumah tangga golongan bawah (menengah ke bawah) secara umum sudah dapat memahami program pemanfaatan energi baru dan terbarukan dengan baik, yaitu ditunjukkan dengan nilai 2.56. Begitu juga dengan rumah tangga golongan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

menengah ke atas yang memahami program dengan cukup baik, yakni ditunjukan dengan nilai di atas rata-rata yaitu sebesar 2,63. Tetapi rumah tangga golongan menengah masih kurang memahami program program pemanfaatan energi baru dan terbarukan dengan baik, yaitu dengan nilai 2.48 atau dibawah rata-rata.

Tabel 3
Dampak Program Terhadap Kemampuan Penyusunan Perencanaan Pembangunan

Item	Kelompok I: Rumah Tangga Bawah	Kelompok II: Rumah Tangga Menengah	Kelompok III: Rumah Tangga Atas	Rata-Rata
Sosialisasi	2.58	2.48	2.63	2.56
Tingkat Partisipasi	2.58	2.60	2.63	2.60

Sumber: Hasil Analisa, 2019

Tingkat partisipasi rumah tangga golongan bawah masih rendah, yaitu dengan nilai 2.58 dimana nilai tersebut kurang dari rata-rata. Sedangkan rumah tangga golongan menengah dan menengah ke atas tingkat partisipasinya cenderung lebih tinggi, yaitu masing-masing 2.60 dan 2.63. Kedua item indikasi sosialisasi dan tingkat partisipasi memperlihatkan bahwa program pemanfaatan energi baru dan terbarukan sudah dikatakan baik dalam aspek sosialisasi sehingga berdampak pada kemampuan masyarakat desa dalam menyusun perencanaan pembangunan, namun masih sangat kurang dalam menumbuhkan/melibatkan partisipasi masyarakat miskin, termasuk golongan perempuan.

d. Model energi baru dan terbarukan dalam konteks pemberdayaan

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 01 dan Tabel 02, maka dapat dipastikan bahwa pelaksanaan program energi baru dan terbarukan di Kabupaten Jombang terbukti mampu berimplikasi pada aktivitas yang dapat memberdayakan masyarakat. Berdasarkan hasil pengamatan, peran program energi baru dan terbarukan bagi perekonomian masyarakat desa di Kabupaten Jombang dapat dibagi menjadi 4 fungsi, yaitu:

- Pertama adalah berperan sebagai media untuk memacu kesadaran masyarakat desa, khususnya bagi pelestarian lingkungan dan peningkatan perekonomian lokal. Hal ini dapat terjadi karena pelaksanaan program dapat membangun kesadaran warga yang turut aktif dan berhasil mengangkat pendapatan rumah tangga.
- Kedua, program energi baru dan terbarukan mampu menciptakan kesejahteraan sosial (*social welfare*), yakni terbangun atas fasilitas pelatihan dan pembinaan (*educational roles*). Hal ini menjadi penting karena ada unsur pemberdayaan kepada masyarakat melalui pelatihan sehingga dapat meningkatkan kapasitas warga desa.
- Ketiga, kelembagaan swadaya masyarakat telah mampu berperan sebagai mediator dan fasilitator (*mediatior & group facilitation*). Peran ini menjadi krusial ketika lembaga yang dibangun mampu menciptakan masyarakat desa menjadi lebih produktif. Produktivitas masyarakat terbantu dengan sistem kemitraan yang dibangun dengan pihak swasta.
- Keempat, kelembagaan swadaya masyarakat dalam program energi baru dan terbarukan telah meningkatkan pendapatan masyarakat (*increasing income*). Hal ini terjadi ketika program yang dibangun mampu menyediakan kesempatan (*opportunity*) bagi masyarakat desa untuk masuk dalam sistem bisnis berbasis sumberdaya alam.

Temuan di atas dapat memperkaya kontribusi terhadap literatur, khususnya antara kondisi eksisting energi baru dan terbarukan di Kabupaten Jombang sebagai program pelestarian lingkungan dengan keberhasilan model pemberdayaan masyarakat pedesaan. Artinya, program yang berorientasi pada pelestarian alam dan ekosistem lokal ternyata telah mampu meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui mekanisme pemberdayaan, yakni mekanisme yang mampu menciptakan aspek swadaya, kolaboratif, dan partisipatif. Hasil ini memperkaya penelitian dari Dass, Gill& Kunasekaran (2014), bahwa kegiatan pemberdayaan biasanya memang selalu dicirikan pada keberhasilan masyarakat dalam mensinergikan antara potensi alam dan implikasinya bagi peningkatan tingkat pendapatan dan penyerapan tenaga kerja lokal. Desiana& Aprianingsih (2007) menyampaikan bahwa pemberdayaan berbasis sumberdaya lokal rata-rata terbukti sebagai bagian paling efektif untuk meningkatkan pemerataan pendapatan masyarakat desa.

Penelitian sejenis juga pernah dilakukan oleh Thamrin& Hadi (2014) dan didukung oleh Herawati et al (2014), bahwa pengelolaan sumberdaya alam terbarukan, hampir pasti selalu terbukti mampu menopang perekonomian masyarakat lokal sekaligus menciptakan ekosistem yang berkelanjutan, sehingga mampu menciptakan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

model pembangunan yang inklusif. Menurut Hernanda, Mindarti& Riyanto (2018), upaya energi baru dan terbarukan sudah menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam konsep pembangunan berkelanjutan, dan menjdi daya dorong bagi kemandirian masyarakat.

Penelitian mengenai pemberdayaan berbasis pemanfaatan sumber daya juga pernah dilakukan oleh Garjita, Susilowati& Retnaningsih (2014), yang menemukan bahwa aktivitas yang berusaha mengoptimalkan potensi alam melalui kegiatan pemberdayaan ternyata mampu meningkatkan partisipasi masyarakat lokal yang diimbangi dengan keberhasilan menjaga keberlangsungan ekonomi, ekologi, dan sosial budaya. Menurut Kasmel& Andersen (2011), beberapa sifat tersebut mampu menciptakan proses yang memungkinkan sebuah masyarakat mempunyai akses kepada sumber daya, mampu mengontrol sumber daya dan struktur kekuasaan di masyarakat. Laverack (2006) menyatakan bahwa kontrol kekuasaan dan politik lokal merupakan salah satu prasyarat dalam mewujudkan kemandirian dan keberdayaan.

Berdasarkan pemaparan di atas, maka kontribusi penting dalam penelitian ini dapat dibedakan menjadi dua, yaitu kontribusi teoritis dan kontribusinya bagi kepentingan *best practice*. Kontribusi teoritis adalah kaitannya dengan penguatan konsep pemberdayaan melalui proses pembelajaran dengan mekanisme pemanfaatan potensi alam yang bersifat terbaharukan. Sementara bagi kepentingan *best practice*, adalah dalam mengimplementasikan pemberian kewenangan pembangunan pada tingkat desa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa pembahasan, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil pemetaan lapang, ditemukan 5 jenis energi baru dan terbarukan di Kabupaten Jombang yang tersebar di beberapa kecamatan, yaitu: 1) energi biomassa; 2) energi air atau mikrohidro; (iii) energi surya; 3) energi angin; dan 4) energi pemanfaatan Ebt untuk dusun belum belistrik. Khusus untuk energi biomassa, dibagi kembali menjadi 6 jenis, yaitu: 1) potensi biomassa jerami dan sekam padi; 2) potensi biomassa kotoran ternak, khususnya sapi; 3) potensi biomassa sampah rumah tangga; 4) potensi limbah tinja manusia untuk biogas; 5) potensi limbah ampas tebu untuk bahan bakar pembangkit listrik; dan 6) potensi biofuel dari tanaman perkebunan.
- Berdasarkan hasil pemetaan lapang, terdapat 4 program yang berhasil dilaksanakan oleh masyarakat desa di Kabupaten Jombang dalam rangka pemanfaatan energi baru dan terbarukan, yaitu: 1) Program Swadaya Masyarakat Pemanfaatan Energi Biomassa Melalui Program Kawasan Peternakan Terpadu (Ekonomi Berkelanjutan, Sehat, dan Mandiri Energi); 2) Program Swadaya Masyarakat Pemanfaatan Waduk/Embung dan Dam untuk Listrik Hidromikro dan Sarana Irigasi; 3) Program Swadaya Masyarakat Pemanfaatan TPS 3R untuk Produksi Biogas dan Briket Bahan Bakar; dan 4) Program Swadaya Masyarakat Pembangunan PLTSa dengan Menggandeng Badan Usaha. Keempat program tersebut selalu dicirikan oleh 2 orientasi kegiatan, yaitu: 1) kegiatan dalam setiap program selalu dilakukan dalam rangka untuk kelangsungan siklus kehidupan masyarakat desa; dan 2) kegiatan dalam setiap program selalu dilakukan dalam rangka bagi kepentingan ekonomi.
- Kegiatan pemanfaatan energi baru dan terbarukan oleh masyarakat desa di Kabupaten Jombang telah berimplikasi pada 2 aktivitas yang dapat memberdayakan, yaitu: 1) dapat meningkatkan tingkat pendapatan rumah tangga, khususnya bagi masyarakat miskin; dan 2) telah mampu berkontribusi bagi penyusunan perencanaan pembangunan desa. Kedua implikasi ini menandakan bahwa program yang berorientasi pada pelestarian alam dan ekosistem lokal ternyata telah mampu meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui mekanisme yang berhasil menciptakan aspek swadaya, kolaboratif, dan partisipatif.

DAFTAR PUSTAKA

Baumgartner. S., Quaas, M. (2010). What is sustainability economics?. Ecological *Economics*, Vol. 69, pp. 445-450.

Cahyaningrum, D. (2017). Community empowerment bsed locl wisdom in toursim of bajo community, wakatobi. *International Journal of Scientific& Technology Research*, Vol. 6, No. 11, pp. 196-201.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Constantino, P.A., Carlos, H.S.A., Ramalho, E.E., Rostant, L., Marinelli, A.E., Teles, D., Junior, S.F.F., Fernandes, R.B.,& Valsecchi, J. 2012. Empowering local people through community-based resource monitoring: a comparison of brazil and namibia. *Ecology and Society*, Vol. 17, No. 4, pp. 1-14.

Dass, M., Gill, S.,& Kunasekaran, P. 2019. Community empowerment through the mykasih entrepreneurship program towards urban poverty lleviation in kuala lumpur, malaysia. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, Vol. 7, No. 5, pp. 472-475.

Desiana, N.,& Aprianingsih, A. (2017). Improving income through farmers' group empowerment strategy.*The Asian Journal of Technology Mangement*, Vol. 10, No. 01, pp. 41-47.

Eyben, R., Kabeer, N., Cornwall, A. (2008). *Conceptualising Empowerment and the Implications for Pro Poor Growth*. Institute of Development Studies.

Garjita, I Putu; Susilowai, Indah& Soeprobowati, Tri Retnaningsih. 2014. Strategi pemberdayaan masyarakat kelompok tani hutan ngudi makmur di sekitar kawasan taman nasional gunung merapi. *Jurnal EKOSAINS*, Vol. VI, No. 1, pp. 47-61.

Gonzalez, A.M., Sandoval, H., Acosta, P.,& Henao, F. (2016). On the acceptance and sustainability of renewable energy projects-a systems thinking perspective. Sustainability, Vol. 8, No. 1171, pp. 01-21.

Hadiyanti, P. (2006). *Kemiskinan & Upaya Pemberdayaan Masyarakat.* Komunitas, Jurnal Pengembangan Masyarakat Islam. Vol. 2. No. 1.

Herawati, A., Purwaningsih, A., Pudianti, A.,& Surya, R.V. (2014). Rural tourism community empowerment based on locl resources for improving community welfare: case on pentingsari village, yogyakarta Indonesia. *Integrative Business& Economics*, Vol. 3, No. 2, pp. 88-101.

Hernanda, D.W., Mindarti, L.I.,& Riyanto. (2018). Community empowerment based on good tourism governance in the development of tourism destination (case study of kawah ijen tourism buffer zone kampung kopi gombengsari village, kalipuro district, banyuwangi regency). *Journal of Indonesian Toursim and Development Studies*, Vol. 6, No. 02, pp. 126-135.

Ibad, S. (2017). Kearifan lokal pemberdayaan masyarakat dalam pengelolaan dan pembangunan sumberdaya perikanan yang berkelanjutan (studi kabupaten situbondo), *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, Vol.8, No. 1, pp. 24-31.

Kasmel, A.,& Andersen, P.T. (2011). Measurement of community empowerment in three community programs in rapla (estonia). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 8, pp. 799-817.

Kuongqui, C. (2006). "Is Human Development a New Paradigm for Development? Capabilities Approach, Neolibralism and Padigm Shifts". Paper disampaikan pada Konferensi Internasional Freedom and Justice. *Human Develompment and Capability Association (HDCA)*, Agustus 2006, Groningen, Netherlands.

Laverack, G. 2006. Improving health outcomes through community empowerment: a review of the literature. *Centre for Health and Population Research*, Vol. 24, No. 1, pp. 113-120.

Nugroho, S.S.,& Setyowati, N.D. (2014). Model pengembangan desa konservasi berbasis pendayagunaan potensi lokal kawasan lindung lereng gunung wilis kabupaten madiun jawa timur. *Sosial*, Vol. 15, No.2, pp. 54-62.

Roseland, M. (2000). Sustainable community development: integrating environmental, economic, and social objectives. *Progress in Planning*, Vol. 54, pp. 73-132.

Santosa, I. (2014). Strategic management of rural community empowerment: based ocal resources. *International Integration for Regional Public Management*, pp. 194-199.

Thiam, D.R. (2011). Renewable energy, poverty alleviation and developing nations: evidence from senegal. *Journal of Energy in Southern Africa*, Vol. 22, No. 3, pp. 23-34.

Zubaedi. (2007). *Wacana Pembangunan Alternatif, Ragam Perspektif Pengembangan dan Pemberdayaan Masyarakat*. Ar-Ruz Media: Jogjakarta.

Pratiwi, D., & Warnaningtyas, H. (2017). Analisis Strategi Pembangunan Wilayah Kabupaten

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Madiun Melalui Sektor Unggulan. *Jurnal Ekomaks, 4*(2).

Saputro, D. R. P., & Soebagyo, D. (2017). *Analisis Potensi Ekonomi Kabupaten Dan Kota Diprovinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.* Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Silvia, E. D., Wardi, Y., & Aimon, H. (2013). Analisis Pertumbuhan Ekonomi, Investasi, dan Inflasi di Indonesia. *Jurnal Kajian Ekonomi, 1*(2).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

OPTIMASI SISTEM CERDAS PADA PENGERING TANAMAN OBAT BERBASIS INTERNET OF THING DENGAN MEMANFAATKAN SUMBER ENERGI TERBARUKAN

Heriansyah[1], Swadexi Istiqphara[2], Nur Adliani[3]

[1,2]Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera Lampung, Indonesia
[2]Program Studi Farmasi, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia
[1]heri@itera.ac.id
[1]swadexi.istiqphara@el.itera.ac.id
[3]nur.adliani@fa.itera.ac.id

Intisari - **Penelitian ini membahas tentang optimasi sistem cerdas yang akan diterapkan pada sistem pengering tanaman obat berbasis *internet of thing* dan memanfaatkan sumber energi terbarukan. Pemilihan metode sistem kendali menjadi sangat penting karena sumber daya yang akan digunakan pada sistem pengering ini adalah energi terbarukan yang memiliki batasan waktu. Pada sistem pengering ini juga digunakan *Internet of thing* untuk memantau dan mengatur suhu ruangan kabinet. Untuk mendapatkan performa sistem yang optimal, maka diusulkan metode Smart Fuzzy sebagai sistem kendali cerdas untuk mengendalikan suhu ruangan kabinet agar mencapai target yang diinginkan pengguna. Pengujian metode sistem kendali dilakukan dengan menggunakan simulasi pada perangkat lunak komputer. Metode Smart Fuzzy yang diusulkan akan dibandingkan dengan metode PID untuk membuktikan efektifitas dari metode yang diusulkan. Metode Smart Fuzzy merupakan metode kendali yang menggunakan logika Fuzzy untuk mengambil keputusan besar kecilnya sinyal masukan sebuah sistem. Metode ini menggunakan basis aturan yang diperoleh dari pengetahuan manusia. Hasil simulasi komputer yang diperoleh menunjukan metode Smart Fuzzy memiliki performa lebih baik dibandingkan metode PID. Hal ini terlihat dari osilasi pada luaran dengan menggunakan metode Smart Fuzzy lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan metode PID**.
Kata kunci: Smart Fuzzy, basis aturan, logika, tanaman obat, temperatur ruang

Abstract - **This research discusses the optimization of an intelligent system that will be applied to the drying system of medicinal plants based on the internet of things and utilizing renewable energy sources. The control system method is becoming very important, given that the resources to be used in this drying system are renewable energy with a time limit. This drying system also uses the Internet of things to monitor and regulate the temperature of the cabinet room. In order to achieve optimal system performance, an intelligent control system method is proposed to control the temperature of the cabinet room in order to achieve the desired target of the user by using the Smart Fuzzy method. The control system method will be tested on a computer using software simulations. The proposed Smart Fuzzy method will be compared with the PID method to demonstrate the effectiveness of the proposed method. Smart Fuzzy is a control method that uses Fuzzy logic to make decisions about the size of the input signal system. This method uses a rule-based approach derived from human knowledge. The results obtained from the software simulation show that the Smart Fuzzy method has better performance than the PID method. From the output oscillation, it can be seen that using the Smart Fuzzy method is smaller than using the PID method.**
Keywords: Smart Fuzzy, rule base, logic, medicinal plants, room temperature

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

I. PENDAHULUAN

Kesadaran masyarakat akan pentingnya obat herbal saat ini semakin meningkat sehingga menjadi gaya hidup yang sangat diminati. Gaya hidup ini membawa masyarakat kembali memanfaatkan bahan alam, termasuk pengobatan dengan tanaman berkhasiat obat [1]. Kesadaran ini dipicu oleh pemahaman masyarakat tentang efek samping positif yang diberikan oleh obat herbal dibandingkan dengan obat modern yang memiliki banyak efek samping negatif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kurang lebih 50% penduduk Indonesia mengkonsumsi jamu sebagai alternatif obat modern maupun suplemen dalam menjaga kesehatan tubuh. Dari hasil tersebut, 55,3% penduduk indonesia mengkonsumsi jamu dalam bentuk cairan dan sisanya mengkonsumsi jamu dalam bentuk serbuk [2]. Peningkatan jumlah penduduk yang sadar akan pentingnya obat herbal telah mendukung pertumbuhan industri obat herbal dalam meningkatkan kualitas obat yang mereka hasilkan.

Teknik penanganan pascapanen yang kurang tepat menimbulkan permasalahan dalam menghasilkan simplisia yang berkualitas. Teknik penangan pascapanen sendiri terdiri dari proses sortasi, pencucian, penirisan, perajangan, pengeringan, dan pengolahan menjadi berbagai macam produk farmasi yang sesuai dengan standar Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM). Salah satu teknik pasca panen yang sangat penting dalam menghasilkan simplisia yang baik adalah teknik pengeringan.

Sistem pengeringan alami yang ada saat ini membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mengurangi kadar air dalam tanaman obat karena hanya mengandalkan sinar matahari langsung dalam proses pengeringan. Pergantian siang dan malam serta cuaca yang berubah-ubah sepanjang tahun menjadi kendala dalam sistem pengeringan tradisional. Pada musim hujan, kadar air yang ada di dalam tanaman obat dapat meningkat sehingga tanaman tersebut berpotensi menjadi media tumbuh jamur, di samping itu proses pengeringan yang dilakukan di ruang terbuka di mana tanaman obat terpapar sinar matahari langsung dapat menyebabkan tanaman obat tersebut terlalu kering sehingga menghasilkan produk berkualitas rendah.

Pada penelitian sebelumnya, kami telah merancang sistem pengering tanaman obat berbasis mikrokontroler dengan menggunakan metode kontrol PID dalam mengatur suhu ruangan yang diinginkan [3]. Berdasarkan hasil uji yang dilakukan, suhu ruangan yang dihasilkan belum optimal sehingga penggunaan daya cadangan yang dihasilkan oleh solar panel menjadi lebih boros. Penggunaan solar panel dimaksudkan untuk mengaktifkan elemen pemanas atau *exhaust fan* yang sudah kita pasang pada alat pengering. Jika suhu yang dihasilkan oleh alat pengering lebih kecil dari ambang batas yang telah ditetapkan, maka solar panel berfungsi untuk mengaktifkan elemen pemanas sedangkan *exhaust fan* diaktifkan ketika suhu lebih besar dari nilai ambang batas.

Kurang optimalnya pengendalian suhu ruangan kabinet mendorong kami untuk mencari metode kontrol lain yang lebih optimal dengan memanfaatkan simulasi komputer. Dengan simulasi tersebut kita dapat melakukan simulasi terkait metode kontrol lain yang lebih optimal dalam mengendalikan suhu di dalam ruang kabinet.

Metode kontrol yang akan disimulasikan dalam penelitian ini adalah metode Smart Fuzzy. Hasil simulasi ini selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan metode kontrol PID. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat disimpulkan jenis metode kontrol apa yang lebih cocok untuk diterapkan pada alat pengering tanaman obat yang telah dirancang sebelumnya.

II. PENELITIAN TERKAIT

Penelitian terkait sistem kendali suhu ruang sudah banyak dilakukan sebelumnya. Penulis [4] membahas tentang perancangan dan simulasi sistem kendali temperatur ruang otomatis pada menggunakan mikrokontroler untuk mengendalikan suhu ruang dengan menyalakan pemanas atau *fan* untuk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mendinginkan. Selanjutnya penelitian [5] juga membahas terkait pengendalian suhu ruang dengan menggunakan metode PID *disturbance observer*. Pada metode ini *disturbance observer* digunakan untuk mengestimasi gangguan suhu dari luar yang mempengaruhi suhu ruang tersebut. Pengujian dilakukan dengan membandingkan metode PID dan metode PID-DOB. Hasil yang diperoleh menunjukan metode PID-DOB memberikan hasil yang lebih baik dalam mengendalikan suhu ruang meskipun terdapat gangguan dari suhu luar ruangan. Penulis [6] melakukan penelitian untuk menjaga suhu dan kelembaban ruang *server* dengan menggunakan metode Fuzzy Logic berbasis mikrokontroler. Hasil yang diperoleh metode Fuzzy Logic mampu mengendalikan suhu ruang *server* dengan baik. Fuzzy Logic juga diterapakan pada pengendalian suhu ruang [7]. Metode Fuzzy Logic ini dibandingkan dengan menggunakan PID dan hasil yang diperoleh menunjukan metode Fuzzy Logic lebih baik daripada PID. Beberapa penelitian juga menunjukan metode Fuzzy Logic efektif mengendalikan suhu, termasuk pada suhu reaktor [8]. Metode Fuzzy juga banyak digunakan untuk proses pengendalian suhu, termasuk pada pemanas air [9]. Metode Fuzzy selain digunakan sebagai pengendali utama, dapat juga digunakan untuk meningkatkan performa kendali PID yang dikombinasikan dengan Genetic Algorithm untuk mengendalikan temperatur pada *stired tank* seperti yang dilakukan pada [10].

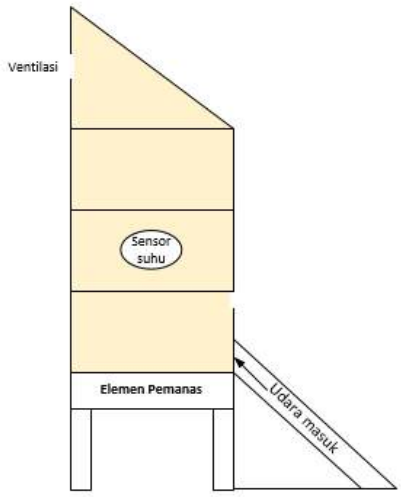
III. MODEL MATEMATIKA

Pada penelitian sebelumnya telah dirancang sistem kabinet pengering yang terdiri dari pengumpul panas dan pembuang panas. Adapun pengumpul panas diperoleh dari elemen pemanas dan matahari. Kabinet pengering ini berukuran lebar 50 cm, panjang 60 cm dan tinggi keseluruhan 120cm seperti yang ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Kabinet pengering dan solar panel

Elemen pemanas terletak dibagian bawah dan sensor suhu berada pada rak bagian tengah. Sistem ini memiliki 3 rak dengan tinggi masing-masing 20 cm. Pada bagian bawah pengumpul panas, terdapat ventilasi yang berfungsi sebagai tempat masuk udara dari bawah. Kontroler dan komponen lainnya tepat berada dibagian bawah kabinet.



Gambar 2. Desain kabinet pengering

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan untuk memodelkan sistem ke persamaan matematika agar dapat digunakan sebagai plant pada perancangan sistem kendali di simulasi komputer. Adapun pemodelan matematika dari sistem yang digambarkan pada gambar 2 adalah seperti yang dinyatakan pada persamaan berikut:

$$Q_{gain} = m_{pemanas}\, C_{udara}(T_{pemanas}\text{-}T_{cab}) \quad (1)$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

kecepatan transfer energi panas dari elemen pemanas dinyatakan dengan

$$d\frac{Q_{\text{gain}}}{\text{dt}} = \text{d}\frac{m_{\text{pemanas}}}{\text{dt}} C_{\text{udara}}(T_{\text{pemanas}}\text{-T}_{\text{cab}}) \quad (2)$$

sedangkan untuk energi panas yang terbuang akibat keluar melalui ventilasi dinyatakan dengan

$$Q_{\text{hilang}} = \frac{\text{kA}(T_{\text{ruang}}\text{-T}_{\text{luar}})}{D} t \quad (3)$$

kecepatan transfer energi panas yang hilang terbuang dinyatakan dengan

$$d\frac{Q_{\text{hilang}}}{\text{dt}} = \text{kA}\frac{(T_{\text{ruang}}\text{-T}_{\text{luar}})}{D} \quad (4)$$

dari persamaan 1-4 maka persamaan perubahan suhu ruang kabinet dinyatakan dengan

$$d\frac{T_{\text{ruang}}}{\text{dt}} = \frac{1}{m_{\text{ruang}} c_{\text{udara}}}(d\frac{Q_{\text{gain}}}{\text{dt}} \text{-d}\frac{Q_{\text{hilang}}}{\text{dt}}) \quad (5)$$

di mana:
Q = energi yang berpindah (joule)
A = luas ruangan bagian dalam (meter)
k = konduktivitas termal (joule/meter·jam·derajat)
m = massa udara (kg)
T = suhu (derajat)
C = Kapasitas Panas (joule/kilogram derajat)

Metode sistem kendali yang diusulkan pada penelitian ini adalah metode kendali Smart Fuzzy, metode Smart Fuzzy menggunakan pengetahuan ahli (*knowledge expert*) sebagai basis aturan. Sehingga metode fuzzy dapat bekerja untuk mengendalikan sistem secara otomatis seperti cara manusia berpikir.

Metode kendali Smart Fuzzy menggunakan kendali Proporsional dan Derivative untuk mengolah sinyal error antara target dengan suhu aktual yang didefinisikan sebagai berikut:

$e = sp\text{-}av$

di mana:
sp = setpoint atau target
av = aktual value
untuk formulasi PID yang akan digunakan adalah

$$PID = K_p e + K_d \frac{de}{dt} + K_i \int e \quad dt \quad (6)$$

dimana:
Kp : Kontroler *proportional*
Kd : Kontroler *integral*
Ki : Kontroler *derivative*

Kemudian sinyal proporsional error dan delta error akan di Fuzzifikasi yaitu merubah sinyal error dan sinyal delta error menjadi keanggotaan fuzzy input, keanggotaan fuzzy dari error dan delta error kemudian diolah oleh inferensi fuzzy, inferensi Fuzzy merupakan proses pengambilan keputusan berdasarkan basis aturan (*rule base*) yang didefinisikan pada tabel 1.

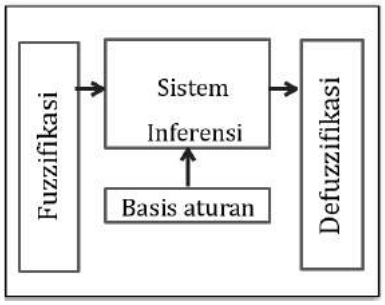
Tabel 1. Basis aturan pada Smart Fuzzy

e\de	**PB**	**PS**	**Z**	**NS**	**NB**
PB	NB	NB	NS	NS	Z
PS	NB	NS	NS	Z	PS
Z	NS	NS	Z	PS	PS
NS	NS	Z	PS	PS	PB
NB	Z	PS	PS	PB	PB

di mana:
PB : Positif *Big*
PS : Positif *Small*
Z : *Zero*
NS : Negatif *Small*
NB : Negatif *Big*

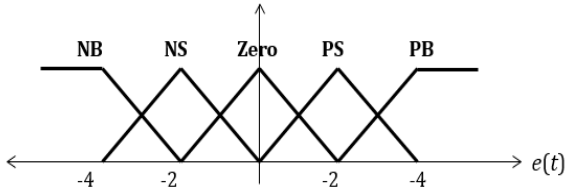
Proses pengambilan keputusan pada inferensi *rule* akan memberikan luaran berupa keanggotaan fuzzy output yang akan diumpankan ke bagian defuzzifikasi. Pada bagian defuzzifikasi, nilai-nilai keanggotaan Fuzzy Output sebagai hasil luaran inferensi *rule* akan diubah ke nilai sinyal kontrol yang akan diinputkan ke sistem tanaman obat. Adapun blok diagram dari proses Fuzzy dinyatakan pada blok diagram berikut ini:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

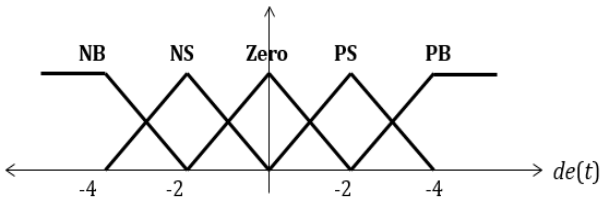


Gambar 3. Blok diagram sistem Fuzzy

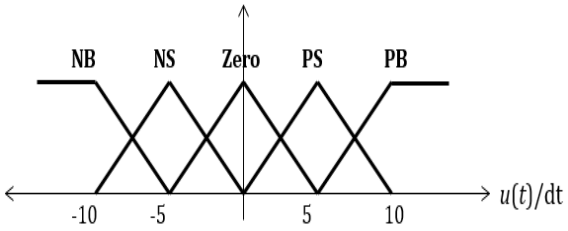
Adapun fungsi keanggotaan Fuzzy yang digunakan adalah segitiga seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 4. Fungsi keanggotaan Fuzzy Input Error



Gambar 5. Fungsi keanggotaan Fuzzy Input Delta Error

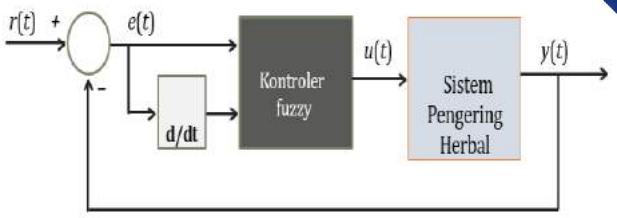


Gambar 6. Fungsi keanggotaan Fuzzy Output

Untuk proses Defuzifikasi, formula yang digunakan adalah formulasi *center of gravity* yang dinyatakan pada persamaan (7)

$$Q_{\text{hilang}} = \frac{\text{kA}(T_{\text{ruang}}\text{-}\text{T}_{\text{luar}})}{D} t \qquad (7)$$

Secara keseluruhan blok diagram sistem kendali temperatur ruang kabinet ini ditunjukkan oleh gambar 7.



Gambar 7. Blok Diagram sistem Kendali

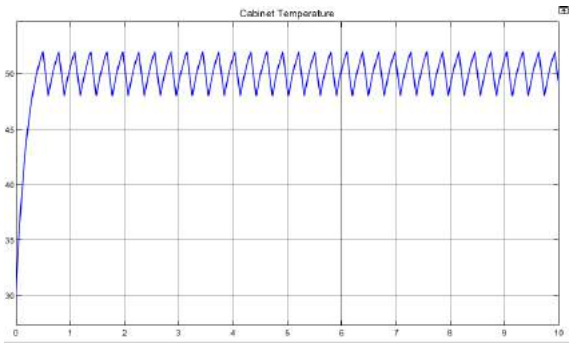
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk melihat efektifitas metode yang diusulkan, sistem kendali yang diusulkan diuji dengan menggunakan simulasi pada komputer. Hal ini bertujuan untuk memiimalisir kerusakan yang terjadi sebelum alat benar-benar diimplementasikan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan metode yang diusulkan dengan metode yang sudah pernah diuji pada penelitian sebelumnya yaitu dengan menggunakan kontroler PID. Adapun parameter yang digunakan pada sistem kendali adalah sebagai berikut :

Variabel	**Nilai**
Kp	1,2.5
Kd	2.5
Ki	1

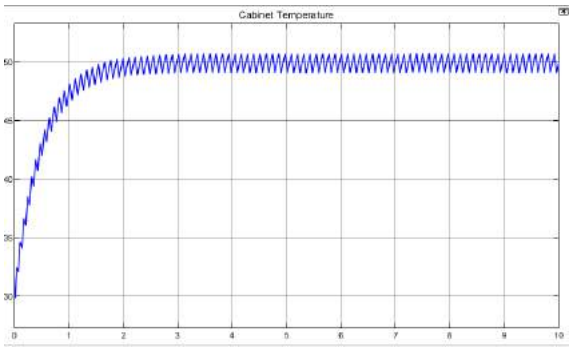
Pada pengujian dengan menggunakan metode kendali proporsional, dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh mengalami osilasi sebesar ±2°C. Hal ini menunjukan bahwa dengan metode ini, sistem pengering tanaman obat dapat mencapai suhu yang diinginkan namun tidak dapat menjaga suhu tetap pada nilai yang telah ditetapkan dengan osilasi kurang dari 1°C. Hal ini sangat penting mengingat suhu yang stabil pada ruang kabinet akan mempercepat pengeringan tanaman herbal sehingga dapat menghemat daya yang digunakan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



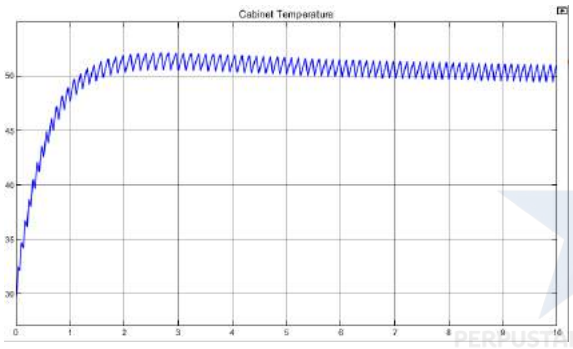
Gambar 8. Hasil simulasi dengan menggunakan metode kendali proporsional.

Sedangkan dengan menggunakan sistem kendali Proporsional Derivative (PD) terlihat osilasi yang terjadi pada sistem menjadi lebih kecil, namun sistem menjadi lebih lambat dalam mencapai target suhu yang telah ditetapkan sebelumnya. Untuk mencapai nilai yang telah ditetapkan, waktu yang dibutuhkan sekitar 2 menit.



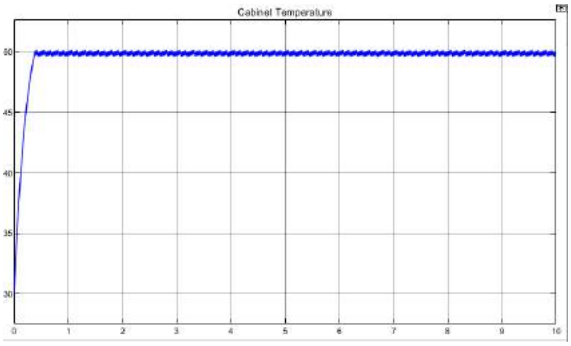
Gambar 9. Hasil simulasi dengan menggunakan metode kendali Proporsional Derivative (PD)

Pengujian metode selanjutnya adalah dengan menggunakan kontroler PID. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 10. Hasil pengujian menunjukan bahwa metode dengan penambahan integral pada sistem mengakibatkan respon sistem menjadi berlebih (overshoot) hingga mencapai 53°C.



Gambar 10. Hasil simulasi dengan menggunakan metode kendali proporsional Integral derivative (PID)

Adapun hasil simulasi dengan menggunakan metode Smart Fuzzy dapat dilihat pada gambar 11. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa perubahan suhu dari 30°C hingga mencapai target suhu sebesar 50°C hanya membutuhkan waktu 0.5 menit.



Gambar 11. Hasil pengujian dengan metode Smart Fuzzy

Selain itu, dengan menggunakan metode Smart Fuzzy, suhu yang dikendalikan oleh sistem tidak mengalami *overshoot* dari target yang diinginkan oleh pengguna. Dari gambar tersebut kita dapat melihat bahwa metode ini mampu menahan suhu tetap terjaga pada suhu target yang telah ditentukan sebelumnya dan hanya mengalami osilasi minor sekitar ± 0.2°C.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, metode Smart Fuzzy menghasilkan performa yang lebih baik dibanding metode konvensional PID dalam mengendalikan suhu ruangan di dalam ruang kabinet pengering. Hal tersebut ditunjukkan dengan keberhasilan metode Smart Fuzzy dalam mencapai nilai suhu yang telah ditentukan sebelumnya dan mampu mempertahankan nilai tersebut. Dalam hal ini suhu yang ditargetkan adalah 50°C. Dengan metode Smart Fuzzy, suhu dapat bertahan tetap

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

di 50°C dengan osilasi maksimal ± 0.2°C sedangkan dengan menggunakan metode PID konvensional, osilasi yang dihasilkan mencapai ± 4°C. Dari hasil ini dapat disimpulkan metode Smart Fuzzy merupakan metode yang tepat untuk digunakan pada alat pengering tanaman obat yang sudah kami rancang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Institut Teknologi Sumatera, yang telah memberikan pendanaan untuk penelitian ini melalui skema penelitian Hibah Mandiri.

REFERENSI

[1] H. M. H Wijayakusuma, "Ramuan Lengkap Herbal Sembuhkan Penyakit", Pustaka Bunda. 2008.

[2] A. Andriati and R. M. T. Wahjudi, "Tingkat penerimaan penggunaan jamu sebagai alternatif penggunaan obat modern pada masyarakat ekonomi rendah-menengah dan atas," Masyarakat, Kebudayaan dan Politik, vol. 29, no. 3, p. 133, Sep. 2016.

[3] H. Heriansyah, S. Istiqphara, and N. Adliani, "DESIGN OF TEMPERATURE CONTROL FOR HERBAL DRYER BASED ON PID CONTROLLER BY UTILIZING RENEWABLE ENERGY SOURCES," Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering), vol. 6, no. 2, pp. 97–101, Oct. 2019.

[4] A. M. Zungeru, M. Mangwala, J. Chuma, B. Gaebolae, and B. Basutli, "Design and simulation of an automatic room heater control system," Heliyon, vol. 4, no. 6, p. e00655, Jun. 2018.

[5] Y. A. K. Utama and Y. Hari, "Design of PID Disturbance Observer for Temperature Control on Room Heating System," Proceeding of the Electrical Engineering Computer Science and Informatics, vol. 4, no. 1, Oct. 2017.

[6] F. H. Purwanto, E. Utami, and E. Pramono, "Design of server room temperature and humidity control system using fuzzy logic based on microcontroller," 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), Mar. 2018.

[7] D. Guanzhou, S. Yue, Q. Jia, M. Xiaoming, and S. Xiaowei, "Research on temperature control system of air conditioning room based on fuzzy control," 2017 3rd IEEE International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE), Aug. 2017.

[8] L. Ai and H. Pan, "The reactor temperature control based on self-optimizing and self-adjustment fuzzy algorithm," 2011 Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), Jul. 2011.

[9] L. Wang, H. Zang, and Y. Ning, "The gas water heater control system design based on fuzzy control," 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering, Apr. 2011.

[10] N. I. Septiani, I. Bayusari, Caroline, T. Haiyunnisa, and B. Y. Suprapto, "Optimization of PID control parameters with genetic algorithm plus fuzzy logic in stirred tank heater temperature control process," 2017 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS), Aug. 2017.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

OPTIMISASI ENERGI TERBARUKAN PADA MICRO GRID DI PULAU RAKIT INDRAMAYU MENGGUNAKAN HOMER

Rizaldi Lukman Imani[1)], Agus Siswanto[2)], Sugeng Suprijadi[3)]

[1] Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945, Cirebon
[1)]Email: rizaldimani25@gmail.com
[2]Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945, Cirebon
[2)]Email: asiswanto.untagcirebon@gmail.com
[3]Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945, Cirebon
[3)]Email : Sugengjadi55@gmail.com

Abstrak

Supplay energi listrik antar pulau belum tentu mampu dan stabil dari waktu ke waktu. Penggunaan energi rata-rata 4,80 kWh/m^2/hari energi surya dan energi angin 3-6 m/detik. Potensi Energi diwilayah Indonesia dinilai mampu untuk memasok energi listrik pada pulau terluar.Pulau Rakit merupakan pulau yang terdapat di utara Cirebon Jawa –Barat. Metode Penelitian dimulai dengan studi literatur, pengumpulan data beban, data potensi energi, simulasi dan analisis konfigurasi. Data beban penggunaan 11.25 kWh/d *(residential)*. Sumber daya rata – rata energi surya 5.13 kWh/m^2/day dan Energi Angin 3,88 kWh m^2/d. Sehingga dapat dikembangkan beberapa model konfigurasi pembangkit hibrid pada pulau ini. Untuk mengetahui konfigurasi yang baik, maka digunakan *software* HOMER sehingga didapat hasil Generator sebagai pembangkit utama dan Sel Surya serta turbin angin merupakan cadangan untuk menimilasir kerja generator diesel. Dengan total NPC (Net Present Cost) $31,145 cukup untuk penyediaan energi pada pulau tersebut.

Kata kunci : *photovoltaic,* Homer, Turbin angin, mikrogrid, NPC

Abstract

Supplay of electrical energy between islands is not necessarily able and stable from time to time. An average of 4,80 kWh/m^2/day for solar power and 3-6m/sec. Potential Energy in Indonesian territory is rated capable to supply electrical power for outer islands.Rakit island is an island which located in northside of Cirebon West Java. The research method begins with literature studies, load data collection, energy potential data, simulation and configuration analysis. An average load utilization 11.25 kWh/d (residential). Average Resource for solar power and wind powerare 5.13 kWh/m^2/day and 3,88 kWh m^2/d. So, it is capable to develop be some configuration model for hybrid generation for this island. For knowing a good configuration, So it used HOMER software and get the resultDiesel Generator as main generator, solar cell and wind turbin are backup for minimizing the work of diesel generation. With total NPC (Net Present Cost) total $31,145 actually enough for Energy supplay in that island.

Keywords : *photovoltaic, HOMER, Wind Turbine, mikrogrid, NPC*

PENDAHULUAN

Merujuk pada rasio elektrifikasi Indonesia yang pada tahun 2017 lalu mencapai 92,80% [1]. Yang berarti masih ada sekitar 7,2% pada daerah di Indonesia

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

masih belum memiliki akses kelistrikan. Oleh karena itu, Pemerintah berupaya untuk tahun 2018 berusaha meningkatkan rasio elektrifikasi sebesar 97,5%[2] Rasio elektrifikasi tersebut cenderung meningkat dibanding dengan tahun 2013 lalu yang hanya mencapai 75 %[3]. Penggunaan pembangkit listrik berbahan bakar fosil sangatlah sensitif terhadap isu lingkungan. Hal itu yang menjadi masalah terhadap masa depan energi listrik. Energi terbarukan menjadi salah satu solusi teknologi yang diminati dan perlu diperhatikan lebih. Dalam studi ini, akan dijelaskan Optimisasi Energi Terbarukan pada pulau rakit menggunakan software homer.

Pulau Rakit atau yang biasa disebut juga pulau biawak oleh masyarakat sekitar adalah sebuah pulau yang terletak dikabupaten Indramayu dengan satwa biawak sebagai endemik pulau.

METODE PENELITIAN

A. Alat dan bahan

Piranti yang digunakan dalam melakukan analisis ini terdiri atas perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat hardware sebuah *notebook* dengan processor intel atom 1,66 GHz. RAM sebesar 1 GB, Sedangkan perangkat lunak yang digunakan adalah *software* HOMER, Pro 3.8.6 dan *lightshot* 5.4.1 dan Microsoft Word 2010.

B. Alur Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian berikut ini yaitu dengan dimulai dari studi literatur dengan studi literatur, yaitu mempelajari hal – hal yang berhubungan dengan pembangkit listrik energi terbarukan terutama terhadap suatu pulau.

Referensi dan informasi yang diperoleh melalui buku, jurnal penelitian, presentasi pada seminar maupun sumber referensi lainnya yang ada hubungannya dengan penelitian ini.Dilanjutkan dengan pengumpulan data beban serta dengan pengumpulan data potensi energi. Hingga dilakukan simulasi dengan menggunakan HOMER 3.11.6 lalu didapat hasil.

C. Profil Daerah Penelitian

Pulau Biawak atau Pulau Rakit adalah sebuah pulau yang terletak di Laut Jawa di Kabupaten Indramayu Jawa Barat[4]. Pulau Biawak terletak di sebelah utara semenanjung Indramayu sekitar 40 kilometer dari pantai utara Indramayu, dan

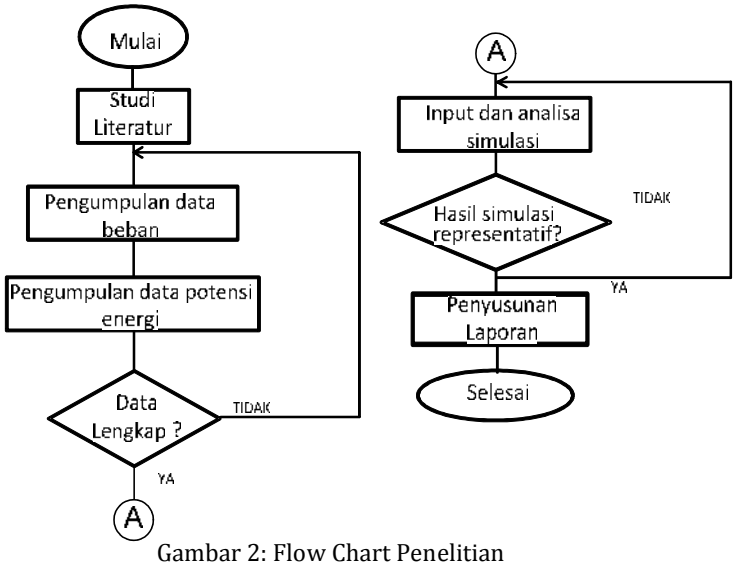
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

secara administratif termasuk ke dalam wilayah Desa Pabean Ilir kecamatan Indramayu, Kabupaten Indramayu. Luas pulau tersebut + 60 Ha.



Gambar 1 :Pulau Rakit



Gambar 2: Flow Chart Penelitian

D. Pengambilan Data

Pada penelitian ini, pengambilan data berupa :

1) Data kondisi pulau Rakit (lokasi survey)
2) Data Potensi energi Terbarukan (NASAyang terhubung dengan software HOMER)
3) Data komponen PLH dengan harga satuan unit, harga bahan bakar minyak, nilai tukar rupiah terhadap dollar (Pustaka)

E. *Software* HOMER

HOMER (*Hybrid Optimization for Energy Renewable)* adalah sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh U.S*National Renewable Energy*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Laboratory (NREL) bekerja sama dengan *Mistaya Engineering*, yang dilindungi hak ciptanya oleh *Midwest Research Institute* (MRI) serta digunakan oleh Departemen Energi Amerika (DOE)[4]. Terdapat 3 hal analisis dalam *software* HOMER

Simulasi: Proses ini menentukan konfigurasi dari sistem, kombinasi dari besarnya kapasitas komponen – komponen sistem, strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen tersebut bekerja bersama dalam periode waktu tertentu.[4]

Tujuan dari adanya proses simulasi yaitu untuk menentukan apakah sistem tersebut layak untuk dibuat.

Optimasi :Proses Optimasi dilakukan setelah melalui Proses Simulasi. Proses ini memodelkan serta merancang konfigurasi sistem khusus.**Sistem dikatakan optimal, apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang telah ditentukan**.

Sensitivitas : Sensitifitas terletak tepat diatas tab menu optimasi. Yaitu menunjukkan hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter masukkan input (berbeda – beda). Pada tahap ini, pengguna HOMER dapat memasukkan rentang nilai untuk nilai variabel tunggal maupun variabel ganda.[4]

F. Data Beban Listrik Pulau Rakit

Penggunaan listrik di Pulau Rakit hanya untuk kebutuhan penerangan.Sehingga data yang diperoleh dari HOMER *software,* merupakan data yang tergolong *residential.*Rata – rata dalam 1 tahun menghasilkan 11,42 kWh/day dan 2,42 peak.

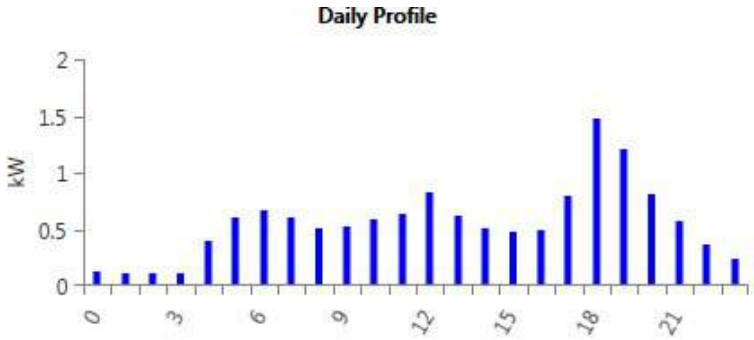
Tabel 1 Hasil Konsumsi Energi Melalui HOMER

Hour	Load (kWh)	Hour	Load (kWh)	Hour	Load (kWh)
00-01	0,131	07-08	0,6	14-15	0,502
01-02	0,114	08-09	0,504	15-16	0,476
02-03	0,114	09-10	0,516	19-20	1,204
03-04	0,114	10-11	0,594	20-21	0,811
04-05	0,392	11-12	0,64	21-22	0,576
05-06	0,6	12-13	0,829	22-23	0,36
06-07	0,66	13-14	0,623	23-24	0,245

Sumber . Software Homer

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284



Gambar 3 Profil Beban dalam 1 Hari

G. Data Potensi Energi

Dengan menggunakan data dari NASA, yang terhubung langsung dengan *software* HOMER, dalam hal ini dapat diketahui data sumber daya alam yang tepat dan dapat digunakan di Pulau itu. Tentunya, berdasarkan garis koordinat pada pulau tersebut.

H. Sumber Daya Matahari

Intensitas cahaya yang dihasilkan matahari terhadap pulau tersebut bisa dikatakan cukup untuk menyimpan energi surya dengan media photovoltaic.

Tabel3 Potensi Energi Surya per Bulan

Bulan	Clearness Index	Daily radiation (kWh/m^2/day
Januari	0.380	4.040
Februari	0.425	4.560
Maret	0.487	5.130
April	0.526	5.190
Mei	0.561	5.090
Juni	0.576	4.970
Juli	0.596	5.240
Agustus	0.627	5.950
September	0.623	6.370
Oktober	0.555	5.880
November	0.461	4.890
Desember	0.402	4.240

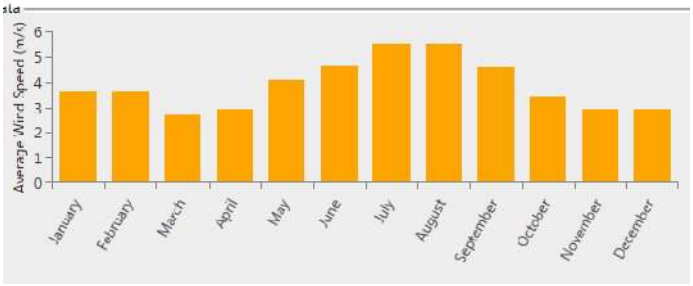
(sumber. Olahan data pribadi dan HOMER, 2018)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Melalui data yang tersaji pada tabel diatas, pada kolom *Daily radiation*, dan dengan melalui persamaan (3.2), maka dapat dihasilkan rata – rata yaitu 5.13 kWh/m^2/day.

I. Sumber Daya Angin

Energi Angin yang diproduksi alam juga dapat menjadi pertimbangan sebagai salah satu faktor keberhasilan produksi energi terbarukan di Pulau Rakit.Berikut disajikan melalui diagram grafik yang telah diolah dengan *software* HOMER.



Gambar 4 Grafik Sumber Daya Angin

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan, untuk mendapatkan hasil konfigurasi pembangkit yang optimal, maka dalam hal ini, penulis membagi pada 4 model skenario dengan komponen pembangkit yaitu : Generator diesel, turbin angin, solar sel, baterai dan konverter. Yang pada sebelumnya telah dimasukkan nilai - nilai beban dan potensi energi terbarukan seperti diatas.

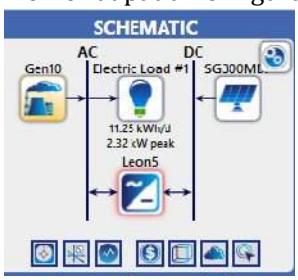
1)Model Skenario 1 : Generator diesel, PV, dan Konverter

2)Model Skenario 2 : Generator diesel, Turbin angin

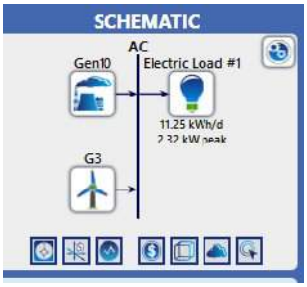
3)Model Skenario 3 : Turbin Angin dan PV, Baterai dan Kon verter

4)Model Skenario 4 : Generator diesel, turbin angin, PV, Baterai dan Konverter

Pada Homer dapat dikonfigurasikan seperti dibawah ini.

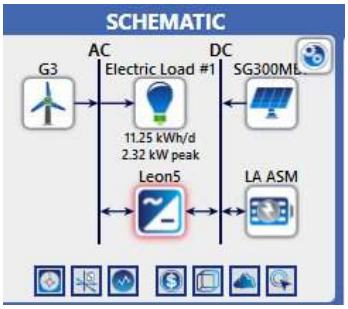


1

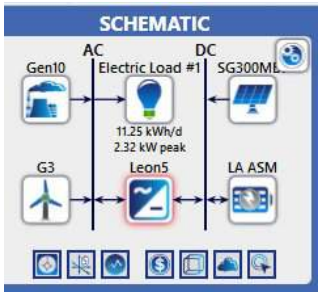


2

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284



3



4

Gambar 5. Model Konfigurasi

Dan didapat nilai NPC (Net Present Cost) seperti pada tabel 4

Tabel 4 Perbandingan Hasil

NO	Model skenario	Nilai					
		NPC(US$)	COE (US$)	REF (%)	Fuel Consumption (US$ /year)	Fuel Cost (US$ /year)	Production (Kwh/year)
1	1	209.110	3,38	0	6,215	6,.215	
2	2	304.802	4,93	0	10,468	10,648	
3	3	33.293	0.54	100	0	0	
4	4	31.145	0.59	93.8	122	122	

(sumber:olah data pribadi HOMER,2018)

Pada Skenario 1, pembiayaan dalam hal ini dihitung pada menu *cost* nilai NPC terkcil yang dihasilkan adalah $209,110 (Rp 3.025.403.480 konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5]. Dan mendapat nilai COE yang dihasilkan yaitu $3.38 (Rp.48.902, konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5]total pemeliharaan $11,821 pertahun(Rp.171.026,69 konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5],[6].

Pada Skenario 2, nilai NPC terkcil yang dihasilkan adalah $304,802 (Rp.4.409.875.336,- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5]. Nilai COE yang dihasilkan yaitu $4.93 (Rp.71.327,24,- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5]total pemeliharaan $19,90 (Rp.287.956,60- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5][6].

Pada Skenario 3, nilai NPC terkecil yang dihasilkan adalah $33,293 (Rp.481.683.124),- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5] dan tidak menggunakan wind turbin. Membutuhkan 5,42 kW PV Nilai COE yang dihasilkan yaitu $0.539 (Rp.7.798,25)- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5][6]

Pada Skenario 4, nilai NPC terkcil yang dihasilkan adalah $31,145 (Rp.450.605,860,- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5]dan tidak

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

menggunakan wind turbin. Membutuhkan 2,59 kW PV Nilai COE yang dihasilkan yaitu $0.587 (Rp.8.492,72- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5][6]

Dari data yang sudah diolah diatas, didapat bahwa skenario 4 memiliki jumlah NPC terkecil. Dengan jumlah US$ 31.145 (Rp.450.605,860,- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5].Maka tidak menutup kemungkinan bahwa skenario 4 merupakan konfigurasi pilihan untuk di realisasikan di pulau Rakit.

Skenario 1 dan 2 sebagian besar generator diesel yang memegang peranan dibanding dengan hadirnya panel surya maupun turbin.Sehingga bukan menjadi sebuah pembangkit yang disarankan untuk dikonfigurasi dalam memenuhi kebutuhan energi terbarukan di Pulau Rakit.

KESIMPULAN

Terdapat dua potensi energi Terbarukan pada pulau Rakit Indramayu yaitu energi surya dan energi angin.Hal itu terbukti dengan pengukuran yang dilakukan pada satelit NASA melalui software HOMER menunjukkan rata – rata sumber daya matahari 5.13 kWh/m^2/day dan energi angin yang stabil 3.88 kWh/m^2/day.

Model konfigurasi dari 4 skenario yang telah diuji membuktikan. Bahwa Skenario 4 atau konfigurasi mikrogrid yang optimal antara Generator dengan merk Generic 10 kW, Wind Turbin dengan ukuran 3 kW, dan Panel Surya dengan ukuran 1 kW lebih baik dari yang lain. Dengan nilai US$ 31.145 (Rp.450.605,860,- konversi mata uang dollar terhadap rupiah)[5]. Konfigurasi ini merupakan yang paling optimal dibanding yang lain. Terbukti karena nilai NPC yang diuji menunjukkan paling rendah dengan hasil *renewable fraction* yang tinggi.Pulau Rakit dinilai cocok dalam implementasi lanjut energi terbarukan dengan pertimbangan Harga dan nilai dari total NPC maupun hasil yang didapat dari software HOMER dengan mempertimbangkan kondisi potensi dan geografis pulau.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya haturkan karena banyak mendapatkan bantuan, dorongan baik moril maupun spiritual dari Universitas 17 Agustus 1945 Cirebon. Yang pada kali ini telah memberikan kesempatan untuk bisa menyusun jurnal. Dan dapat mempublikasikannya pada seminar CIASTECH 2018 Universitas Widyagama, Malang. Dengan Harapan bisa menjadi referensi dimasa yang akan datang.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN Cetak : 2622-1276
ISSN Online : 2622-1284

REFERENSI

ESDM. (2017). rasio elektrifikasi indonesia status juni 2017. [*Online]* Tersedia pada :https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-rasio-elektrifikasi indonesia-status-juni-2017.pdf (diakses tanggal 12Maret 2018 pukul 10.30).

tirto.id. (2017). *Pemerintah prioritaskan 3 hal untuk tingkatkan rasio elektrifikasi* [*Online*]tersedia pada : https://tirto.id/pemerintah-prioritaskan-3-hal-untuk-tingkatkan-rasio elektrifikasi-cFLF(diakses tanggal 12 Maret 2018 pukul 10.35).

Muchlis. Moch dkk. (____).*Proyeksi KebutuhanListrik PLN Tahun 2003 s.d 2020.* artikel. Pengembangan Sistem Kelistrikan dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang.

Homerpro v.3.7 user Manual (2016). *Homer Help Manual*[Terunduh] tersedia pada :https://www.homerenergy.com/pdf/HOMERHelpManual.pdf (diakses tanggal 21 April 2018)

Bank Indonesia. (2018). *Informasi KURS Juli 2018*. [*Online*] Tersedia pada: https://www.bi.go.id/id/moneter/informasi-kurs/transaksi-i/Default.aspx (diakses tanggal 25 Juli 2018 pukul 01.48)

Bph Migas. (2018). *Harga Solar Perliter 2018*. [Online] Tersedia pada: www.bphmigas.go.id (diakses tanggal 19 Juli 2018 pukul 15.42)

Aziz.S.N.(2015) *Studi Kelayakan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (Pv Turbin Angin) Untuk Tempat Wisata Di Pulau Nusa PenidaProvinsi Bali* Skripsi. Yogyakarta. Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi. Informasi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.

Kunaifi (2010). *Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Tenaga Listrik Hibrida di Propinsi Riau*. Seminar Nasional Informatika 2010. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim.Pekanbaru.

Juwito Arif Febriansyah,(2013).*Optimisasi Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Energi Listrik Menuju Desa Mandiri Energi Di Desa Margajaya*. JNTETI, Vol.2, No.3. Yogyakarta.Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.

Kahar Bahrud. (2016). *Studi Dan Permodelan Penyediaan Energi Di Pulau Moti Kota Ternate Berbasis Energi Terbarukan*.Tesis. Surabaya. Bidang Keahlian Rekayasa Energi Terbarukan Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Permana Adi Ditto,___. *Studi Analisis Pembangkit Listrik Hybrid (Diesel – Angin) Di Pulau Karimun Jawa*. Jurnal. Malang. Universitas Brawijaya.

Sinaga Rusman, 2017.Analisis Alternatif Solusi Penyediaan Sumber Energi

Listrik Studi Kasus Kabupaten Kupang". Jurnal Keteknikan Pertanian.Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor.

Sukmawijaya Maula, 2013.Simulasi Optimasi Sistem PLTH Menggunakan Software Homer Untuk Menghemat Pemakaian BBM di Pulau Penyengat Tanjung Pinang Kepulauan Riau".Jurnal.Jetri Volume 11, Nomor 1, Agustus2013, Halaman 17- 42.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PELUANG ENERGI TERBARUKAN DI INDUSTRI
Pemanfaatan Termal Surya Pada Proses pengeringan kayu

OPPORTUNITY OF RENEWABLE ENERGY IN INDUSTRY
Solar Thermal Utilization In The Wood Drying Process

Mawardi Silaban
Balai Besar Teknologi Energi (B2TE), BPPT
Kawasan PUSPIPTEK, Setu, Tangerang Selatan, Banten, 15314
E-mail : silaban90210@yahoo.com

Abstrak

Konsep perpindahan Massa dan panas dalam suatu sistem memberikan pendekatan mendasar untuk memperkirakan efisiensi termal sistem pengeringan kayu energi surya. Efisiensi termal sendiri didefinisikan sebagai rasio panas teoritis dan aktual yang diperlukan selama proses pengeringan. Perhitungan panas didasarkan pada jumlah energi yang diserap oleh sistem. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi termal yang dapat dicapai dengan sistem pengeringan kayu energi surya pada kondisi ini dijelaskan dalam makalah ini adalah 17,1% dengan rasio 25,2%.

Kata kunci : Pengeringan kayu, Efisiensi termal, Energi surya, Kolektor

Abstract

Mass and heat transfer concept in a system provide a fundamental approach for estimating thermal efficiency of solar energy wood drying system. The thermal efficiency itself is defined as ratio of theoretical and actual heat required during drying process. Heat calculation was based on amount of energy absorbed by the system. The calculation result showed that the thermal efficiency that could be achieved by this solar energy wood drying system at this condition described in this paper is 17.1% with the ratio of 25.2%.

Keywords : *Wood Dryer, Thermal Efficiency, Solar Energy, Collector*

Diterima (*received*) : 7 Januari 2013, Direvisi (*reviewed*) : 16 Januari 2013,
Disetujui (*accepted*) : 5 Pebruari 2013

PENDAHULUAN

Perpres No. 5/2006 yang dikeluarkan oleh pemerintah Indonesia ditujukan untuk mengantisipasi tantangan yang dihadapi Indonesia dalam rangka pemenuhan kebutuhan energi, dimana dalam Perpres tersebut salah satu penekanan adalah menempatkan energi terbarukan dalam formulasi *energy mix* untuk tahun 2025. Pemerintah telah menetapkan pada tahun 2025 nanti, penggunaan energi terbarukan telah mencapai 15% dari seluruh penggunaan energi nasional. Energi baru dan terbarukan lainnya seperti energi surya, tenaga angin, tenaga air dan yang lainnya lebih dari 5%, *biofuel* ditargetkan lebih dari 5%, panas bumi lebih dari 5%[1)].

Energi surya adalah energi yang bersih dan gratis. Energi surya yang dipancarkan ke bumi Indonesia selalu ada sepanjang tahun, diperkirakan potensi sinar surya yang jatuh di daratan Indonesia sebesar 0,9 x 10^8 kJ/Tahun. Untuk sebagian daerah di Jawa, Madura dan Indonesia bagian Timur banyaknya energi yang ditangkap dari matahari sekitar 3800 – 4570 Wh/m^2 per hari. Bertitik tolak dari hal tersebut, energi surya sebagai energi terbarukan sudah saatnya secara berkesinambungan diteliti dan dikembangkan pemanfaatannya.

Beberapa alat konversi energi surya telah dikembangkan, diantaranya dikenal sel surya (penyusun modul surya) untuk meghasilkan energi listrik, serta kolektor surya sebagai alat pengumpul panas surya.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dalam makalah ini pengembangan kolektor surya berbahan penyerap panas dari serat karbon, digunakan untuk proses pengeringan kayu di industri perkayuan, dimana pada siang hari panas yang dibutuhkan untuk proses pengeringan dibangkitkan dari kolektor, dan pada malam hari atau saat hujan atau mendung dengan menggunakan *boiler.* Teori perpindahan panas yang membahas proses perpindahan kalor selalu dikaitkan dengan massa dan sifat sistem yang sedang di tinjau, maka mekanisme demikian juga terjadi pada proses pengeringan suatu bahan. Pada penelitian ini, pemakaian energi pada proses pengeringan kayu di dalam ruang pengering, diperoleh dari kolektor, boiler dan energi listrik. Mekanisme pengeringannya terjadi karena adanya kontak langsung antara udara panas dengan permukaan kayu yang mempunyai suhu yang lebih rendah.

Menurut hukum kekekalan energi, seluruh kalor yang masuk ke ruang pengering dapat di pakai untuk menaikkan suhu kayu (bahan yang dikeringkan) dan menguapkan air yang dikandungnya, akan tetapi tidak semua panas yang tersedia dapat digunakan /diserap dengan sempurna oleh bahan. Dalam hal ini ada sejumlah panas yang hilang keluar dari sistem sehingga akan mengurangi efisiensi pengeringannya[2)].

Efisiensi dinyatakan sebagai perbandingan jumlah panas teoritis yang seharusnya digunakan untuk menaikkan suhu bahan (panas sensibel) serta menguapkan air (panas evaporasi) terhadap jumlah panas sesungguhnya yang dipakai selama operasi pengeringan berlangsung. Jumlah panas teoritis diperoleh dari perhitungan berdasarkan pada sifat bahan yang dikeringkan antara lain massa, kadar air awal dan akhir, panas jenis, dan suhu yang semuanya itu dikaitkan dengan kondisi pengeringan yang dipakai. Sedangkan jumlah energi sesungguhnya diperoleh dari hasil pengamatan yang besarnya di hitung dari energi yang masuk ke kolektor, energi dari bahan bakar yang diumpankan ke boiler dan energi listrik yang digunakan pada sistem.

BAHAN DAN METODE

Pengering Kayu Tenaga Surya

Secara garis besar pengering kayu tenaga surya terdiri dari 3 (tiga) bagian utama yaitu :

Kolektor

Bagian ini berfungsi untuk menyerap radiasi panas matahari yang jatuh di permukaan kolektor dan mengkonversikan-nya mejadi panas pada udara yang mengalir disekitarnya. Dengan bantuan fan tipe axial dengan laju aliran 350 m^3/min dan *static pressure* 15 mmAq pada putaran 1450 rpm, udara panas tersebut dialirkan ke ruang pengering.

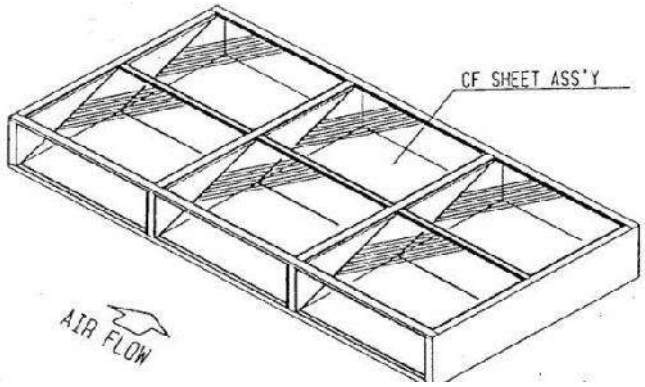
Struktur kolektor terdiri dari penutup bagian atas yang terbuat dari bahan kaca, penyerap panas di buat dari bahan serat karbon *(carbon fiber*), dan pada bagian bawahnya dilengkapi dengan sistem penahan panas. Bingkai terbuat dari besi galvanis . Jumlah kolektor yang digunakan sebanyak 32 unit, yang dirangkai sedemikian rupa menjadi empat baris dan tiap baris terdiri dari 8 unit. Luas kolektor seluruhnya 230,4 m^2. Kolektor dilengkapi dengan 2 (dua) unit *header* yang di pasang pada bagian kedua ujung kolektor. Kolektor yang digunakan dari jenis kolektor plat datar yang di pasang secara konstruktif menjadi satu dengan ruang pengering, potongan kolektor (a) gambar 3 dimensi dan (b) gambar melintang, dapat dilihat pada Gambar 1.

Ruang Pengering

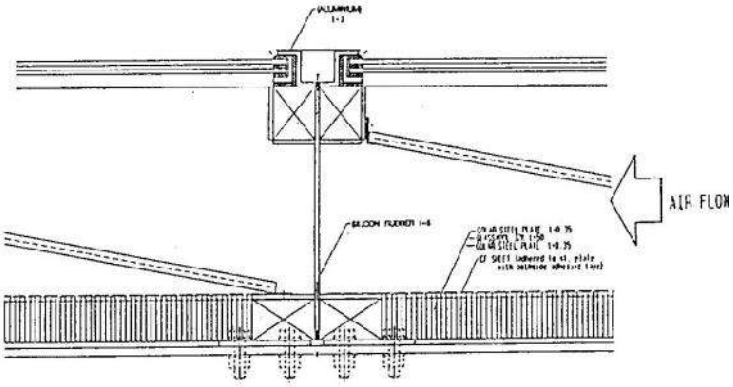
Ruang pengering berfungsi untuk tempat bahan (kayu) yang akan dikeringkan, yang mampu menampung kayu jenis papan/balok sebanyak 100 m^3. Ruang ini berbentuk kotak empat persegi panjang, sama dengan yang umum digunakan di industri pengeringan kayu. Pada bagian atas di dalam ruang pengering ditempatkan 8 unit fan sirkulasi dan 4 unit sistem penukar panas *(heat exchanger)*. Dan pada bagian belakang di pasang unit pengkondisi udara *(humidifier)* berbentuk sebuah pipa *(sprayer)*. Dinding ruang pengering terbuat dari beton, dan pada bagian dalamnya dilapisi dengan sistem penahan panas. Pintu utama di buat dari jenis pintu dorong di pasang di sepanjang ruang pengering, dan pintu kontrol dipasang pada bagian lebar ruang pengering. Seluruh pintu dilengkapi dengan sistem penahan panas.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN 1410-3680



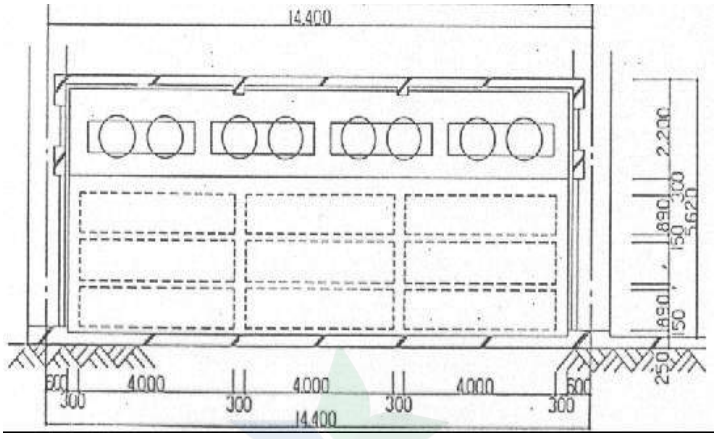
a potongan 3 dimensi



b potongan melintang

Gambar 1.
Potongan Kolektor Surya.

Ruang pengering dilengkapi dengan ventilasi yang terdiri dari dua saluran, dan keduanya dapat berfungsi sebagai saluran masuk *(intake)* dan saluran keluar *(exhaust)*. Fungsi ini dilakukan kedua saluran secara bergantian setiap dua jam, karena itu kedua saluran tersebut dilengkapi dengan kipas pembuangan *(exhaust fan).* Skema ruang pengering diperlihatkan pada Gambar 2.

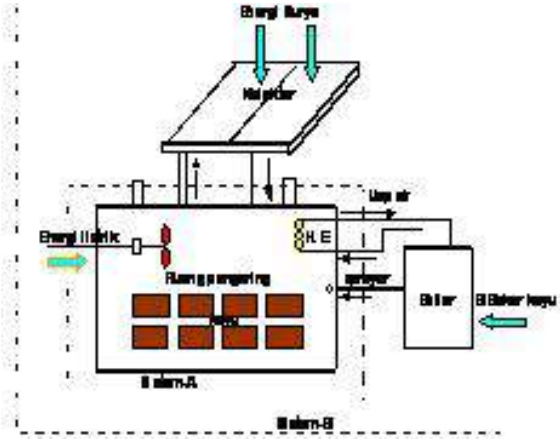


Gambar 2.
Skema Ruang Pengering

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Boiler

Boiler berfungsi sebagai pemasok energi panas ke ruang pengering apabila energi dari panas matahari tidak mencukupi, atau pada saat cuaca mendung/hujan dan pada malam hari. Uap panas yang dihasilkan dari boiler akan dialirkan keruang pengering dengan sistem perpipaan dan dilewatkan di dalam sistem penukar panas yang terletak di ruang pengering. *Boiler* yang di pakai menggunakan serbuk kayu/serpihan kayu sebagai bahan bakar. Skema pengering kayu tenaga surya diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3.
Skema Sistem Pengering Kayu Tenaga Surya

Kesetimbangan Energi Termal

Pada prinsipnya energi termal yang dibutuhkan untuk proses pengeringan digunakan untuk pemanasan bahan, pemanasan kandungan air bahan dan energi untuk menguapkan air dalam bahan yang besarnya adalah :

$$Q_r = m_k.cp_k(T_d - T_a) + w_i(T_d - T_a) + W_r.v_1 \ldots\ldots(1)$$

dengan m_k = massa kayu yang akan dikeringkan, cp_k = panas spesifik kayu, T_d = suhu pengeringan, T_a suhu rata-rata ambient, w_i kandungan air awal kayu, W_r jumlah air yang diuapkan dan v_l kalor penguapan air pada suhu T_d.

Pada saat proses pengeringan kayu di ruang pengering berlangsung, maka secara perlahan kelembaban udara di ruang pengering akan semakin meningkat yang disebabkan keluarnya air dari dalam kayu. Apabila tingkat kelembaban ini melewati dari yang ditentukan pada jadwal pengeringan (bagan pengeringan), maka udara jenuh tersebut akan di buang ke luar sistem melalui sebuah damper dengan bantuan kipas. Damper dibuat berpasangan, sehingga bila sebuah damper membuang udara jenuh maka pasangannya akan memasukkan udara segar. Pada saat pembukaan damper, akan terjadi rugi-rugi panas yang besarnya adalah[3]:

Q_x = (entalpi udara keluar) x (berat udara ke luar) - (entalpi udara masuk) x (berat udara masuk)

$$= \left[\left(\frac{7{,}536V_w}{V_x}\right)\left(0{,}24T_x + (597{,}3 + 0{,}441T_x)0{,}622\left(\frac{p_{sx}.R_x}{76000 - p_{sx}.R_x}\right)\right.\right. -$$

$$= \left[\left(\frac{7{,}536V_w}{V_t}\right)\left(0{,}24T_t + (597{,}3 + 0{,}441T_t)0{,}622\left(\frac{p_{sx}.R_t}{76000 - p_{sx}.R_t}\right)\right.\right. \quad (2)$$

dengan V_w kecepatan udara dalam *duct* (m/det), T_x temperatur udara keluar (^oC), p_{sx} tekanan parsial uap air udara keluar (mm Hg), R_x kelembaban udara keluar (%), V_x volume udara keluar (m^3/kg), V_t volume jenis udara masuk (m^3/kg), T_t temperatur udara masuk (^oC), p_{st} tekanan parsial uap air udara masuk (mm Hg), dan R_t kelembaban udara masuk (%).

Rugi-rugi panas lainnya adalah melalui dinding ruang pengering Qw (kcal/min) sebesar:

$$Q_w = (k_w.A_w + k_d.A_d + k_s.A_s).\frac{1}{60}(T_d - T_a) \ldots\ldots(3)$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN 1410-3680

dengan Aw = luas dinding (m^2), kw = koefisien hantaran panas dinding (kcal/m^2.jam ^oC), kd = koefisien hantaran panas pintu (kcal/jam ^oC), Ad = luas pintu (m^2), ks koefisien hantaran panas lantai (kcal/m^2.jam.^oC), As = luas lantai (m^2), T_d = temperatur pengeringan, dan T_a = temperatur ambient.
Berdasarkan hukum kekekalan energi, maka neraca panas menjadi :

$$Q_n = Q_r + Q_x + Q_w + Q_l \qquad (4)$$

dimana, Q_n = total energi masuk pada system-A

$$= \left(Q_c + Q_x + Q_f\right)$$

Q_l = panas tak-terukur

$$= \left(Q_n - Q_T - Q_x - Q_w\right)$$

dengan Q_l adalah panas tak terukur *(invisible heat).*

Dengan demikian efisiensi sistem-A adalah :

$$\eta_r = \frac{Q_r}{Q_n} x100\% \qquad (5)$$

Pada proses pengeringan kayu di ruang pengering (sistem-A), energi diperoleh dari panas yang dihasilkan kolektor, energi listrik dan energi uap panas dari ketel uap. Besarnya energi tersebut masing-masing di tulis dalam persamaan berikut[4)].

1. Energi panas yang dialirkan dari kolektor :

$$Q_c = \left(\frac{7{,}536V_w}{V_x}\right)\left(0{,}24 + \frac{0{,}274(p_s.R_l)}{76000 - (p_s.R_l)}\right)(T_o - T_l)x2.kcal/mt. \qquad (6)$$

dengan V_w kecepatan udara dalam duct (m/det), V_x rapat jenis udara (m^3/kg), p_s tekanan parsial uap saturasi masuk kolektor (mm Hg), R_l kelembaban udara masuk kolektor (%), T_0 temperatur udara keluar kolektor (^oC), T_l temperatur udara masuk kolektor (^oC).

2. Energi Listrik, Q_f (kcal/min) di pakai untuk menggerakkan kipas sirkulasi yang jumlah pemakaiannya di catat secara otomatis di kWh meter.

$$Q_f = (kWh)(860).kcal.....(7)$$

3. Energi uap panas, yang dialirkan melalui sistem penukar panas (heat exchanger) dan sprayer.
   Melalui sistem penukar panas :

Q_{sh} = m_u [(T_u - T_w) + 504,1] kcal

dengan m_u = banyaknya uap air yang dialirkan pada sistem penukar panas, T_u = temperatur uap air yang dialirkan, T_w = temperatur air keluar sistem penukar panas dan panas laten uap air pada tekanan 5 kg/cm^2 adalah 504,1 kcal/kg.

Melalui sprayer:

Q_s = m_s[(T_m + 504,1) - (0,441 T_d + 597,3)]

Sehingga jumlahnya menjadi :

Q_s = m_u [(T_u - T_w) + 504,1] +
m_s[(T_m + 504,1) - (0,441 T_d + 597,3)] (8)

Jika di tinjau dari keseluruhan sistem(sistem-B), maka kebutuhan energi untuk pengering kayu tenaga surya di pasok dari energi panas matahari, energi listrik dan energi dari hasil pembakaran bahan bakar di *boiler.* Besarnya masing-masing energi tersebut adalah :

1. Energi panas matahari Q_I (kcal),

$$Q_I = (I.A).860kcal \qquad (9)$$

dengan I adalah radiasi matahari (kWh/min), A luas kolektor (m^2)

2. Energi listrik Q_e merupakan konsumsi energi listrik total pada sistem pengering kayu dan termasuk pemakaian di unit *boiler.* Jumlah pemakaian di catat secara otomatis pada kWh meter.
3. Energi pembakaran bahan bakar di boiler Q_b (kcal),

$$Q_b = m.q \qquad (10)$$

dengan m adalah jumlah bahan bakar (kg), q nilai kalor bakar (kcal/kg).

Sehingga kebutuhan energi total pada sistem-B (Qg) adalah ;

$$Q_g = Q_I + Q_e + Q_b \qquad (11)$$

Dengan demikian efisiensi sistem-B adalah ;

$$\eta = \frac{Q_r}{Q_g} x100\%. \qquad (12)$$

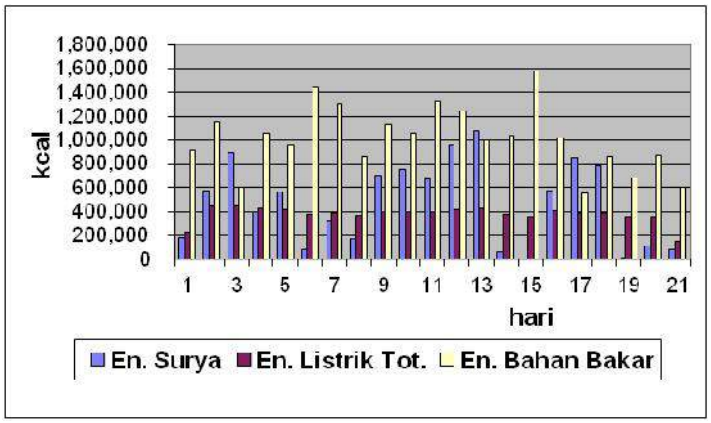
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dan rasio energi surya yaitu:

$$\eta_{iw} = \left[\frac{Q_i}{Q_g}\right] x100\% \qquad (13)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap pengering kayu tenaga surya, menunjukkan bahwa untuk mengeringkan kayu meranti dengan kapasitas 100 m^3 dari kandungan air awal rata-rata 28% menjadi kandungan akhir rata-rata 7%, membutuhkan waktu selama 21 hari. Dan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 1 jumlah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan kandungan air yang terdapat pada kayu tersebut sebesar 6.669.000 kcal. Energi tersebut diperoleh dari energi matahari, energi listrik dan energi bahan bakar. Energi Listrik digunakan untuk menggerakkan peralatan-peralatan mekanis seperti fan, sedangkan energi matahari dan energi bahan bakar digunakan untuk memanaskan udara pengering. Jumlah energi harian yang masuk ke sistem ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4.
Grafik Jumlah Energi Harian Yang Masuk Sistem Pengering

Berdasarkan Gambar 4 tersebut, terlihat bahwa energi listrik harian yang digunakan cenderung konstan, berbeda dengan energi surya dan energi bahan bakar yang selalu berfluktuasi. Hal ini terjadi karena peralatan-peralatan yang menggunakan energi listrik sejak proses pengeringan di mulai hingga pengeringan berakhir harus beroperasi secara terus menerus pada beban yang sama (seperti fan sirkulasi). Adanya perbedaan kebutuhan harian terjadi karena fan ventilasi beroperasi secara *intermiten* untuk setiap harinya.

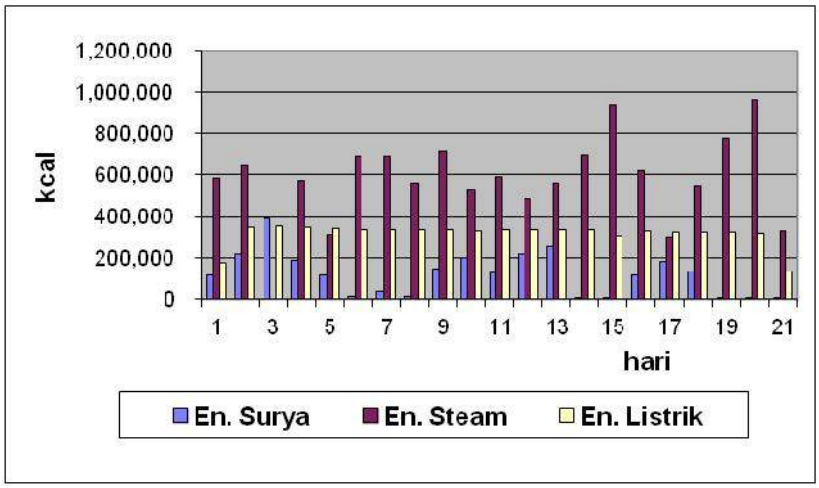
Bila diperhatikan terhadap konsumsi bahan bakar yang digunakan, terlihat bahwa pada saat pemakaian energi surya yang semakin meningkat, maka penggunaan bahan bakar cenderung menurun dan atau sebaliknya, bila pemakaian energi surya yang masuk kesistem menurun maka bahan bakar yang diperlukan di boiler semakin meningkat.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap proses pengeringan kayu meranti, jumlah energi surya yang masuk adalah (Qi) 9.812.649 kcal, energi listrik total 7.812.649 kcal dan energi bahan bakar 21.264.000 kcal. Dengan demikian efisiensi sistem pengering kayu tenaga surya (sistem-B) adalah 17,1 % dan rasio energi surya berguna adalah 25,2 %.

Penggunaan bahan bakar pada 5 hari sebelum akhir pengeringan menunjukkan kecenderungan semakin menurun, sementara pada tahap-tahap tersebut suhu udara pengering yang diinginkan semakin menigkat dan kelembaban semakin menurun sesuai dengan jadwal pengeringan/bagan pengeringan untuk jenis kayu meranti. Hal ini menggambarkan bahwa pada proses pengeringan kayu pada tahap tersebut akan semakin lambat atau proses difusi air dari dalam kayu menuju permukaan sudah semakin lambat, sehingga pengaruh terhadap naiknya kelembaban udara pengering sebagai akibat dari pembentukan uap air kayu tidak memberikan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan *setting point* pada bagan pengeringan. Dengan demikian frekwensi pembukaan atau pembuangan udara melalui damper akan semakin jarang (menurun) dibandingkan dengan hari-hari sebelumnya.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

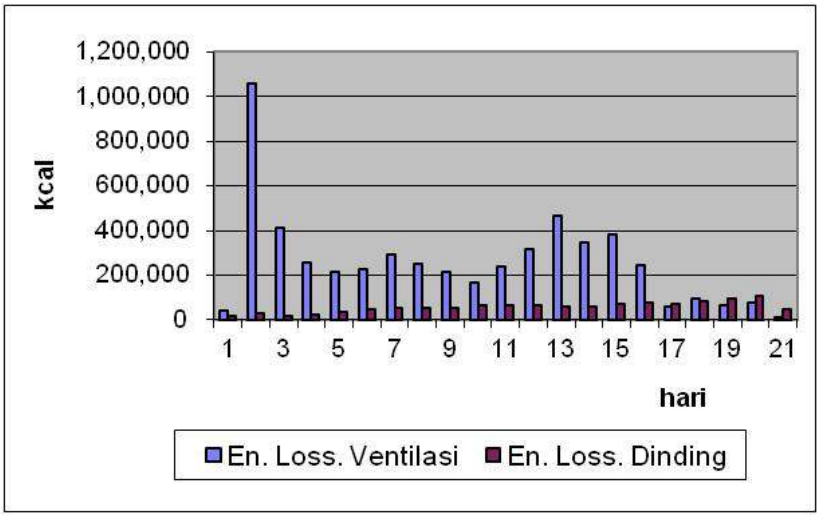
ISSN 1410-3680



Gambar 5.
Grafik Energi Berguna Pada Sistem Pengering.

Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan bahwa pemakaian energi berguna di ruang pengering mempunyai pola yang hampir sama dengan energi yang masuk ke sistem pengering. Dan dengan menggunakan persamaan 6, 7 dan 8 maka jumlah energi berguna di ruang pengering selama proses pengeringan berlangsung masing-masing adalah energi surya 2.495.818 kcal, energi uap panas 12.106.660 kcal, dan energi listrik 6.625.046 kcal. Sehingga energi yang masuk di ruang pengering selama proses pengeringan (sistem-A) sebesar 21.227.524 kcal. Atau efisiensi pengeringannya 31,4 %.

Berdasarkan pada bagan pengeringan, yaitu pengeringan untuk kayu meranti (ref. 3), proses pengeringan diawali dengan kondisi udara pengering pada suhu 50°C, kelembaban 90 % selama 24 jam, Selanjutnya secara bertahap suhu semakin meningkat dan kelembaban makin menurun, dan hingga pada akhir pengeringan suhunya menjadi 80°C, kelembaban 31 %.



Gambar 6.
Grafik Rugi-rugi Panas Pada Sistem Pengering

Dengan menggunakan bagan pengering seperti pada ref. 3 tersebut, rugi-rugi panas harian yang terjadi melalui dinding dari hari kehari berikutnya mempunyai kecenderungan semakin meningkat (lihat Gambar 6), sebagai fungsi dari kenaikan temperatur kerjanya (persamaan 3). Sementara rugi-rugi panas yang terjadi melalui ventilasi sangat berfluktuasi .

Pada awal pengeringan jumlah energi yang terbuang cukup besar, hal ini disebabkan oleh karena kandungan air kayu yang terdapat pada permukaan lebih mudah keluar meninggalkan kayu, sehingga

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mengakibatkan kelembaban disekitarnya akan meningkat[5,6]. Pada saat kondisi udara pengering melampaui kelembaban *setting point*, maka damper akan terbuka, dan udara lembab akan di buang melalui saluran pembuangan dengan bantuan kipas, dan pada saat yang sama udara segar akan ditarik melalui saluran pemasukan. Berdasarkan hasil perhitungan jumlah rugi-rugi panas yang terjadi melalui dinding selama proses pengeringan 1.190.774 kcal. Dan melalui ventilasi 5.439.602 kcal.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian terhadap pemanfaatan termal surya menunjukkan bahwa pengering kayu tenaga surya mampu mengeringkan kayu di industri perkayuan sesuai dengan bagan pengeringan dari jenis kayu yang di inginkan. Hal ini dapat memberikan salah satu peluang terhadap penggunaan energi terbarukan yang lebih luas di sektor industri. Karakteristik pengeringan kayu (bagan pengeringan) untuk berbagai jenis kayu selalu berbeda-beda, dan proses pengeringannya selalu disesuaikan dengan bagan pengering tersebut. Dengan demikian *setting point* yang terdapat pada bagan pengeringan merupakan kondisi operasional pola penggunaan energi pada proses pengeringan. Efisiensi sistem pengering kayu tenaga surya dipengaruhi oleh energi yang masuk ke sistem, sementara penggunaan energi di ruang pengering di atur berdasarkan pada jenis bagan pengeringannya. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh efisiensi sistem pengering kayu tenaga surya sebesar 17,1%, dan rasio energi surya sebesar 25,2%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan dari PT KBA Industri Manis, Tangerang dan dari ENAA Tokyo Japan atas bantuannya pada saat pengujian dilakukan serta kerja sama yang baik yang sudah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Duffie, A. J, Beckman, A. W., *Solar Energy Thermal Processes*, John Willey & Sons, New York, 1974.
2. Mulato,S., *Efisiensi Termal Rumah Asap, Perhitungan dan Masalahnya,* Jurnal Menara Perkebunan, Jakarta, 1987.
3. Mulato,S. Amir, E. J., Silaban, M. , Pass, T. and Muhlbawer, W., *Pemanfaatan Energi Matahari Untuk Pengeringan Buah Kelapa Dan Biji Kakao*, Pros. Seminar Nasional Pengeringan Komoditas Pertanian, Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian, Jakarta, Oktober 1990.
4. Santoso,B., (Pertimbangan Perbaikan Kualitas Kayu Memenuhi Standard Pasar Internasional), *(Proc. Workshop Solar Thermal Energy Utilization System Drying Technology)*, BPP Teknologi, Jakarta, 1995.
5. Yahya A., D., *Target Energi Mix Indonesia Tahun 2025,* Menurut Perpres No.5 Tahun 2006, Media Indonesia, hal..A3, Jakarta, November 2006.
6. ……,*Technology Development For Industrial Application of Solar System*, International Joint R&D Programme of Solar Thermal Energy Utilization System, ENAA- Tokyo Japan, March 1997.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN 1410-3680

Jurnal PEPADU
Online http://jurnal.lppm.unram.ac.id/index.php/jurnalpepadu
e-ISSN: 2715-9574
Vol. 1 No. 4, Oktober 2020

PENGARUH PENYULUHAN TERHADAP PENINGKATAN PEMAHAMAN SISWA PADA PEMANFAATKAN ENERGI TERBARUKAN SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF DI SMAN 4 PRAYA LOMBOK TE NGAH

IGAK Chatur Adhi WA, Made Wijana*, I Wayan Joniarta, I Made Adi Sayoga, dan I Dewa Ketut Okariawan
Teknik Mesin, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram

***Kata Kunci**: energy alternatif, tingkat pemahaman, siswa*

Abstrak: Wilayah Indonesia pada umumnya dan NTB pada khususnya pemanfaatan Energi alternatif ataupun energi terbarukan masih dalam skala kecil dan masih secara tradisional. Pengetahuan masyarakat akan energi alternatif perlu di kembangkan sehingga pola pikir bisa dimulai sejak usia sekolah misalnya sejak SMA, dimana pada usia ini sudah mulai menggunakan energi misalnya BBM Premium untuk kendaraan agar bisa berhemat untuk hal-hal yang penting. Pada tingkat SMA dimana seseorang sudah mulai bisa menganalisa permasalahan dan mencarikan jalan keluarnya sehingga sangat tepat bila pada usia sekolah SMA di berikan pemahaman tentang energy alternatif, diantaranya adalah siswa sekolah di SMAN 4 Praya Kabupaten Lombok Tengah propinsi NTB yang beralamat di JLN.TUAN GURU LOPAN MISPALAH, Kab. *Lombok Tengah*, Nusa Tenggara Barat. Dimana sekolah ini termasuk sekolah unggulan di kabupaten Lombok Tengah. Selain menonjol dalam prestasi olahraganya sekolah ini menyandang status sekolah rujukan bidang kewirausahaan dari Kementerian Pendidikan. sehingga SMAN 4 Praya sangat berpotensi untuk di kembangkan menjadi sekolah Go-Green dan Enviromental Energy Friendly, sehingga bisa menjadi percontohan dalam penggunaan energi baik di lingkungan sekolah maupun di rumah siswa masing-masing. Metode yang digunakan pada program ini yaitu pengenalan materi melalui metode ceramah dan diskusi, Materi yang disampaikan adalah Sumber-sumber energy alternative/terbarukan, Energy Biomassa, Energy Air, Energi Angin, dan Energi Surya. Pada kegiatan ini dilakukan juga evaluasi. Metode evaluasi untuk mengetahui % tingkat pemahaman siswa dilakukan melalui quisioner yang dilakukan sebelum penyuluhan dan sesudah penyuluhan dengan menggunakan skala likert. Secara keseluruhan. pelaksanaan kegiatan berjalan lancar, seluruh siswa yang hadir sangat antusias dalam mengikuti penyuluhan tersebut, karena mereka mendapatkan tambahan wawasan baru tentang energy alternative yang dapat diaplikasikan di kehidupan sehari-hari dan dapat dikembangkan dilingkungan sekitarnya. Berdasarkan evaluasi tingkat pemahaman siswa, program ini dapat dinilai berhasil. Sebelum dilakukan penyuluhan, pemahaman siswa terhadap 4 jenis energy rata-rata 41.40 %, pemahaman siswa yang tertinggi adalah pada energy Air yaitu 47.20 %, diikuti oleh energy biomassa sebesar 44.00 %, energy angin sebesar 41.60 % dan yang terendah adalah energi surya yaitu sebesar 32.80 %. Sedangkan setelah dilakukan penyuluhan, ada peningkatan pemahaman siswa terhadap semua jenis energy yang disampaikan pada program dengan rata-rata sebesar 35.40 %. Peningkatan pemahaman siswa yang tertinggi adalah pada energy Air yaitu 37.60 %, diikuti oleh energy biomassa sebesar 36.00 %, energy surya sebesar 34.40 % dan yang terendah adalah energi angin yaitu sebesar 33.60 %.

Korspodensi email: empatadhi@yahoo.com

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PENDAHULUAN

Sumber energi alternatif adalah sumber energi di luar energi fosil (Minyak bumi dan Batubara) yang bisa di manfaatkan untuk menghasilkan energi untuk menunjang kebutuhan hidup manusia. Penggunan Energi fosil yang berlebihan dan tidak terkendali akan menimbulkan efek buruk bagi kesehatan karena akan menimbulkan polusi udara dan merusak lapisan Ozon sehingga saat ini pemanasan global sudah mulai kita rasakan dimana terjadi mencairnya es di kutub lebih cepat, kenaikan permukaan air laut, curah hujan yang tidak menentu, serta perubahan iklim yang sangat ekstrim. Suatu saat dalam puluhan tahun ke depan persediaan energi fosil akan habis sehingga akan berpengaruh kepada sektor perekonomian global. Beberapa negara maju sudah mulai melakukan penghematan penggunaan energi fosil dengan perbaikan teknologi-teknologi yang hemat dan ramah lingkungan yaitu mengurangi penggunaan kendaraan pribadi, memperbanyak penanaman pohon untuk mengurangi dampak panas. Untuk Wilayah Indonesia pada umumnya dan NTB pada khususnya pemanfaatan Energi alternatif ataupun energi terbarukan masih dalam skala kecil dan masih secara tradisional seperti : pengeringan gabah,kopi,tembakau,jagung dan lain-lain, PLTMH di desa-desa, Bahan bakar Kayu untuk memasak, Biogas untuk peternak di desa-desa dan lain-lain. Secara umum masyarakat masih dimanjakan dengan subsidi energi yang diterapkan oleh pemerintah seperti BBM (Premium dan Solar) Gas Elpiji 3 kg, Listrik PLN (daya 450-900 Watt). Pengetahuan masyarakat akan energi alternatif perlu di kembangkan sehingga pola pikir bisa dimulai sejak usia sekolah misalnya sejak SMA, dimana pada usia ini sudah mulai menggunakan energi misalnya BBM Premium untuk kendaraan agar bisa berhemat untuk hal-hal yang penting. Pada tingkat SMA dimana seseorang sudah mulai bisa menganalisa permasalahan dan mencarikan jalan keluarnya sehingga sangat tepat bila pada usia sekolah SMA di berikan wawasan tentang energi alternatif. Dengan latarbelakang itu maka Tim pengabdian jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram bermaksud menyelenggarakan penyuuhan pemanfaatan energi alternatif bagi siswa sekolah di SMAN 4 Praya Kabupaten Lombok Tengah propinsi NTB yang beralamat di JLN.TUAN GURU LOPAN MISPALAH, Kab. *Lombok Tengah*, Nusa Tenggara Barat. Dimana sekolah ini termasuk sekolah unggulan di kabupaten Lombok Tengah, SMAN 4 Praya genap berusia 12 tahun (tgl.sk. pendirian dan operasional: 18/6/2007). Selain menonjol dalam prestasi olahraganya sekolah ini menyandang status sekolah rujukan bidang kewirausahaan. Predikat itu diterima tahun ini, dari Kementerian Pendidikan. sehingga SMAN 4 Praya sangat berpotensi untuk di kembangkan menjadi sekolah Go-Green dan Enviromental Energy Friendly, sehingga bisa menjadi percontohan dalam penggunaan energi baik di lingkungan sekolah maupun di rumah siswa masing-masing.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

METODE

Untuk memberikan solusi atas masalah diatas maka tim pelaksana Pengabdian kepada masyarakat Fakultas Teknik Universitas Mataram akan memberikan pengenalan kepada siswa mengenai pengenalan pemanfaatan energi alternatif untuk program hemat energi di SMAN 4 Praya, berupa pengenalan dan diskusi kelompok (FGD) yang terarah sehingga bisa mencari solusi bersama-sama.

Pada tahap persiapan dilakukan pemilihan lokasi pelatihan yang tepat, waktu pelaksanaan serta penentuan jumlah yang akan hadir, Persiapan materi pelatihan : modul presentasi disertai contoh gambar-gambar yang ada di masyarakat. Koordinasi dengan kepala Sekolah SMAN 4 Praya untuk mendapatkan peminjaman ruangan kelas dan sarana yang diperlukan untuk pelaksanaan kegiatan,

Pada tahap pelaksanaan, dilakukan pengenalan materi melalui metode ceramah dan diskusi, Materi yang disampaikan adalah Sumber-sumber energy alternative/terbarukan, Energy Biomassa, Energy Air, Energi Angin, dan Energi Surya. Pada kegiatan ini dilakukan juga evaluasi. Metode evaluasi untuk mengetahui % tingkat pemahaman siswa, metode ini dilakukan melalui quisioner yang dilakukan sebelum penyuluhan dan sesudah penyuluhan dengan menggunakan skala likert.

HASIL DAN PRMBAHASAN

Pelaksanaan kegiatan ini berjalan dengan lancar, sesuai rencana awalnya yaitu penyuluhan di hadiri oleh perwakilan tiap-tiap siswa di semua program IPA, pada kelas XII. Dari seluruh siswa yang hadir sangat antusias dalam mengikuti penyuluhan tersebut, karena mereka mendapatkan tambahan wawasan baru tentang energy alternative yang dapat diaplikasikan di kehidupan sehari-hari dan dapat dikembangkan dilingkungan sekitarnya. Siswa bisa bertukar informasi yang ditemui dilapangan saat PSG sehingga menjadi bahan evaluasi dan inspirasi untuk memulai mengembangkan energy alternatif. FGD antara siswa dan tim penyuluh berlangsung interaktif dan dinamis. Sedangkan untuk menilai tingkat pemahaman siswa SMAN 4 Praya pada materi yang disampaikan, maka dilakukan penilaian melalui quisioner sebelum dan sesudah kegiatan. Dengan menggunakan quisioner metode likert. Skala Likert yaitu: 1. Sangat tidak paham 2. Tidak paham 3. Cukup paham 4. Paham 5. Sangat paham. Rumus yang digunakan untuk mengetahui (%) Pemahaman siswa yaitu:

% Tingkat pemahaman siswa = (nilai likert quisioner/nilai mak. likert)x 100%

Adapun hasilnya nilai likert dan % Tingkat pemahaman siswa sebagai berikut:
1. Sebelum Penyuluhan (Pre Test)
Nilai skala Likert

NILAI SKALA LIKERT		SISWA																									
JENIS ENERGI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	SUM	RERATA
ENERGI AIR	3	2	2	3	2	3	2	2	2	3	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	2	3	59	2.36
ENERGI SURYA	2	3	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	41	1.64
ENERGI BIOMASSA	2	3	2	3	1	2	3	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	2	2	3	55	2.20
ENERGI ANGIN	2	2	2	2	2	1	2	3	2	1	2	2	3	2	1	3	1	2	2	3	2	1	3	3	3	52	2.08

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

e-ISSN: 2715-9574
Vol. 1 No. 4, Oktober 2020

% Tingkat pemahaman siswa

JENIS ENERGI	SISWA																									SUM	RERATA
ENERGI AIR	60	40	40	60	40	60	40	40	40	60	40	60	40	40	60	40	40	60	40	40	60	40	40	40	60	1180	47.20
ENERGI SURYA	40	60	40	40	20	40	40	40	20	20	40	20	40	20	20	20	40	40	20	20	40	20	40	40	40	820	32.80
ENERGI BIOMASSA	40	60	40	60	20	40	60	40	40	60	40	60	40	40	40	40	40	40	40	40	60	20	40	40	60	1100	44.00
ENERGI ANGIN	40	40	40	40	40	20	40	60	40	20	40	40	60	40	20	60	20	40	40	60	40	20	60	60	60	1040	41.60

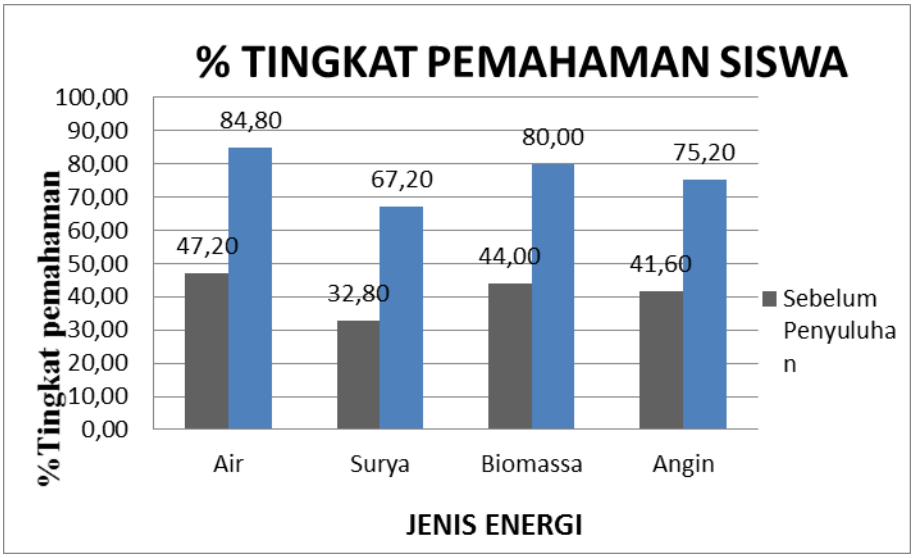
2.Setelah Penyuluhan (Pos Test)

Nilai skala Likert

NILAI SKALA LIKERT	SISWA																										
JENIS ENERGI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	SUM	RERATA
ENERGI AIR	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	4	5	4	106	4.24
ENERGI SURYA	3	3	3	4	3	4	4	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	4	3	84	3.36
ENERGI BIOMASSA	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	100	4.00
ENERGI ANGIN	3	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	3	4	4	4	4	5	4	4	4	94	3.76

% Tingkat pemahaman siswa

JENIS ENERGI	SISWA																									SUM	RERATA
ENERGI AIR	80	80	80	80	80	100	80	80	80	80	80	80	100	100	80	80	80	80	80	80	100	100	80	100	80	2120	84.80
ENERGI SURYA	60	60	60	80	60	80	80	60	60	80	80	80	60	60	60	60	60	80	60	60	60	60	80	80	60	1680	67.20
ENERGI BIOMASSA	80	80	80	80	80	100	80	80	80	80	80	80	80	60	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	2000	80.00
ENERGI ANGIN	60	80	60	60	80	60	80	80	80	80	80	60	80	60	80	80	60	80	80	80	80	100	80	80	80	1880	75.20



Tingkat pemahaman:
1. sangat tidak paham
2. tidak paham

Berdasarkan grafik % tingkat pemahaman siswa dapat dilihat bahwa sebelum dilakukan penyuluhan, pemahaman siswa terhadap 4 jenis energy rata-rata 41.40 %, pemahaman siswa yang tertinggi adalah pada energy Air yaitu 47.20 %, diikuti oleh energy biomassa sebesar 44.00 %, energy angin sebesar 41.60 % dan yang terendah adalah energi surya yaitu sebesar 32.80 %. Sedangkan setelah dilakukan penyuluhan, ada peningkatan pemahaman siswa terhadap semua jenis energy yang disampaikan pada program dengan rata-rata sebesar 35.40 %. Peningkatan pemahaman siswa yang tertinggi adalah pada energy Air yaitu 37.60 %, diikuti oleh energy biomassa sebesar 36.00 %, energy surya sebesar 34.40 % dan yang terendah adalah energi angin yaitu sebesar 33.60 %.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

KESIMPULAN

1. Dalam pelaksanaan kegiatan penyuluhan ini pengaturan jadwal dengan Kepala Sekolah SMAN 4 Praya, berjalan lancar, sehingga sesuai rencana awalnya yaitu penyuluhan di hadiri oleh perwakilan tiap-tiap siswa di semua program IPA, pada kelas XII.
2. Dari seluruh siswa yang hadir sangat antusias dalam mengikuti penyuluhan tersebut, karena mereka mendapatkan tambahan wawasan baru tentang energy alternative yang dapat diaplikasikan di kehidupan sehari-hari dan dapat dikembangkan dilingkungan sekitarnya.
3. Berdasarkan evaluasi, sebelum dilakukan penyuluhan, pemahaman siswa terhadap 4 jenis energy rata-rata 41.40 %, pemahaman siswa yang tertinggi adalah pada energy Air yaitu 47.20 %, diikuti oleh energy biomassa sebesar 44.00 %, energy angin sebesar 41.60 % dan yang terendah adalah energi surya yaitu sebesar 32.80 %. Sedangkan setelah dilakukan penyuluhan, ada peningkatan pemahaman siswa terhadap semua jenis energy yang disampaikan pada program dengan rata-rata sebesar 35.40 %. Peningkatan pemahaman siswa yang tertinggi adalah pada energy Air yaitu 37.60 %, diikuti oleh energy biomassa sebesar 36.00 %, energy surya sebesar 34.40 % dan yang terendah adalah energi angin yaitu sebesar 33.60 %.
4. Siswa bisa bertukar informasi yang ditemui dilapangan saat PSG sehingga menjadi bahan evaluasi dan inspirasi untuk memulai mengembangkan energy alternatif.
5. FGD antara siswa dan tim penyuluh berlangsung interaktif dan dinamis

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, Materi Kuliah Teknik Pembakaran Bahan Bakar, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram,

Tasliman Ir,M.Eng, 2009, *Teknologi Gasifikasi Biomassa,* http://io.ppi-jepang.org /article.php

Wijana, M., 2010, Application Of Value Engineering To The Design Of Biomass Charcoal Briquet Stove With Continue System And Semi Automatic Ignitation As An Effort To Facilitate The Using Of Alternative Energy To Subtitute Petroleum “Procedding seminar internasional (ISECE)

Wikipedian, Global Altenatif and Renewable Energy

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PEMANFAATAN DAN PENELITIAN ENERGI MEDAN MAGNET BUMI SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK TERBARUKAN DENGAN LAYANG-LAYANG

Sabtiyan Khasanudin dan Budi Prijo Sembodo
Teknik Elektro Universitas PGRI Adi Buana Surabaya dan sabtiyank@gmail.com

Abstrak

Krisis energi khususnya energi listrik yang melanda Indonesia dan negara di dunia telah memaksa berbagai pihak untuk mencari solusi dalam mengatasi persoalan ini. Banyak sekali penelitian yang telah dilakukan untuk mencari sumber energi alternatif selain dari minyak bumi, batubara dan gas alam. Sumber energi tersebut menyebabkan pencemaran udara, air dan tanah serta menghasilkan gas rumah kaca (green house gas) yang berperan dalam pemanasan global. Oleh sebab itu, dilakukan penelitian di berbagai energi alternatif dan terbarukan (go green) , diantaranya energi medan magnet bumi, biomassa ,energi panas bumi, energi surya, energi air, energi angin dan energi samudera. Disini penulis tertarik untuk mengkaji energi magnet bumi khususnya energi medan magnet bumi sebagai energi alternative di masa depan .

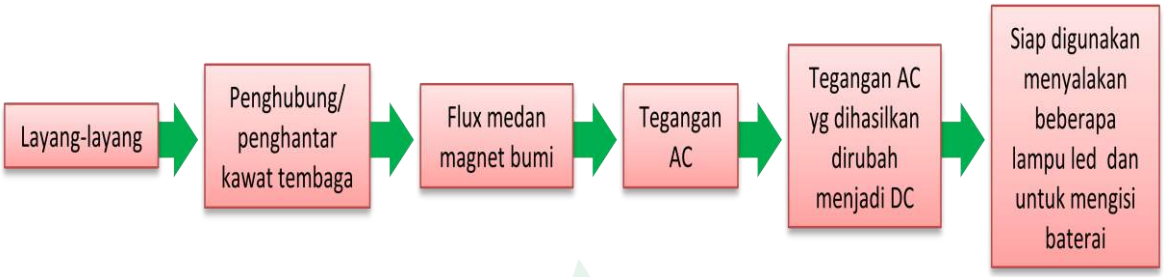
KATA KUNCI: Bahan bakar fosil , Greenhouse gas, Pemanasan global ,Energi terbarukan ,Medan magnet bumi.

PENDAHULUAN

Selama ini banyak negara yang mengantungkan sumber energinya pada batubara, minyak bumi dan gas alam. Namun ketergantungan terhadap bahan bakar fosil menjadi masalah besar. Hal ini dikarenakan keterbatasan bahan bakar fosil sebagai sumber daya alam yang tidak terbarukan. Pada akhirnya akan kehabisan bahan bakar fosil atau bahan bakar fosil akan menjadi barang yang sangat mahal jika ingin dipertahankan sebagai sumber energi. Di samping itu, bahan bakar fosil merupakan penyebab pencemaran udara, air dan tanah serta menghasilkan gas rumah kaca (green house gas) yang berperan dalam pemanasan global.Untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat tersebut, dikembangkan berbagai energi alternatif, di antaranya energi terbarukan. Potensi energi terbarukan, seperti: energi magnet bumi, biomassa, biogas, energi panas bumi, energi surya, energi air, energi angin dan energi samudera, sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan, padahal potensi energi terbarukan di Indonesia sangatlah besar. Berdasarkan permasalahan diatas maka penulis tertarik untuk mengkaji energi magnet bumi diantaranya yaitu "***pemanfatan dan penelitian energi terbarukan medan magnet bumi sebagai sumber energi listrik terbarukan dengan bantuan layang -layang***" sebagai upaya pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia.

METODOLOGI PENELITIAN

Rancangan penelitian ini menggunakan metode diskriptif dan eksperimental dimana dalam tahap pertama dilakukannya penelitan tentang ketinggian medan magnet bumi yang ada guna menentukan besarnya tegangan yang dihasilkan dari kawat tembaga yang memotong flux medan magnet bumi dengan bantuan layang-layang,desain penelitian ini merupakan desain pembangkit listrik dihasilkan dari energi medan magnet bumi dengan bantuan layang-layang.di Indonesia yang tidak menggunakan turbin.



PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

HASIL PENELITIAN

Cara kerja alat dan pengukuran penelitian kali ini adalah dengan melabeli kawat tembaga setiap 5 meter kemudian menyambungkan pada layang-layang yang telah di buat, setelah itu menerbangkannya sampai mendeteksi flux magnet bumi sesuai dengan label ketinggian. Siapkan dan sambung kabel grounding ke tanah sebagai nol/netral, kemudian sambungkan ke 20 lampu led sebagai media untuk melihat apakan ada listrik. Siapkan multimeter (AVOmeter) untuk mengetahui tegangan yang di bangkitkan dan di catat tegangan yang dihasilkan dan di amati tegangan keluaran yang dihasilkan per 5 meter. sehingga dapat kita lihat hasilnya seperti pada tabel berikut ini.

Tabel hasil pengukuran 1

No	Ketinggian (meter)	Voltase yg dibangkitkan
1	0	0
2	5	0
3	10	0
4	15	0
5	20	0
6	25	0
7	30	0.5
8	35	0.7
9	40	1
10	45	2.5
11	50	3.5
12	55	3.5
13	60	3.8
14	65	4
15	70	6
16	75	8
17	80	10
18	85	11
19	90	12
20	95	17
21	100	20
22	105	22.5
23	110	25
24	115	100
25	120	178
26	125	180
27	130	187
28	135	195
29	140	200
30	145	280

Tabel hasil pengukuran 2

No	Ketinggian (meter)	Voltase yg dibangkitkan
1	0	0
2	5	0
3	10	0

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4	15	0
5	20	0
6	25	0.2
7	30	0.6
8	35	0.7
9	40	1.1
10	45	2.5
11	50	3.5
12	55	3.7
13	60	3.9
14	65	4
15	70	5
16	75	7
17	80	10
18	85	11.3
19	90	12
20	95	15.8
21	100	20
22	105	22.5
23	110	25
24	115	26
25	120	28
26	125	30
27	130	30
28	135	32
29	140	35
30	145	38
31	150	45

Tabel hasil pengukuran 3

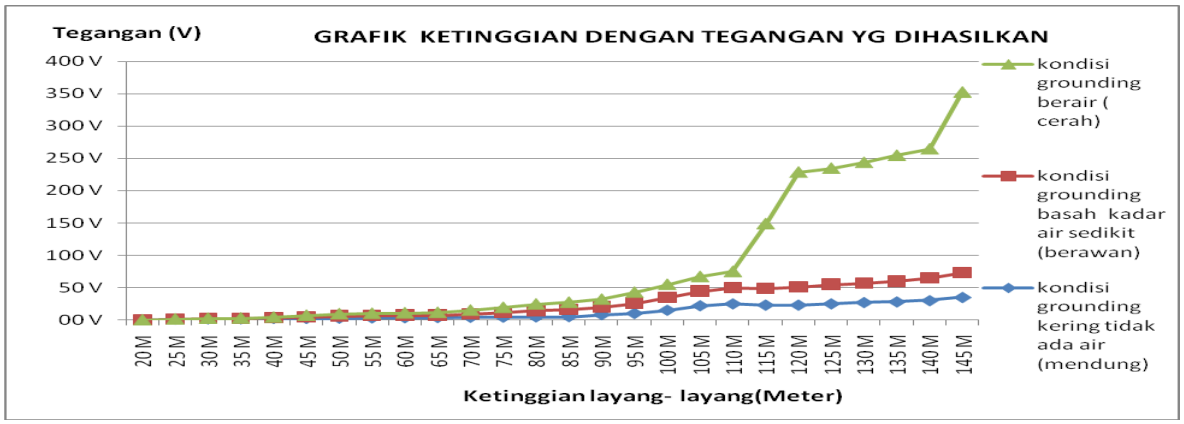
No	Ketinggian (meter)	Voltase yg dibangkitkan
1	0	0
2	5	0
3	10	0
4	15	0
5	20	0
6	25	0.9
7	30	1.4
8	35	1.5
9	40	2
10	45	2.1
11	50	2.5
12	55	2.9
13	60	3.2
14	65	3.5

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

15	70	4
16	75	4.2
17	80	4.5
18	85	5
19	90	8
20	95	10
21	100	15
22	105	22
23	110	25
24	115	23
25	120	23
26	125	25
27	130	27
28	135	28
29	140	30
30	145	35

PEMBAHASAN

Dari 3 tabel hasil penelitian untuk mempermudah pembahasan, kita buat grafik ketinggian layang-layang dengan tegangan yang di hasilkan.



Grafik ketinggian layang-layang dengan tegangan yang di hasilkan.

Analisa data penelitian

Ketinggian layang- layang mempengaruhi tegangan yang dihasilkan melihat grafik tegangan yang semakin besar. Semakin tinggi semakin banyak flux medan magnet bumi yang tertangkap oleh penghantar kawat tembaga sehingga semakin tinggi semakin besar pula tegangan yang di bangkitkan. Kondisi cuaca / mendung / berawan akan mempengaruhi banyaknya flux medan magnet bumi yang akan di tangkap dan induksikan pada kawat tembaga sehingga mempengaruhi teganggan yang dihasilkan. Kondisi pada grounding pembumian yang akan kita jadikan netral atau nol pada pengukuran dari penelitian kali ini sangat menentukan nilai tegangan yang dihasilkan / dibaca oleh alat ukur tegangan (AVO meter)

Prinsip terbentuknya gaya gerak listrik (GGL) dalam sebuah penghantar merupakan peristiwa induksi ***Apabila sebatang penghantar digerak-gerakkan sedemikian rupa dalam medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk GGL induksi*.** Dengan mengunakan rumus farady tentang induksi elektro magnetik yaitu :

E = B. *l*.v

l = Panjang penghantar/kawat (meter)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

B = Besar induksi magnetic (W/m2 / Tesla)
V = Kecepatan gerak penghantar (m/s)
E= Gaya gerak listrik imbas (induksi (volt)

Arus listrik dapat digambarkan sebagai partikel bermuatan yang bergerak. Dalam hal ini kawat tembaga/ penghantar sebagai konduktor dengan panjang (***l***) melewati flux medan manget bumi sebesar (**B**) dan digerakan oleh rotasi bumi yang berputar dengan kecepatan (**v**) maka penghantar akan mengalami induksi gaya listrik sebesar E (Gaya gerak listrik imbas (induksi) (volt).

Berikut ini analisa perhitungan pada tabel penelitian medan magnet bumi sesuai dengan rumus induksi elektromagnetik.

Kuat medan flux magnet bumi IGRF B (tesla)	Ketinggian Layang-layang L (meter)	Kecepatan rotasi bumi V (m/s)	Hasil sesuai rumus E = BxXv (volt)	Hasil uji coba data 1 yang didapat E= hasil penelitian (volt)
0.0000453	25	463,8805556	0,525344729	0,3
0.0000453	30	463,8805556	0,630413675	0,5
0.0000453	35	463,8805556	0,735482621	0,7
0.0000453	40	463,8805556	0,840551567	1

Interpretasi data Berdasarkan penelitian flux medan magnet bumi diatas Untuk nilai besarnya E listrik yang dihasilkan dari penelitian flux medan magnet bumi kali ini ,disebabkan dari beberapa faktor nilai yang menpengaruhinya yaitu :

Nilai B kuat medan flux magnet bumi berdasarkan IGRF 11 yang ada saat ini yang terdeteksi oleh alat magneto meter di pasang pada permukaan bumi lapisan permukaan kerak bumi sehingga kita asumsikan di ketinggian ± 40 meter diatas permukaan air laut. Untuk itu perhitungan sementara kita samakan nilai IGRF11 (International Geomagnetics Reference Field) yaitu sebesar 45300 nT di pulau jawa.Semakin panjang kawat tembaga / penghantar (*l*) semakin tinggi pula layang- layang yang diterbangkan sehingga semakin besar flux medan magnet bumi yang dihasilkan atau tertangkap oleh penghantar kawat tembaga yang pada akhirnya semakin panjang, semakin tinggi dan semakin besar pula tegangan E yang dibangkitkan.
Nilai kecepatan (v) rotasi bumi semakin tinggi semakin cepat pula rotasinya dapat dihitung mengunakan rumus dibawah sehingga semakin cepat kecepatan rotasi bumi semakin besar pula tegangan E yang akan di bangkitkan.
Kecepatan rotasi bumi = (phi x (D bumi +ketinggian layang-layang))km : 24 jam kecepatan rotasi bumi (v)=……km/jam

Berdasarkan interpretasi data diatas, bahwa E listrik yang dihasilkan bergantung pada nilai medan magnet bumi (B) semakin besar nilai B semakin tinggi nilai E listrik yang dibangkitkan ,namun untuk besar nilai B medan magnet bumi sementara kita samakan nilainya IGRF dalam memudahkan perhitungannya . yang kedua bergantung pada nilai panjang penghantar (*l*), semakin panjang kawat / penghantar semakin tinggi pula layang- layang yang diterbangkan sehingga semakin besar flux medan magnet bumi yang di angkasa tertangkap oleh penghantar kawat tembaga yang pada akhirnya semakin panjang, semakin tinggi dan semakin besar pula tegangan E listrik yang di bangkitkan.Yang ketiga untuk kecepatan rotasi bumi (v) semakin bertambah ketinggiannya semakin besar pula nilai kecepatan rotasi bumi sesuai dengan tabel perhitungan rumus sehingga mempengaruhi terhadap perhitungan nilai E listrik yang dihasilkan . dari sini yang kelihatan dominan bisa menambah nilai E listrik di hasilkan yaitu ketinggian layang – layang.

SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

Dalam penelitian ini tegangan yang dihasilkan dipengaruhi oleh banyaknya flux magnet bumi. Semakin tinggi layang- layang, semakin banyak flux medan magnet bumi yang tertangkap oleh penghantar kawat tembaga sehingga semakin tinggi layang- layang semakin besar pula tegangan yang dihasilkan. Kondisi cuaca cerah / mendung / berawan akan mempengaruhi banyaknya flux medan magnet bumi yang akan ditangkap dan induksikan pada kawat tembaga sehingga mempengaruhi tegangan yang dihasilkan. Kondisi pada grounding pembumian yang akan kita jadikan netral atau nol pada pengukuran dari penelitian kali ini sangat menentukan nilai tegangan yang dihasilkan, yang terbaca oleh alat ukur tegangan (AVO meter).Besar kecilnya

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

diameter kawat tembaga penghantar perlu diperhitungkan karena mempengaruhi beban kerja layang-layang untuk mengangkut kawat tembaga penghantar memotong flux medan magnet bumi.Pada pemaanfaatan dan penelitian energi terbarukan medan magnet bumi sebagai sumber energi listrik alternatif , murah dan ramah lingkungan (go green) dapat menyalakan 20 lampu led dan mengisi baterai hp.

SARAN

Dalam perancangan dan penelitian medan magnet bumi beberapa kendala, yaitu kondisi cuaca yang mepengaruhi tegangan yang dihasilkan. Ketersediaan angin disini sangat diperlukan untuk menaikan layang-layang, karena sangat cocok diaplikasikan di daerah pantai yang kaya dengan energi angin. Keterbatasan waktu dalam bereksperimen lebih jauh lagi , tentang alat untuk menangkap medan magnet bumi sebagai sumber energi alternative di masa akan datang untuk menghasilkan daya listrik yang lebih besar lagi, murah dan ramah lingkungan (go green). Energi dari alam , produksinya tergantung dari alam dan cuaca. Dari faktor safety hati-hati dalam bekerja untuk penelitian kali ini selalu menggunakan APD (sarung tangan dan sepatu safety) agar tidak tersengat listrik pada saat memegang kawat tembaga / penghantar yang bertegangan. melihat kondisi cuaca dan hati-hati pada saat musim hujan dari bahaya terkena sambaran petir.

DAFTAR PUSTAKA

Danang rudianto .2012.*Hukum-hukum kelistrikan* (http://blenthung.blogspot.com/2012/06/hukum-hukum- kelistrikan.html) (tanggal mengunduh:16-12-2012)

Daryanto.2005.*Pengetahuan Teknik Elektronika*.Bumi Aksara:Jakarta

DAVID HALLIDAY & ROBERT RESNICK.1990.*Fisika edisi ke3 jilid 2.* ERLANGGA:Jakarta

Haxims. 2009. Pembangkit Listrik dari Layangan (http://haxims.blogspot.com/2009/11/pembangkit-listrik-dari-layangan-energi.html) (tanggal mengunduh:17-12-2012)

Hugh Dyoung & ronger A freedman.2004.*Fisika universitas edisi ke 10 jilid 2*.Erlangga:Jakarta

Iswanti Sihaloho.2012.*Percobaan Oersted* (http://iswantisihaloho.blogspot.com) (tanggal mengunduh:17-12-2012)

John wiley & sons.1978.*PHYSICS,3rd Edition.*inc : new york

pustakafisika .2012 *medan magnet bumi*.(http://pustakafisika.wordpress.com) (tanggal mengunduh:17-12-2012)

Sudjana, 1994, Desain dan Analisis Eksperimen, Penerbit Tarsito Bandung.

Sukardi, 2004, Metodologi Penelitian Pendidikan, Bumi Aksara, Jakarta

Wikipedia.2012.*ANGIN*. http://id.wikipedia.org/wiki/Angin (tanggal mengunduh:15-12-2012)

Wikipedia.2012.*Layang-layang* (http://id.wikipedia.org/wiki/Layang-layang) (tanggal mengunduh:15-12-2012)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Inovasi Hasil Pengabdian Masyarakat (JIPEMAS)
Volume 4, Nomor 3, (2021) pp. 451-464
pISSN 2654-282X | eISSN 2621-783X

Akreditasi S4 - SK No. 36/E/KPT/2019
http://riset.unisma.ac.id/index.php/jipemas/article/view/11298
DOI: 10.33474/jipemas.v4i3.11298



Pemanfaatan energi terbarukan dalam upaya swasembada listrik di kawasan wisata edukasi pedesaan

Lanny Agustine[1]*, Albert Gunadhi[2], Diana L. Antonia[3], Widya A. Weliamto[4], Peter R. Angka[5], Rasional Sitepu[6], Hartono Pranjoto[7], Andrew Joewono[8], Yuliati[9], Andrew F. Miyata[10]

[1]*Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Indonesia, email: lanny.agustine@ukwms.ac.id*
[2]*Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Indonesia, email: albert@ukwms.ac.id*
[3]*Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Indonesia, email: diana@ukwms.ac.id*
[4]*Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Indonesia, email: widya_andy@yahoo.com*
[5]*Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Indonesia, email: peter@ukwms.ac.id*
[6]*Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Indonesia, email: rasional@ukwms.ac.id*
[7]*Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Indonesia, email: pranjoto@ukwms.ac.id*
[8]*Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Indonesia, email: andrew_sby@ukwms.ac.id*
[9]*Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Indonesia, email: yuliati@ukwms.ac.id*
[10]*Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Indonesia, email: andrewfebrian3@gmail.com*
**Koresponden penulis*

Info Artikel

Diajukan: 24 Jun 2021
Diterima: 07 Nov 2021
Diterbitkan: 20 Nov 2021

Keywords:
educational tourism; Solar energy; Self-sufficiency

Kata Kunci:
wisata pendidikan; tenaga surya; swasembada

Lisensi:
cc-by-sa

Abstract

Cottok Innovation Park (CIP) is a tourist area that develops technology-based educational tourism. CIP is located on a broad hill. This area was in a barren state when the first service activities were carried out at the beginning of development in 2017. The PLN electricity network is also not yet available because it is far from residential areas. Solar-based technology has been applied and developed sustainably at CIP as an effort to be self-sufficient in electrical energy to provide water and lighting. Water is obtained by a solar pump from a groundwater source at a depth of 40 m. Currently, CIP has grown rapidly and provides night tours. The latest community service activities results are off-grid PLTS-based road signs and the CIP icon lamp to support night tourism. A further effect of this sustainable community service activity is the motivation and confidence of village youth to be involved in village development programs as tourist areas and children's education. It has also impacted the decline in the number of poor people in the village of Curah Cottok.

Abstrak

Cottok Innovation Park (CIP) merupakan kawasan wisata yang mengembangkan wisata pendidikan berbasis teknologi. CIP terletak diatas bukit yang luas. Kawasan ini dalam keadaan tandus saat kegiatan pengabdian pertama dilakukan diawal pengembangan pada tahun 2017. Jaringan listrik PLN juga belum tersedia hingga saat ini karena jauh dari pemukiman warga. Teknologi berbasis tenaga surya telah diterapkan dan dikembangkan secara berkelanjutan di CIP sebagai upaya swasembada energi listrik untuk menyediakan air dan penerangan. Air diperoleh dengan pompa tenaga surya dari sumber air tanah di kedalaman 40 m. Saat ini CIP telah berkembang pesat dan menyediakan wisata malam. Hasil dari kegiatan pengabdian masyarakat terbaru adalah lampu penunjuk jalan berbasis PLTS off grid dan lampu ikon CIP untuk menunjang wisata malam. Efek lanjut

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International License

dari kegiatan pengabdian masyarakat yang berkesinambungan ini yaitu timbulnya motivasi dan rasa percaya diri kaum muda desa untuk terlibat dalam program pengembangan desa sebagai kawasan wisata dan pendidikan anak. Ini juga berdampak pada turunnya jumlah masyarakat miskin di desa Curah Cottok.

PENDAHULUAN

Desa Curah Cottok, Kec. Kapongan, Kab. Situbondo, Jatim dengan 565 kepala keluarga mayoritas mata pencahariannya di bidang pertanian yaitu 27% petani dan 40% buruh tani. Pada tahun 2017 sebanyak 80 persen warga desa Curah Cottok tergolong miskin. Banyak lahan kering dan tandus karena hanya mengandalkan air hujan sehingga tidak dapat ditanami untuk kegiatan pertanian (Anggorowati et al., 2021; Darma, 2018). Sebagaimana desa lainnya di Indonesia, di desa Curah Cottok pun masih terdapat daerah yang belum terjangkau oleh jaringan PLN, terutama di area pertanian seperti di kawasan bukit Cottok (Bappeda Provinsi Jawa Timur, 2013). Namun demikian, terdapat sejumlah potensi dari desa tersebut. Lahan yang tandus itu cukup luas dan dapat dimanfaatkan menjadi tempat inovasi berkelanjutan, baik sebagai tempat wisata, wahana pendidikan berbasis pertanian atau peternakan, dan sebagainya. Pada lahan tandus tersebut juga terdapat sumber air tanah yang dapat dijadikan sumur dengan cara mengebor ke kedalaman tanah (Sitorus, 2016; Sulistyaningsih & Yekti, 2017).

Peluang peningkatan kesejahteraan masyarakat desa Curah Cottok cukup besar jika dilakukan melalui pendekatan inovasi berkelanjutan. Salah satu inovasi yang pertama kali perlu dilakukan adalah pengembangan infrastruktur terutama untuk penyediaan energi listrik. Dengan adanya energi listrik, maka pompa listrik dapat digunakan untuk menaikkan air tanah ke atas bukit Cottok. Listrik tersebut juga dapat dijadikan energi penerangan pada malam hari sehingga kawasan tidak lagi menjadi angker karena gelap, melainkan menjadi kawasan yang ramah bagi masyarakat. Desa Curah Cottok harus mengupayakan swasembada energi listrik karena bukit Cottok bukan area pemukiman penduduk sehingga tidak tersedia jaringan PLN. Untuk itu, perlu alternatif sumber energi listrik di kawasan tersebut. Saat ini sudah tersedia berbagai jenis energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk swasembada energi listrik v(Naim, 2017; Roza & Mujirudin, 2019). Kebijakan energi nasional telah mendukung penggunaan energi terbarukan dengan menetapkan sasaran 23% kapasitas energi menggunakan sumber energi baru dan terbarukan (EBT) pada tahun 2025, dan naik menjadi 31% pada tahun 2050. Pemanfaatan EBT terus didorong agar dapat menekan emisi gas CO2 di udara (Kementerian ESDM RI, 2018).

Kesadaran masyarakat untuk berpartisipasi mengurangi pemanasan global dan polusi dengan memanfaatkan energi yang lebih bersih sudah makin meningkat (Kementerian ESDM RI, 2020), demikian halnya dengan perangkat desa Curah Cottok. Potensi energi dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Jawa Timur dapat mencapai 10.335 MW. PLN mempunyai target untuk realisasi PLTS pada tahun 2019-2028 dengan kapasitas 250 MW (Arinaldo & Christian, 2018). Desa ini dan sekitarnya rata-rata per tahun hanya

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International LIcens

mengalami 4 bulan musim penghujan. Dengan curah hujan yang demikian sedikit, maka lahan pertanian cenderung tandus, sehingga cukup banyak lahan terbuka dengan pancaran matahari cukup terik sejak pagi hingga menjelang sore hari. Kondisi daerah seperti ini sangat cocok untuk aplikasi teknologi tenaga surya (Anggorowati et al., 2021; Bappeda Provinsi Jawa Timur, 2013). Kondisi ini sangat mendukung untuk terlaksananya konservasi energi yang berkelanjutan.

Berdasarkan analisa kondisi desa Curah Cottok tersebut, sejak awal 2018 telah dicanangkan pengembangan bukit Cottok menjadi Cottok Innovation Park (CIP). CIP dipersiapkan menjadi tempat wisata berbasis pendidikan agar masyarakat dapat belajar teknologi terbaru, salah satunya pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), dan berinovasi secara berkelanjutan di kawasan tersebut. Pengembangan tersebut direncanakan dengan melibatkan berbagai pihak melalui kegiatan bina desa dan pengabdian masyarakat. Untuk merealisasikan CIP, Kepala Desa Curah Cottok bekerjasama dengan Program Studi Teknik Elektro Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya (PS-TE UKWMS) dan Badan Usaha Milik Desa (BUMDes) (Putra, 2018). PS-TE UKWMS selanjutnya mengadakan sejumlah kegiatan pengabdian masyarakat untuk pengembangan bukit Cottok.

Pada kegiatan pengabdian masyarakat terdahulu, telah dilakukan pengenalan tentang teknologi tenaga surya hingga implementasinya. Untuk mendukung cita-cita pemerintah desa menciptakan lapangan usaha baru berbasis teknologi, maka perlu diberikan pelatihan serupa kepada lebih banyak lagi kelompok warga yang belum berkesempatan mengikuti kegiatan terdahulu. Untuk itu, dengan kegiatan kali ini masih difokuskan pada transfer *technical knowledge* pada kaum muda di desa Curah Cottok untuk mengaplikasikan teknologi tenaga surya di desa tersebut. Dengan demikian, lebih banyak lagi kaum muda desa dapat termotivasi dan terlibat dalam upaya pengembangan swasembada energi listrik di desa Curah Cottok, dan impian tersedianya lapangan usaha baru berbasis teknologi dapat terwujud.

METODE PELAKSANAAN

Metode pelaksanaan kegiatan pengabdian pada masyarakat kali ini terdiri dari beberapa tahap. Tahap persiapan diawali dengan penggalian ide topik yang tepat untuk diberikan. Tahap ini merupakan hasil dari evaluasi kegiatan abdimas sebelumnya dan diskusi lebih lanjut dengan perangkat desa. Rencana pembuatan lampu penunjuk jalan berbasis PLTS merupakan ide yang disampaikan oleh pihak desa di kegiatan abdimas sebelumnya. Ada dua hal yang mendasari ide tersebut. Pertama, bukit Cottok telah berkembang menjadi kawasan wisata yang menyediakan berbagai wahana wisata untuk pagi maupun malam hari. Kedua, jalan masuk dari desa menuju bukit Cottok cukup jauh dan melewati area diluar pemukiman penduduk dan tidak tersedia jaringan PLN. Berdasarkan pemikiran tersebut dan hasil diskusi dengan perangkat desa, maka muncul ide untuk membuat penunjuk jalan yang dilengkapi dengan penerangan dengan sumber daya mandiri berbasis PLTS. Kemudian, dilakukan pengumpulan informasi tentang situasi lokasi yang menjadi sasaran aplikasi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International License

lampu penunjuk jalan yang strategis dilewati pengunjung ke arah bukit Cottok sehingga efektif untuk penunjuk arah, menarik untuk dilihat, dan dapat terlihat jelas dari jalan yang dilewati pengunjung pada siang maupun malam hari. Penempatan lampu penunjuk jalan berbasis PLTS didiskusikan dengan perangkat desa sehingga sesuai dengan kebutuhan di lokasi.

Tahap selanjutnya adalah perancangan dan realisasi bagian-bagian lampu penunjuk jalan berbasis tenaga surya dan lampu ikon CIP yang melibatkan sejumlah 9 mahasiswa. Bagian-bagian kerangka lampu penunjuk jalan dikerjakan terlebih dahulu di kampus, dan pengujian terhadap komponen juga dilakukan sebelum pengiriman perangkat ke lokasi CIP. Lampu ikon CIP didesain menggunakan bahan warna-warni sesuai logo tempat wisata tersebut. Pada tahap ini juga dibuat modul yang berisi penjelasan bagian-bagian alat dan kegunaannya, metode perhitungan desain dan pemilihan bagian-bagian alat sesuai kebutuhan, serta cara perakitan lampu penunjuk jalan berbasis tenaga surya.

Tahap akhir yaitu implementasi dan instalasi hasil rancangan dan perakitan lampu penunjuk jalan berbasis energi surya pada jalan desa menuju bukit CIP dan lampu ikon CIP di puncak bukit area pintu masuk tempat wisata. Pada tahap ini peserta dibagi dalam kelompok. Masing-masing kelompok didampingi oleh 1 orang mahasiswa dan dalam pengawasan dosen. Hal ini ditujukan agar peserta dapat lebih fokus dan lebih bebas bereksplorasi untuk mendalami bagian-bagian peralatan yang umum digunakan bersama penerapan teknologi pembangkit listrik tenaga surya. Pada akhir sesi pelatihan, peserta dan tim pengabdian masyarakat berkumpul kembali untuk melakukan evaluasi kegiatan melalui pengisian kuesioner dan wawancara sebagai masukan untuk tindak lanjut kegiatan abdimas ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setiap kegiatan yang diberikan dalam pengabdian masyarakat akan mengangkat aplikasi yang paling dibutuhkan untuk pengembangan desa. Peserta kegiatan diatur agar mayoritas terdiri dari kaum muda desa yang berbeda-beda. Ini bertujuan untuk membuka wawasan lebih banyak anggota masyarakat tentang teknologi tepat guna yang dapat diterapkan oleh dan untuk masyarakat desa. Kaum muda diajak untuk berpikir, sehingga wawasannya lebih terbuka dan nantinya mampu mengimplementasikan teknologi tepat guna yang sudah dipelajari untuk meningkatkan perekonomian di desa tersebut. Dari implementasi teknologi tepat guna tersebut, kaum muda akan ditantang lebih lanjut untuk mengkomersialkannya, dan pada akhirnya kaum muda dapat berwiraswasta untuk mengembangkan perekonomian desa di lingkungan bukit Cottok.

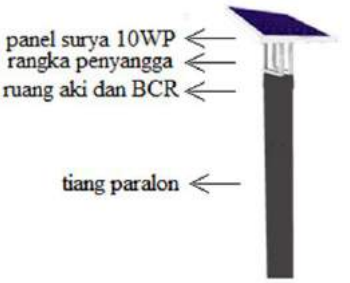
Kegiatan abdimas masyarakat kali ini berupa pemanfaatan listrik tenaga surya lampu penunjuk jalan ke Kawasan CIP. Dari kegiatan kali ini diharapkan dapat memberikan solusi yang dapat menjadi awal dari terbentuknya kelompok desa yang menguasai aplikasi teknologi tenaga surya dan timbulnya motivasi dan keahlian pada kaum muda desa untuk memanfaatkan tenaga surya bagi pengembangan desa sebagai kawasan wisata dan alternatif usaha

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International LIcens

(Sulistyaningsih & Yekti, 2017). Rancangan bentuk lampu penunjuk jalan dan posisi panel surya serta papan penunjuknya dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Perencanaan awal lampu ini adalah ukuran yang kecil namun cukup jelas terlihat dan menarik, serta mampu bertahan menyala hingga sebelum tengah malam. Untuk keperluan tersebut maka digunakan lampu LED pita yang hemat daya dan mudah dibentuk. LED pita direkatkan mengelilingi bahan akrilik 3 mm dengan bentuk tanda panah. Desain bentuk ini dipilih karena selain untuk memberi tanda arah juga mempertimbangkan estetika, sehingga menarik bagi pengunjung yang memasuki desa tersebut.

Bagian yang paling berat dari desain ini adalah komponen panel surya dan aki dengan total berat 2 kg. Untuk kemudahan desain kelistrikan, maka perangkat panel surya dipasang pada ketinggian tiang penyangga 1,5 m. Penyangga tersebut menggunakan pipa paralon 5 dim (diameter luar 14 cm) dan bagian atasnya diberi rangka penyangga panel surya dari bahan alumunium. Pada rancangan ini digunakan panel surya dengan daya 10 WP. Desain penempatan panel surya pada rangka penyangga dan tiang dapat dilihat pada Gambar 1a. Panel surya dipasang pada bagian atas pipa paralon 5 dim menggunakan tutup paralon DV. Pada saat instalasi, kemiringan panel surya disesuaikan dengan 15 derajat pada arah Barat.



Gambar 1. Rancangan penempatan panel surya pada pipa paralon untuk lampu penunjuk jalan berbasis tenaga surya



Gambar 2. Rancangan penempatan papan penunjuk jalan dengan LED pita

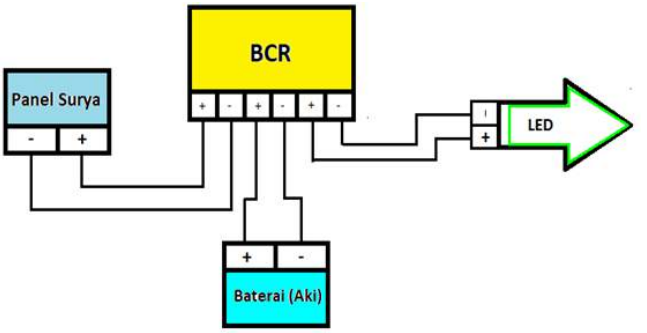
Perangkat tambahan berupa aki dan *Battery Charge Controller* (BCR) diletakkan di dalam pipa tersebut sehingga terlihat rapi dan aman dari air hujan. Bentuk lengkap dari lampu penunjuk jalan dengan papan akrilik bertuliskan CIP

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International LIcense

dan juga LED pita yang dilekatkan disekitar papan dapat dilihat pada Gambar 2. Papan penunjuk tersebut harus ditempatkan pada area yang bebas dari penghalang pancaran sinar matahari ke panel surya, dan juga dapat dilihat dengan jelas dari kejauhan.

Lokasi wisata CIP berada pada 7,7 derajat Lintang Selatan, sehingga tempat tersebut selalu mendapatkan intensitas radiasi matahari yang terik dengan radiasi rata-rata sebesar 4,8 kWh per hari (Prajogo et al., 2018; Roza & Mujirudin, 2019). Radiasi tersebut tidak berubah sepanjang tahun, terlepas dari posisi matahari terhadap bumi yang dapat bergeser ke utara dan ke selatan di seluruh wilayah Indonesia. Dengan daya radiasi tersebut, perkiraan *charging time* bisa mencapai 6 jam per hari, sehingga menggunakan panel surya dengan daya 10 WP sudah mencukupi untuk beban LED pita yang digunakan. Gambar 3 adalah rangkaian lampu penunjuk jalan yang berdiri sendiri (*off grid*) yang terdiri dari panel surya, regulator baterai atau *Battery Charge Controller* (BCR), baterai, dan beban DC (Naim, 2017; Prajogo et al., 2018; Roza & Mujirudin, 2019). Pada implementasi ini menggunakan aki kering 12 Volt 7 Ah dan LED pita DC 12 Volt dengan daya 5 Watt per meter sebagai beban.



Gambar 3. Bagian-bagian penyusun lampu penunjuk jalan dan hubungan perkabelannya

BCR adalah sebuah perangkat elektronik yang mengontrol jumlah listrik yang masuk dan keluar dari baterai. BCR juga mengatur agar kinerja baterai optimal dan efisien, sehingga arus yang masuk dan keluar tidak terlalu besar dan tidak berpotensi merusak baterai tersebut. Suatu sistem dengan panel surya dan baterai hampir selalu dipasang dengan menggunakan BCR untuk melindungi baterai dari berbagai jenis batasan, diantaranya yaitu pengisian daya berlebih, pengisian secara berkala pada saat baterai penuh (*trickle charge*), arus bocor kembali ke panel surya pada malam hari, dan pencegahan pengurasan arus baterai berlebih (Ramadhan et al., 2016; Rif'an et al., 2012; Roza & Mujirudin, 2019). BCR juga berfungsi untuk memantau status baterai.

Untuk kebutuhan rangkaian penunjuk jalan, BCR diatur pada mode penyimpanan listrik. Pada pengaturan ini, BCR melakukan kontrol hubungan ke semua bagian sistem (aki, panel surya, dan LED pita). Pada saat ada cahaya matahari dari pagi hingga sore hari, BCR akan mengatur energi dari panel surya untuk mengisi baterai sampai keadaan penuh (ditandai dengan nilai tegangan baterai maksimal) tanpa menyalakan LED pita. Saat radiasi matahari berkurang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International LIcens

pada sore hari dan tegangan keluaran panel surya berkurang, maka BCR akan mengatur agar baterai menyalurkan daya yang tersimpan ke LED pita untuk menyalakan lampu penunjuk jalan.

Kemiringan panel surya bervariasi menurut posisi geografisnya. Untuk daerah Indonesia yang terletak disekitar garis katulistiwa, posisi panel surya cenderung datar (Rif'an et al., 2012). Orientasi dan kemiringan maksimum panel surya dapat dihitung berdasar koordinat area tersebut (lat) dan ketinggian maksimum matahari mencapai langit (α) untuk mendapatkan pancaran sinar matahari yang optimal (Prajogo et al., 2018; Ramadhan et al., 2016), dengan sudut deklinasi matahari (δ) yaitu 23,45° (Auliq et al., 2020; Duka et al., 2018; Rif'an et al., 2012). Lokasi wisata CIP berada pada 7,7 Lintang Selatan. Rumusan untuk menghitung ketinggian maksimum matahari mencapai langit (α) untuk S *hemisphere* sebagai berikut (Auliq et al., 2020; Duka et al., 2018):

$$\alpha = 90° + Lat - \delta \quad (1)$$

dan rumusan untuk menghitung kemiringan maksimum panel surya terhadap permukaan bumi (β) adalah sebagai berikut (Auliq et al., 2020; Duka et al., 2018):

$$\beta = 90° - \alpha \quad (2)$$

Berdasar kedua persamaan dan posisi lokasi kawasan CIP, maka diperoleh kemiringan maksimum panel surya untuk daerah ini adalah 15,75°. Pada desain lampu penunjuk jalan ini panel surya yang diletakkan di bagian atas perangkat diatur sehingga membentuk sudut 15 derajat terhadap permukaan tanah, dan menghadap arah Barat sesuai dengan lokasi.

Rancangan papan lampu penunjuk jalan membutuhkan LED pita sepanjang kurang dari 1 meter. Lampu LED pita yang digunakan membutuhkan daya sebesar 5 Watt per meter dengan tegangan kerja 12 Volt. Pada rancangan direncanakan LED menyala selama 5 jam, diasumsikan mulai pukul 18:00 hingga 23:00. Untuk itu daya beban adalah sebesar 25 Wh. Untuk keamanan, pada sistem PLTS dengan daya 100 Watt kebawah perlu ditambahkan faktor rugi-rugi sistem dan keamanan sebesar 20% (Auliq et al., 2020; Roza & Mujirudin, 2019), sehingga daya beban total adalah 30 Wh. Untuk kebutuhan daya tersebut, kapasitas minimal aki dengan tegangan kerja 12 Volt yang dibutuhkan adalah 2,5 Ah. Efisiensi keseluruhan (panel surya, baterai dan BCR) pada rancangan diasumsikan sebesar 50%, maka idealnya disediakan penyimpanan sebesar 5 Ah. Pada rancangan ini digunakan aki dengan kapasitas 7 Ah. Panel surya 10 WP yang digunakan pada rancangan ini dengan pertimbangan efisiensi sistem sebesar 50% mampu mengisi aki dengan kapasitas 2,5 Ah hingga penuh dengan radiasi matahari selama 6 jam.

Pada saat implementasi, dibuat empat buah lampu penunjuk jalan sesuai dengan kebutuhan, yaitu mulai dari area masuk desa menuju bukit Cottok. Pada saat pelatihan, peserta dibagi menjadi empat kelompok. Tiap kelompok yang terdiri dari 2-3 orang peserta didampingi oleh seorang mahasiswa dari PS-TE UKWMS. Mahasiswa yang terlibat sudah dibekali dengan pengetahuan tentang implementasi pembuatan lampu tersebut.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International LIcense

Aktifitas peserta dan mahasiswa pendamping pada kegiatan pelatihan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4, 5, 6 dan 7. Gambar 4 dan 5 menunjukkan proses pendampingan dan kegiatan peserta saat pengenalan bagian-bagian bahan. Pada Gambar 6 dan 7 menunjukkan aktivitas peserta dalam merakit kerangka lampu penunjuk jalan. Melalui tahapan perakitan tersebut, peserta juga mempelajari hal-hal yang terkait dengan kondisi bagian-bagian elektronik dan bagaimana koneksi yang baik, sehingga menjamin hasil akhir yang baik.



Gambar 4. Aktivitas peserta dan mahasiswa pendamping saat pengenalan bagian-bagian bahan dan ciri-ciri komponen



Gambar 5. Aktivitas peserta saat praktik perakitan bagian elektronik



Gambar 6. Aktivitas peserta dan mahasiswa pendamping saat perakitan rangka lampu penunjuk jalan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International LIcens



Gambar 7. Aktivitas peserta dan mahasiswa pendamping saat penempatan bagian elektronik ke dalam rangka lampu

Para peserta yang telah mengikuti kegiatan abdimas ini selanjutnya dapat berpartisipasi di program “Belajar di Lapangan” yang merupakan salah satu program wisata edukasi yang ditawarkan di wisata CIP untuk membagikan pengetahuan mereka kepada para pelajar yang mengikuti program tersebut.

Pada saat pendampingan, mahasiswa hanya memberikan petunjuk dengan sesekali memberikan contoh, dan selebihnya proses perakitan dan pemasangan lampu dilakukan oleh peserta sehingga menjadi satu kesatuan. Akhir dari proses ini adalah instalasi dari perangkat tersebut di tempat yang sudah ditentukan sebagai penunjuk jalan menuju bukit Cottok. Dalam kegiatan ini, selain mendapatkan pelatihan tentang perakitan tersebut, peserta juga dibekali dengan pengetahuan kegunaan masing-masing komponen yang ditunjukkan pada Gambar 9. Melalui aktivitas ini, peserta juga diajarkan metode untuk menyolder dengan baik sehingga hubungan kabel baik dan tahan lama. Peserta juga diajarkan mengenai desain perangkat dan penempatannya sehingga aman dari air hujan, dan pada saat yang sama terlihat menarik sehingga lebih banyak pengunjung yang tahu dan tertarik untuk naik ke bukit Cottok, baik pada siang maupun malam hari untuk menikmat wahana yang disediakan disana. Pada akhir dari kegiatan abdimas kali ini, para peserta diwawancarai mengenai kegiatan mereka. Secara umum peserta merasa mampu untuk melakukan hal yang sama, mulai dari pengenalan bahan baku, penyusunan/ pembuatan rangkaian, dan pembuatan akhir dari lampu tersebut.

Pengembangan kawasan CIP secara berkelanjutan telah memberikan dampak bagi lingkungan maupun masyarakat desa Curah Cottok dan desa sekitarnya. Bukit yang awalnya sangat gersang karena tidak ada pengairan dan belum didayagunakan pada tahun 2017 (Gambar 8) telah berubah menjadi kawasan yang hijau dan telah dimanfaatkan masyarakat (Gambar 9).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International LIcense



Gambar 8. Pemanfaatan kawasan bukit Cottok saat awal pengembangan tahun 2017



Gambar 9. Pemanfaatan sistem PLTS di bukit Cottok untuk edukasi masyarakat melalui program "Belajar di Lapangan" oleh kaum muda desa pada tahun 2019

Pengembangan diawali dengan dibangunnya PLTS yang mempunyai kapasitas 10 liter per detik untuk menarik air dari sumber air tanah pada kedalaman 40 m di puncak bukit Cottok yang terus ditingkatkan kapasitasnya (Anggorowati et al., 2021; Joewono et al., 2019). Kawasan tersebut kini telah memiliki fungsi yang memberi dampak pada masyarakat. Dampak tidak hanya dirasakan desa sekitar, namun dapat dirasakan lebih luas lagi melalui program-program yang dikembangkan yang berawal dari kegiatan pengabdian masyarakat yang diberikan. Program-program yang diadakan di kawasan tersebut juga memberi penghidupan bagi masyarakat sekitar dengan berjualan makanan dan minuman di area wisata tersebut.

Kerjasama berkelanjutan sampai dengan tahun 2019 telah memberikan dampak positif dengan edukasi dan transfer teknologi yang dilatihkan melalui kegiatan pengabdian masyarakat. Pelatihan yang telah didapat dari kegiatan pengabdian masyarakat ditindaklanjuti oleh perangkat desa dan kaum muda desa untuk pengembangan daerah wisata CIP, sehingga dapat mewujudkan cita-cita mulianya yaitu menjadi tempat wisata edukasi teknologi menuju pencapaian visi menjadi desa yang mandiri dan beriman. Program "Belajar di Lapangan" merupakan salah satu contoh hasil tindak lanjut perangkat desa dan peserta dari progam pengabdian masyarakat yang telah diselenggarakan. Gambar 8 menunjukkan situasi pengajaran tentang teknologi tenaga surya

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International LIcens

dalam program “Belajar di Lapangan”. Peserta kegiatan pada gambar tersebut adalah siswa SD setempat. Instruktur kegiatan ini adalah kaum muda yang sudah mengikuti pelatihan tentang pembangkit listrik tenaga surya oleh mahasiswa PS-TE UKWMS melalui program pengabdian masyarakat. Program ini terdiri dari kegiatan belajar, diskusi, dan bermain. Peserta dapat melihat secara langsung perangkat yang digunakan dan penerapan teknologi tersebut secara nyata, sehingga membantu memberikan wawasan yang utuh tentang teknologi ini.



Gambar 10. Pembangunan ikon “CIP”pada akhir tahun 2019



Gambar 11. Pembangunan area ikon pada akhir tahun 2020

Sejumlah teknologi juga telah dihibahkan ke desa tersebut untuk alat pelatihan masyarakat dibawah koordinasi Bumdes, diantaranya mesin pemipih jagung, mesin pengering kepala udang, dan mesin pengering kerupuk. Pengembangan lahan tandus menjadi kawasan CIP telah membuahkan hasil. Kawasan CIP telah menjadi kawasan wisata. Jumlah penduduk miskin telah berkurang menjadi 60%. Pada tahun 2020 Bumdes Desa Curah Cottok telah meraih Bumdes terbaik peringkat 4 pada ajang Bumdes Award 2020 yang diselenggarakan oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya berkat berbagai inovasi berdampak yang telah dilakukan.

Kawasan wisata CIP kini telah dapat dikembangkan lebih luas lagi untuk jenis wisata pada malam hari dengan dukungan lampu penunjuk jalan yang dihasilkan dari kegiatan pengabdian masyarakat terakhir. Hasil lainnya dari

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International LIcense

kegiatan abdimas kali ini adalah berdirinya lampu ikon CIP. Ikon ini akan menjadi salah satu ciri yang mengandung filosofi kawasan sekitar, sehingga kawasan wisata ini dapat dikenal lebih luas lagi. Gambar 10 menunjukkan proses pendirian ikon yang juga merupakan hasil kerjasama antara tim pengabdian masyarakat dengan pihak desa pada akhir tahun 2019. Dampak dari pendirian ikon tersebut terlihat dari pesatnya peningkatan pengunjung dan pendapatan, sehingga pengembangan kawasan ini dapat dilakukan secara berkesinambungan. Gambar 11 menunjukkan keadaan kawasan wisata tersebut di area berdirinya ikon CIP pada akhir tahun 2020.

Foto angkasa kawasan wisata CIP seperti pada Gambar 12 dapat dilihat dengan melakukan penelusuran lewat Google Map menggunakan kata kunci “Cottok Innovation Park”. Pada gambar tersebut terlihat bahwa daerah ini sudah menghijau dan dilengkapi dengan kolam renang yang airnya berasal dari air tanah bukit Cottok. Air tanah tersebut saat ini dialirkan ke puncak bukit menggunakan listrik tenaga surya dengan sekumpulan panel surya yang terlihat membentuk huruf “CIP” yang ditunjukkan oleh tanda panah. Pada gambar tersebut tulisan CIP terlihat terbalik.



Gambar 12. Cottok Innovation Park dilihat dengan menggunakan Google Map. Panel surya “CIP” terlihat terbalik

KESIMPULAN

Dari perkembangan yang telah terjadi sejak tahun 2017 hingga saat ini, dapat disimpulkan bahwa kerjasama yang telah terjalin dan terutama kegiatan-kegiatan pengabdian masyarakat yang dilaksanakan telah mencapai tujuannya. Upaya perangkat desa untuk memutus mata rantai kemiskinan sudah menunjukkan hasil karena kaum muda desa sudah termotivasi untuk menggapai kehidupan yang lebih baik melalui pendayagunaan teknologi. Dengan adanya teknologi tenaga surya dan pengetahuan yang memadai tentang penggunaannya, daerah yang dulunya tertinggal dan tandus telah menjadi daerah yang lebih baik dengan ekonomi masyarakat yang lebih baik pula. Keberhasilan ini hanya dapat dicapai dengan upaya dan motivasi yang kuat dari perangkat dan sesepuh desa serta dukungan dari pihak eksternal desa secara intens dan berkelanjutan. Kerjasama dibina untuk menggali

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International LIcens

potensi-potensi desa dan memanfaatkannya untuk memecahkan masalah di desa tersebut.

Tindak lanjut dari program kegiatan yang telah berlangsung ini dapat berupa peningkatan kesejahteraan masyarakat sekitar melalui pelatihan lanjutan, terutama pada bidang ekonomi dan wirausaha. Masih banyak sumbangsih dari berbagai pihak dan bidang ilmu yang dibutuhkan untuk lebih mengembangkan kawasan wisata ini, sehingga membangkitkan semangat masyarakat untuk menuju kehidupan yang lebih baik, dari desa yang paling miskin di kabupaten Situbondo menuju desa maju.

DAFTAR RUJUKAN

Anggorowati, A. A., Sitepu, R., & Joewono, A. (2021). Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid- Ongrid di Lahan Tandus Desa Curah Cottok. *Buletin Profesi Insinyur*, *4*(1), 13–17. https://doi.org/10.20527/bpi.v4i2.93

Arinaldo, D., & Christian, J. (2018). Laporan Status Energi Bersih Indonesia 2018. *Proceedings Institute for Essential Services Reform (IESR)*. https://iesr.or.id/pustaka/laporan-status-energi-bersih-indonesia-2018

Auliq, M. A., Fitriana, & Robitoh, S. (2020). Studi Implementasi Smart Grid Solar PV System Di Gedung G Universitas Muhammadiyah Jember. *ELKOM Jurnal Teknik Elektro Dan Komputasi*, *2*(2), 87–95. https://doi.org/10.32528/elkom.v2i2.3444

Bappeda Provinsi Jawa Timur. (2013). *Potensi dan Produk Unggulan Jawa Timur. Kabupaten Situbondo*. http://bappeda.jatimprov.go.id/bappeda/wp-content/uploads/potensi-kab-kota-2013/kab-situbondo-2013.pdf

Darma, A. A. (2018). *Analisis Potensi dan Produk Unggulan Kabupaten Situbondo*. http://alvindarma4.blogspot.com/2018/12/analisis-potensi-dan-produk-unggulan.html

Duka, E. T. A., Setiawan, I. N., & Weking, A. I. (2018). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Badung. *E-Journal SPEKTRUM*, *5*(2), 67–73. https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2018.v05.i02.p09

Joewono, A., Sitepu, R., Angka, P. R., Nico, L., & Wulandar, D. (2019). Alat Penyedot dan Pemfilter Air dengan Tenaga Listrik Hybrid- Bergerak. *Prosiding Seminar Nasional Seri 9 : Mewujudkan Masyarakat Madani Dan Lestari - Diseminasi Pengabdian*, 11–18. https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/17323

Kementerian ESDM RI. (2018). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, no. 1567 K/21/MEM/2018 tentang Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara (PERSERO) tahun 2018-2027*.

Kementerian ESDM RI. (2020). Transformasi Energi. *Energi Kolaborasi*, *3*, 12–13. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-majalah-energi-kolaborasi-edisi-iii-tahun-2020.pdf

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International License

Naim, M. (2017). Rancangan Sistem Kelistrikan Plts Off Grid 1000 Watt Di Desa Loeha Kecamatan Towuti. *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, *9*(1), 17–25. https://doi.org/10.33772/djitm.v9i1.3216

Prajogo, S., Utami, S., & Pudin, A. (2018). Pengembangan Sistem Manajemen Energi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Guna Meningkatkan Kontinuitas Listrik Rumah Tangga. *Seminar Nasional Vokasi Indonesia*.

Putra, Y. M. P. (2018). Desa Situbondo Canangkan Cottok Innovation Park. *Republika.Co.Id*. https://www.republika.co.id/berita/p24n1k284/desa-situbondo-canangkan-cottok-innovation-park

Ramadhan, A. I., Diniardi, E., & Mukti, S. H. (2016). Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP. *Teknik*, *37*(2), 59–63. https://doi.org/10.14710/teknik.v37n2.9011

Rif'an, M., Pramono, S. H., Shidiq, M., Yuwono, R., Suyono, H., & Suhartati, F. (2012). Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya. *Jurnal EECCIS*, *6*(1), 44–48. https://jurnaleeccis.ub.ac.id/index.php/eeccis/article/view/165

Roza, E., & Mujirudin, M. (2019). Perancangan Pembangkit Tenaga Surya Fakultas Teknik UHAMKA. *EJKTE Jurnal Kajian Teknik Elektro*, *4*(1), 16–30. http://journal.uta45jakarta.ac.id/index.php/JKTE/article/view/1386

Sitorus, S. R. P. (2016). *Perencanaan Penggunaan lahan* (R. Y. Y. Maromon & Y. Elviandri (eds.); 1st ed.). PT Penerbit IPB Press. https://www.researchgate.net/profile/Santun-Sitorus/publication/321996261_Perencanaan_Penggunaan_Lahan/links/5a3c948faca272dd65e4db64/Perencanaan-Penggunaan-Lahan.pdf

Sulistyaningsih, & Yekti, G. I. A. (2017). Pemberdayaan Masyarakat dan Potensi Wilayah di Sekitar Waduk Pitaloka Berbasis Teknologi Informasi dan UMKM Menuju Desa Curah Cottok yang Agro-Eko-Wisata. *Seminar Nasional Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Is licensed under a
Creative Commons Attributions-Share Artike 4.0 International LIcens

ENGAGEMENT
Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat
Volume 04, Number 02, November 2020, pp. 493 - 508

Pemanfaatan Energi Terbarukan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Komunitas: Menuju Desa Mandiri Energi

Elvira Sukma Wahyuni, Husein Mubarok, Firmansyah Nur Budiman, Setyawan Wahyu Pratomo
Universitas Islam Indonesia Yogyakarta
E-mail: elvira.wahyuni@uii.ac.id

Article History:
Received: Jun 13th 2020
Revised: Sept 15th 2020
Accepted: Nov 30th 2020

Keywords: *renewable energy, solar panels, energy independent village.*

Abstract: *Located on the equator, Indonesia is blessed with abundant sunlight. With current advances in solar cell and photovoltaic technology, sunlight can be exploited on a large scale, among other things, to be converted into electricity. This paper reports the results of the community service with a focus on the energy sector that took place in Wonosalam Hamlet. The method used was Community Based Research (BCR), where there are three stages of service, namely providing education to the local community about the benefits of sunlight and its use using photovoltaic, photovoltaic installation, and a feasibility study. The results show that with the current usage pattern, a dedication project of IDR 10,000,000 can save energy by 0.48 kWh / day, which is equivalent to around IDR 258,241.28 / year. In addition to the economic benefits that may not bring significant benefits, the broader impact of this project is expected to have an impact on how local people view the use of solar energy as an alternative energy source.*

Pendahuluan

Diluar kondisi keandalan pasokan listrik dari PLN, berbagai analisis menyebutkan bahwa energi terbarukan akan menjadi kebutuhkan di masa yang akan datang[1]. Hal ini berkaitan dengan ketersediaan energi fosil yang semakin menipis.[2] Namun, *awareness* akan pentingnya energi terbarukan masih sangat rendah di kalangan masyarakat umum. Ditambah lagi dengan kesan bahwa investasi awal untuk memanfaatkan energi terbarukan sangat mahal. Oleh karena itu, perlu adanya pengenalan yang masif kepada

[1] Supapo, Santiago, and Pacis, "Electric Load Demand Forecasting for Aborlan-Narra-Quezon Distribution Grid in Palawan Using Multiple Linear Regression," in *9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, 2017; Martha Maulidia et al., "Rethinking Renewable Energy Targets and Electricity Sector Reform in Indonesia: A Private Sector Perspective," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 101 (March 1, 2019): 231–247; Hilman S. Fathoni, Abidah B. Setyowati, and James Prest, "Is Community Renewable Energy Always Just? Examining Energy Injustices and Inequalities in Rural Indonesia," *Energy Research & Social Science* 71 (January 1, 2021): 101825.

[2] Djoni Hartono et al., "Comparing the Impacts of Fossil and Renewable Energy Investments in Indonesia: A Simple General Equilibrium Analysis," *Heliyon* 6, no. 6 (June 1, 2020): e04120.

masyarakat mengenai manfaat energi terbarukan. Dari permasalahan ini adalah suplay energi fosil yang terus menipis tersebut sehingga penggunaan energi terbarukan harus sedini mungkin diperkenalkan ke masyarakat luas, agar ketika suplay energi fosil benar-benar sudah tidak mampu mencukupi kebutuhan masyarakat, masyarakat sudah siap dengan kemandirian energi di desanya masing-masing.

Pelanggan listrik residensial atau rumah tangga adalah pelanggan listrik PLN yang cukup berperan penting dalam upaya penyediaan energi listrik. Pelanggan rumah tangga adalah salah satu pelanggan terbesar dalam keseluruhan pelanggan listrik di Indonesia.[3] Dengan demikian, harapannya adalah pelanggan rumah tangga memiliki performa yang baik dalam proses penyediaan dan pemanfaatan energi listrik. Hal ini dapat diukur dengan melihat nilai faktor beban dan faktor kebutuhan yang ada.[4] Namun pada kenyataannya, sebagian besar pelanggan rumah tangga memiliki performa yang kurang baik. Hal ini disebabkan oleh perilaku *(behavior)* pelanggan yang kurang baik dalam pemanfaatan energi listrik.

Salah satu contohnya adalah, tidak sedikit pelanggan yang tidak memahami konsep Waktu Beban Puncak (WBP)[5] dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP)[6]. Sehingga banyak pelanggan yang tidak memanfaatkan konsep Manajemen Beban *(Load Management).*[7] Contohnya, tidak sedikit pelanggan yang menyetrika di malam hari, menghidupkan pemanas dispenser meski tidak digunakan, dan tidak sedikit pelanggan rumah tangga yang memiliki daya terpasang 2200 VA, namun penggunaan riilnya tidak mencapai 1000 Watt karena alasan rumah jarang dihuni dan lain sebagainya. Tentu hal ini akan menyumbang buruknya nilai faktor kebutuhan.

Oleh karena itu, pendidikan akan perilaku pengguna energi *(behaviour)* sangat diperlukan. Di sisi lain, untuk menghemat penggunaan energi listrik dari PLN, pelanggan dapat memasang energi alternatif terbarukan. Terciptanya desa mandiri energi merupakan tujuan utama untuk mengurangi ketergantungan konsumsi energi listrik negara. Salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi

[3] Ibid.

[4] Winita Sulandari et al., "Indonesian Electricity Load Forecasting Using Singular Spectrum Analysis, Fuzzy Systems and Neural Networks," *Energy* 190 (January 1, 2020): 116408.

[5] Ralph M. Braid, "Partial Peak-Load Pricing of a Transportation Bottleneck with Homogeneous and Heterogeneous Values of Time," *Economics of Transportation* 16 (December 1, 2018): 29–41.

[6] Sukandarrumidi, Herry Zadrak Kotta, and Djoko Wintolo, *Energi Terbarukan Konsep Menuju Kemandirian Energi* (Yogyakarta: Gadjah mada university press, 2018); Christopher Winstead et al., "Peak Load Reduction and Load Shaping in HVAC and Refrigeration Systems in Commercial Buildings by Using a Novel Lightweight Dynamic Priority-Based Control Strategy," *Applied Energy* 277 (November 1, 2020): 115543.

[7] Ahmed G. Ismail, Mahmoud A. El-Dabah, and Ibrahim A. Nassar, "Enhancement of Electrical Distribution Networks Performance Using the Load Management Methodology," *Energy Reports* 6 (November 1, 2020): 2066–2074; Morteza Zare Oskouei et al., "Practical Implementation of Residential Load Management System by Considering Vehicle-for-Power Transfer: Profit Analysis," *Sustainable Cities and Society* 60 (September 1, 2020): 102144.

alternatif adalah pemanfaatan tenaga surya (*solar cell*).[8] Solar Cell atau yang sering dikenal sebagai Panel Surya merupakan sebuah pembangkit energi listrik terbarukan yang mulai banyak digunakan dalam beberapa tahun terakhir. Panel surya merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi utamanya[9]. Sumber energi surya merupakan merupakan salah satu sumber energi alternatif yang paling memungkinkan atau masuk akal secara ekonomi dan merupakan salah satu solusi dalam *techno-economic* untuk listrik bagi daerah pedesaan [10,11,12]. Pemanfaatan solar sebagai sumber ernergi terbarukan memiliki nilai investasi yang cenderung sama dengan sumber energi terbarukan lain seperti angin, namun memiliki sedikit kekurangan yaitu memiliki waktu pengembalian nilai investasi yang lebih lama[13].

Wacana pengembangan *solar cell* untuk mememenuhi kebutuhan listrik masyarakat mengerucut pada penerapan *solar cell* untuk rumah tangga.[14] Namun pengetahuan masyarakat mengenai sumber energi terbarukan boleh dikatakan sangat minim, untuk mewujudkan desa mandiri energi tentu saja perlu adanya sosialisasi dan edukasi kepada masyarakat. Salah satu permasalahan utama yang mengakibatkan masyarakat tidak mau bahkan sulit beralih dari sumber energi fosil adalah nilai investasi[15]. Dengan keterbatasan pengetahuan masyarakat, mereka beranggapan penggunaan *solar cell* sebagai sumber energi sangat mahal, padahal menurut analisis kelayakan pemanfaatan *solar cell* dapat menekan *cost* biaya listrik secara signifikan[16,17].

[8] Armi Tiihonen et al., "Biocarbon from Brewery Residues as a Counter Electrode Catalyst in Dye Solar Cells," *Electrochimica Acta* 368 (February 1, 2021): 137583; Prasanth K. Enaganti et al., "Analysis of Submerged Amorphous, Mono-and Poly-Crystalline Silicon Solar Cells Using Halogen Lamp and Comparison with Xenon Solar Simulator," *Solar Energy* 211 (November 15, 2020): 744–752.

[9] Wibawa Unggul, *Pendekatan Praktis Pembangkit Energi Baru Dan Terbarukan* (Bandung: UB Press, 2017).

[10] Jim Esch, "Keeping the Energy Debate Clean: How Do We Supply the World's Energy Needs?," *Proceedings of the IEEE* 98, no. 1 (2010): 39–41.

[11] Karen Ubilla et al., "Smart Microgrids as a Solution for Rural Electrification: Ensuring Long-Term Sustainability through Cadastre and Business Models," *IEEE Transactions on Sustainable Energy* 5, no. 4 (2014): 1310–1318.

[12] Madalsa Singh and P. Balachandra, "Microhybrid Electricity System for Energy Access, Livelihoods, and Empowerment," *Proceedings of the IEEE* 107, no. 9 (2019): 1995–2007.

[13] Mariano Arriaga, Claudio A. Canizares, and Mehrdad Kazerani, "Renewable Energy Alternatives for Remote Communities in Northern Ontario, Canada," *IEEE Transactions on Sustainable Energy* 4, no. 3 (2013): 661–670.

[14] Towhidul Islam and Nigel Meade, "The Impact of Attribute Preferences on Adoption Timing: The Case of Photo-Voltaic (PV) Solar Cells for Household Electricity Generation," *Energy Policy* 55, Special section: Long Run Transitions to Sustainable Economic Structures in the European Union and Beyond (April 1, 2013): 521–530.

[15] Yuliarto Briyan, *Pendekatan Praktis Pembangkit Energi Baru Dan Terbarukan* (Bandung: ITB, 2017).

[16] Abhishek Kumar et al., "A Novel Methodological Framework for the Design of Sustainable Rural Microgrid for Developing Nations," *IEEE Access* 6 (2018): 24925–24951.

[17] Abubakr S. Bahaj and Patrick A.B. James, "Electrical Minigrids for Development: Lessons from the Field," *Proceedings of the IEEE* 107, no. 9 (2019): 1967–1980.

Periode sebuah biaya investasi tertutup atau *Payback Period* sering menjadi perhatian utama pada sebuah investasi.[18] Masyarakat awam pada umunya akan berpikir bahwa pengembalian modal pada pemasangan panel surya akan berlangsung lama. Hal ini akan sangat wajar dan menjadi pemikiran umum, dikarenakan masyarakat sudah mengetahui bahwa panel surya memiliki biaya investasi yang cukup tinggi. Sebenarnya, *payback period* hanyalah langkah awal dalam memperoleh keuntungan bersih. Pemikiran-pemikiran yang kurang tepat pada masyarakat awam ini harus diluruskan. Oleh karena itu masyarakat juga harus diedukasi mengenai nilai invesatasi berdasarkan bahaviour pengunaan energi dan penghitungan *payback period* untuk pemanfaatan *solar cell*, sehingga tewujudnya desa mandiri energi.

Dalam salah satu bidang fokusnya, Teknik Elektro dan FTI UII memberi perhatian khusus mengenai pengembangan energi terbarukan. Sebagai buktinya, tim dari Teknik Elektro UII terlibat aktif dalam pemasangan panel surya di Gedung KH Mas Mansur FTI UII. Dan sebagai bentuk usaha untuk lebih menyebarluaskan pengetahuan dan implementasi energi terbarukan, khususnya energi matahari, tim dari Teknik Elektro bermaksud untuk mengadakan sosialisasi dan pemasangan *prototype* panel surya di masyarakat sekitar UII yang diwujudkan dalam bentuk pengabdian kepada masyarakat. Tujuan pengabdian ini adalah memperkenalkan, memasang dan mensupervisi penggunaan energi surya sebagai sumber energi listrik, serta mewujudkan masyarakat yang mandiri energi.

Wilayah yang akan menjadi target pengabdian ini adalah Dusun Wonosalam, Desa Sukoharjo, Kec. Ngaglik, Sleman. Dusun ini merupakan kawasan pedesaan yang terletak di sekitar UII. Sebagaimana di mayoritas kawasan lain, penetrasi energi terbarukan masih nol di dusun ini, sehingga masih terbuka lebar kesempatan untuk melakukan pengabdian masyarakat di bidang energi terbarukan.

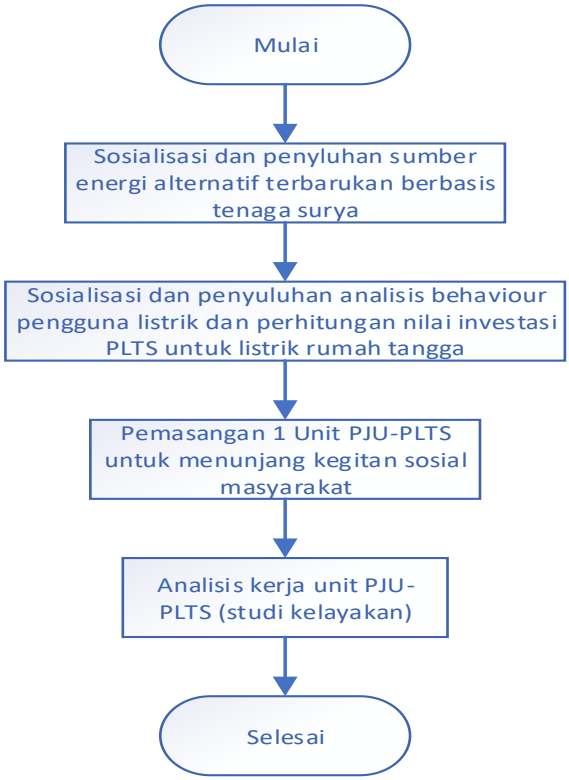
Metode

Metode yang digunakan pada riset pengabdian ini adalah *Community-based research* (CBR). CBR adalah pendekatan yang digunakan oleh para peneliti dalam kemitraan dengan praktisi dan anggota komunitas untuk mengatasi masalah sosial yang kompleks demi kemajuan masyarakat[19]. Subjek riset pengabdian ini adalah warga masyarakat Dusun Wonosalam, Desa Sukoharjo, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Yogyakarta

[18] Akvile Lawrence et al., "Effects of Monetary Investment, Payback Time and Firm Characteristics on Electricity Saving in Energy-Intensive Industry," *Applied Energy* 240 (April 15, 2019): 499–512.

[19] Naim Kapucu, "Community-Based Research in Generating Usable Knowledge for Public Policy and Administration," *Sage Journals* 48, no. 6 (2014): 683–710.

Tahapan kegiatan pengbdian yang dilaksanakan dijelaskan melalui diagram alir pengabdian pada gambar 1. Tahapan pertama yang dilakukan pengabdi adalah analisis situasi pada desa mitra terkait dengan pengembangan desa mandiri energi, pada pengabdian ini pengabdi memilih Dusun Wonosalam sebagai desa mitra, alasan pemilihannya adalah karena berdekatan dengan kampus UII sehingga pengabdi dapat melakukan kontrol lebih mudah.



Gambar 1. Diagram Alir Pengabdian

Selanjutnya pengabdi yang diwakili oleh ketua pengabdian melakukan korespondensi dengan pejabat setempat (Dukuh dan RT) mengenai kegiatan pengabdian yang akan dilakukan. Kemudian tim melakukan diskusi terkait kegiatan pengabdian yang akan dilakukan, adapun rincian kegiatan akan dijelaskan sebagai berikut.

Kegiatan 1: Sosialisasi dan penyuluhan sumber energi alternatif terbarukan berbasis tenaga surya. Kegiatan ini bertujuan untuk memberikan pengetahuan dan mengedukasi masyarakat mengenai sumber energi alternatif dan sumber energi terbarukan. Pada kegiatan ini masyarakat akan dikenalkan dengan sumber energi berbasis tenaga surya/matahari.

Kegiatan 2: Sosialisasi dan penyuluhan analisis behaviour pengguna listrik dan perhitungan nilai investasi PLTS untuk listrik rumah tangga. Kegiatan ini bertujuan untuk

memberikan jasa konsultasi mengenai pemasangan PLTS untuk rumah tangga, mulai dari analisis behaviour pengguna, konsep PLTS, desain pemasangan dan perhitungan nilai investasi yang harus dikeluarkan. Selain itu, kegiatan ini juga menjelaskan mengenai *pay back period*.

Kegiatan 3: Pemasangan 1 Unit PJU-PLTS untuk menunjang kegiatan sosial masyarakat. Kegiatan ini bertujuan memberikan percontohan pemasangan PLTS kepada masyarakat. Pemasangan PLTS akan dilakukan di tempat kegiatan sosial masyarakat (contohnya: masjid)

Kegiatan 4: Analisis kerja Unit PJU-PLTS (studi kelayakan). Kegiatan ini bertujuan untuk melakukan supervisi dan studi kelayakan pemasangan PLTS di desa mitra.

Hasil dan Diskusi

Kegiatan Sosialisasi dan Penyuluhan

Kegiatan sosilaisasi dan penyuluhan sumber energi terbarukan berbasis panel surya yang dihadiri oleh seluruh kepala keluarga Dusun Wonosalam. Ada dua tema pembahasan utama yang disampaikan, pertama adalah pengenalan sumber energi terbarukan berbasis panel surya dan yang kedua adalah analisis behaviour pengguna listrik dan perhitungan nilai investasi PLTS untuk listrik rumah tangga. Kemudian acara ditutup dengan penyerahan secara simbolis satu unit PJU-PLTS untuk Dusun Wonosalam.



Gambar 2. Dokumentasi kegiatan sosialisasi dan penyuluhan

Pemasangan PJU PLTS

Pemasangan PJU-PLTS dibantu oleh warga masyarakat Dusun Wonosalam

terutama dalam penanaman tiang PJU. Kemuadian instalasi PJU-PLTS dilakukan oleh teknisi tim pengabdi, dan alahamdulillah PJU-PLTS telah beroperasi dengan baik sampai saat ini.

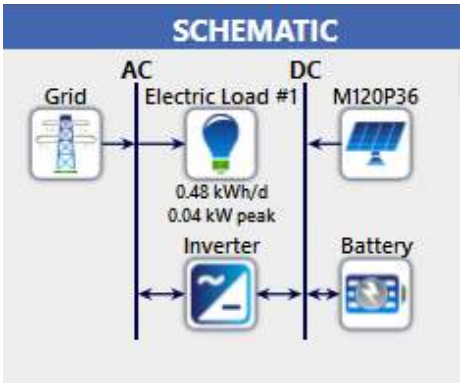


Gambar 3. Dokumentasi pemasangan PJU PLTS

Studi Kelayakan Sistem Hybrid Solar Cell-Grid Di Desa Wonosalam

Desain Sistem

Skematik dari sistem *Hybrid* yang dirancang di Desa Wonosalam terdiri atas beberapa komponen, yaitu *solar cell,* baterai, *converter*, dan grid. Adapun desainnya dapat dilihat pada gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4. Desain skematik sistem PV-Grid

Komponen Penyusun Sistem PLTS

Solar Cell

Solar cell yang digunakan dalam sistem Hybrid ini adalah tipe CS6P-260P dari Canadian Solar. *Solar cell* ini terdiri dari 24 pcs palet yang berkapasitas maksimum hingga 260 W dan dapat digunakan hingga 25 tahun lamanya.

Inverter

Inverter yang digunakan dalam sistem Hybrid ini adalah Luminous Solar 750 VA sebanyak 1 buah dengan kapasitas 450 W. Selain bekerja sebagai *inverter,* konverter ini juga mampu memberikan *back up* beban pada sistem hingga 10 jam. Adapun umur penggunaan dari *inverter* ini adalah 10 tahun

Baterai

Baterai yang digunakan dalam sistem ini adalah *Luminous Battery* 150 Ah - RC18000 sebanyak 1 buah. Jenis dari baterai ini adalah tubular dan dapat digunakan hingga 10 tahun.

Grid

Grid merupakan jaringan PLN yang dalam sistem ini menggunakan fungsi Net Metering. Artinya, ketika *solar cell* memproduksi daya berlebih maka kelebihan daya tersebut akan diekspor ke PLN untuk dapat digunakan pada bulan berikutnya, sehingga dapat mengurangi biaya tagihan listrik pada bulan yang akan datang. Harga beli listrik atau biaya impor energi ke PLN adalah Rp1.467.28/kWh dan harga jual atau biaya ekspor Rp 952.732/kWh.

Parameter yang digunakan

Radiasi Matahari

Data radiasi matahari yang digunakan dalam sistem *Hybrid* ini diperoleh dari situs NASA.

Rata-rata radiasi matahari per bulannya dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Data Radiasi Per Bulan

Bulan	Radiasi Harian (kWh/m^2/d)
Januari	4,28
Februari	4,47
Maret	4,59
April	4,72
Mei	4,73
Juni	4,55
Juli	4,80
Agustus	5,25
September	5,54
Oktober	5,39
November	4,71
Desember	4,57

Data Beban

Data beban yang digunakan dalam simulasi sistem Hybrid ini diperoleh dari pendataan peralatan elektronika yang biasa digunakan di pos ronda. Setelah data beban diperoleh, berikutnya di *input* ke *software* HOMER untuk nantinya disimulasikan. Jendela untuk menginput data beban pada *software* HOMER dapat dilihat pada gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 5. Jendela Pengaturan Beban

Pengaruh Parameter terhadap Desain Sistem Hybrid

Ada 2 parameter yang berperan penting dalam jalannya simulasi sistem Hybrid ini, yaitu radiasi matahari dan data beban. Radiasi matahari berperan penting terkait dengan produksi energi dari *solar cell* nantinya, guna didapatkan hasil produksi energi dari *solar cell* yang aktual. Demikian pula dengan data beban, untuk dapat mengetahui apakah sistem yang dirancang mampu menyuplai kebutuhan beban maka dibutuhkan data beban yang diperoleh secara aktual.

Hasil Optimasi Desain Skematik Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Hasil optimasi bertujuan untuk mengetahui tingkat variabel komponen utama pada pembangkit listrik tenaga *hybrid* saat beroperasi. Hasil optimasi ini diperoleh ketika proses simulasi pada *software* HOMER telah selesai dijalankan. Gambar 6 berikut ini menunjukan hasil optimasi variabel dari masing-masing komponen yang terdapat pada desain sistem *Solar Cell*-Grid di Desa Wonosalam.

M120P36 (kW)	Battery	Grid (kW)	Inverter (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	Ren Frac (%)
0.120		999,999	0.450	CC	Rp599.25	Rp4.24M	Rp72,726	Rp2.75M	49.4
0.120	1	999,999	0.450	CC	Rp1,565	Rp11.1M	Rp280,956	Rp5.33M	49.4
	1	999,999	0.450	CC	Rp3,851	Rp13.8M	Rp497,500	Rp3.62M	0

Gambar 6. Hasil Optimasi Sistem *Solar Cell*-Grid

Total Produksi Energi

Total produksi energi yang dihasilkan selama setahun dari sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid Solar Cell-Grid* sebagai penyedia energi listrik masyarakat adalah sebesar 351 kWh/tahun. Hasil dari total produksi energi selama setahun dari sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Produksi Energi Per Tahun

Komponen	Produksi (kWh)/tahun	Persentase (%)
Tiger World M120P36	176	50.2
Grid	175	49.8
Total	351	100

Berdasarkan informasi dari tabel 2 di atas, dapat diketahui bahwa total produksi energi listrik pada *solar cell* lebih besar dari total energi listrik yang disuply dari PLN. Hal ini dikarenakan kapasitas dari *solar cell* yang lebih besar dari kebutuhan beban, sehingga

produksi energi dari *solar cell* yang dikonsumsi beban lebih mendominasi dari suply listrik yang dilakukan oleh PLN.

Berdasarkan kondisi tersebut, dapat dianalisa bahwa sistem tenaga surya yang digunakan sangat tepat dalam mewujudkan energi bersih dan ekonomis di masyarakat. Produksi energi listrik yang dikeluarkan PLN adalah sebesar 175 kWh/tahun atau sebesar 49,8 % dari total keseluruhan energi. Sedangkan energi yang diproduksi oleh pembangkit tenaga surya adalah 176 kWh/tahun atau senesar 50,2 %. Hal ini menunjukkan bahwa energi surya yang dipasang mampu menopang kebutuhan masyarakat dengan baik dan mendominasi dalam produksi energi secara keseluruhan.

Net Present Cost (NPC)

Total NPC dari suatu sistem adalah nilai dari semua biaya yang timbul selama masa pakai, dikurangi nilai sekarang dari semua pendapatan yang diperoleh selama masa pakai. Biaya-biaya tersebut termasuk biaya modal, biaya penggantian, Operasi dan Biaya pemeliharaan, biaya bahan bakar, penalti emisi, dan biaya pembelian listrik dari jaringan. Pendapatan termasuk nilai sisa dan pendapatan penjualan grid[20]. Biaya total yang digunakan untuk komponen dalam proyek pemasangan atau pun pengoperasian pembangkit listrik tenaga *hybrid* sebesar Rp 9.742.180,31. Adapun rincian dari tiap komponen dapat dilihat pada *Tabel 3*.

Tabel 3. Rincian *Net Present Cost* Pada Tiap Komponen

Componen	Capital (Rp)	Replacemnet (RP)	O&M (Rp)	Fuel (Rp)	Salvage (Rp)	Total (Rp)
Canadian Solar CS6P-26OP	3, 564,062.5	0.00	1,455,276,13	0.00	0.00	5,019,338.63
Grid	0.00	0.00	3,803,335.30	0.00	0.00	3,803,335.30
Luminous Battery 150 Ah – RC 18000	2,576,495,41	4,060,587.35	1,052,033.25	0.00	861,402,.34	6,827,713.67
Luminous solar nxg hybrid inverter 750 VA – 12V	1,041,021.96	754,440,90	425,069.35	0.00	522,068.90	1,698,463.31
System	7,181,579,87	4,815,028.25	870,956.57	0.00	1,383,471.24	9,742,180.31

[20] Gm Shaifullah et al., "Economic Analysis of Hybrid Renewable Model for Subtropical Climate," *Int. J. of Thermal & Environmental Engineering* 1, no. 2 (2010): 57–65.

Berdasarlan data NPC tersebut, nilai NPC yang berada pada nilai Rp 477.184,21 merupapkan nilai yang sangat terjangkau bagi masyarakat. Hal ini menunjukkan bahwa studi kelayakan telah dilakukan dengan baik. Dengan perhitungan NPC yang terjangkau ini diharapkan masyarakat dapat dengan mudah dan bijaksana dalam memelihara peralatan pembangkit listrik tenaga surya dengan baik dan bijak.

Annualized Cost (AC)

Total biaya tahunan yang dikeluarkan oleh sistem *Hybrid Solar Cell*-PV adalah sebesar Rp 477.184,21. Nilai *annualized cost* nantinya akan digunakan untuk mengetahui nilai *Cost of Energy* atau biaya pembangkitan listrik per kWh. Rincian biaya dari tiap komponen sebagai penyusun dari *annualized cost* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rincian Biaya Tahunan Pada Tiap Komponen

Componen	Capital (Rp)	Replacemnet (RP)	O&M (Rp)	Fuel (Rp)	Salvage (Rp)	Total (Rp)
Canadian Solar CS6P-26OP	174,572.25	0.00	71,281.25	0.00	0.00	145,853.50
Grid	0.00	0.00	186,292.13	0.00	0.00	186,292.13
Luminous Battery 150 Ah – RC 18000	126,199.98	198,892.66	51,529.91	0.00	42,192.57	334,429.98
Luminous solar nxg hybrid inverter 750 VA – 12V	50,990.56	36,953.46	20,820.43	0.00	25,571.59	83,192.86
System	351,762.79	235,846.12	42,660.55	0.00	67,764.16	477,184.21

Cost of Energy (COE)

Cost of energy atau biaya pembangkitan per kwh dihitung dengan membagi nilai biaya tahunan dengan total produksi energi.

$$COE = \frac{Total\ AC}{Energi\ total\ produksi\ sistem}$$

$$= \frac{\text{Rp } 541.953,95}{352\ kWh}$$

= Rp1.564,95/kWh

Berdasarkan nilai *Cost of Energy (CoE)* yang terhitung, nilai Rp 1.564,95/kWh merupakan nilai yang sangat ekonomis. Nilai tersebut memiliki arti bahwa untuk membangkitkan energi listrik setiap kWhnya memerlukan biaya sebesar Rp 1.564,95. Tentu ini merupakan nilai yang sangat baik dan tidak mahal. Nilai CoE ini juga masih sangat terjangkau seperti nilai CoE dari PLN.

Renewable Penetration

Renewable penetration adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui persentase dari kontribusi energi terbarukan dalam menghasilkan listrik di suatu sistem. Dalam sistem *hybrid* ini, yang tergolong sebagai energi terbarukan adalah *solar cell* dengan produksi energi yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Energi Listrik Dari Komponen Energi Terbarukan

Komponen	Produksi (kWh)
Tiger World M120P36	176
Total	176

$$RP = \frac{E_{tot.RES}}{E_{tot.sys}} * 100\%$$
$$= \frac{176}{351} \times 100\%$$
$$= 50\%$$

Berdasarkan perhitungan *renewable penetration* di atas, dapat diketahui bahwa 50% energi listrik pada sistem bersumber dari energi terbarukan, yang dalam hal ini adalah *solar cell.* Berdasarkan nilai CoE sebesar 50% dapat dianalisis bahwa energi terbarukan yang terpasang pada sistem memiliki kontribusi yang cukup baik.

Dengan nilai tersebut dapat dipastikan bahwa sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terpasang sudah menyumbang pengurangan emisi gas CO_2 sebesar 50%. Nilai ini menunjukkan bahwa energi alternatif dan ramah lingkungan telah berhasil memberikan kontribusi yang nyata bagi pengurangan *global warming*.

Penghematan yang didapatkan

Penghematan yang didapatkan dari pengimplementasian solar cell di desa Wonosalam dapat dilihat dari jumlah energi yang didapatkan dari modul solar cell. Energi yang didapat dari solar cell selama 1 tahun adalah sebesar 176 kWh. Hal ini berarti penghematan yang didapat perhari adalah 176 kWh / 365 hari sama dengan 482,19 Wh sama dengan 0,48 kWh/hari. Sedangkan penghematan dalam rupiah adalah 176 kWh dikali Rp1.467,28/kWh sam dengan Rp 258.241,28 per tahun.

Penghematan senilai Rp 258.241,28 per tahun merupakan nilai yang sangat baik

dalam kategori perekonomian pedesaan. Dengan nilai penghematan tersebut, masyarakat desa dapat mengalokasikan dana ke pengeluaran lain yang lebih bermanfaat. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya pembangkit energi listrik tenaga surya tidak hanya menumbuhkan masyarakat mandiri energi, namun juga masyarakat yang mandiri ekonomi.

Kesimpulan

Melalui pengabdian masyarakat ini maka terdapat beberapa hal yang telah dicapai, pertama Masyarakat memiliki pengetahuan mengenai Sumber Energi Alternatif Terbarukan Berbasis Tenaga Surya. Kedua Masyarakat mengetahui bagaimana behaviournya dalam menggunakan listrik, serta mengetahui nilai investasi penggunaan PLTS. Ketiga Terpasangnya PJU-PLTS untuk menunjang kegiatan sosial masyarakat, dan terakhir Adanya studi kelayakan dan supervisi pemasangan PLTS di dusun Wonosalam, sehingga didapatkan penghematan penggunaan PJU-PLTS sebesar 0,48 kWh/hari dan Rp 258.241,28 per tahun.

Pengakuan

Kegiatan pengabdian ini dibiayai oleh Departemen Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Islam Indonesia (DPPM UII), melalui hibah internal pengabdian masyarakat dalam skema pengabdian unggulan.

Daftar Referensi

Arriaga, Mariano, Claudio A. Canizares, and Mehrdad Kazerani. "Renewable Energy Alternatives for Remote Communities in Northern Ontario, Canada." *IEEE Transactions on Sustainable Energy* 4, no. 3 (2013): 661–670.

Bahaj, Abubakr S., and Patrick A.B. James. "Electrical Minigrids for Development: Lessons from the Field." *Proceedings of the IEEE* 107, no. 9 (2019): 1967–1980.

Braid, Ralph M. "Partial Peak-Load Pricing of a Transportation Bottleneck with Homogeneous and Heterogeneous Values of Time." *Economics of Transportation* 16 (December 1, 2018): 29–41.

Briyan, Yuliarto. *Pendekatan Praktis Pembangkit Energi Baru Dan Terbarukan*. Bandung: ITB, 2017.

Enaganti, Prasanth K., Prabhat K. Dwivedi, Alok K. Srivastava, and Sanket Goel. "Analysis of Submerged Amorphous, Mono-and Poly-Crystalline Silicon Solar Cells Using Halogen Lamp and Comparison with Xenon Solar Simulator." *Solar Energy* 211 (November 15, 2020): 744–752.

Esch, Jim. "Keeping the Energy Debate Clean: How Do We Supply the World's Energy

Needs?" *Proceedings of the IEEE* 98, no. 1 (2010): 39–41.

Fathoni, Hilman S., Abidah B. Setyowati, and James Prest. "Is Community Renewable Energy Always Just? Examining Energy Injustices and Inequalities in Rural Indonesia." *Energy Research & Social Science* 71 (January 1, 2021): 101825.

Hartono, Djoni, Sasmita Hastri Hastuti, Alin Halimatussadiah, Atina Saraswati, Aria Farah Mita, and Vitria Indriani. "Comparing the Impacts of Fossil and Renewable Energy Investments in Indonesia: A Simple General Equilibrium Analysis." *Heliyon* 6, no. 6 (June 1, 2020): e04120.

Islam, Towhidul, and Nigel Meade. "The Impact of Attribute Preferences on Adoption Timing: The Case of Photo-Voltaic (PV) Solar Cells for Household Electricity Generation." *Energy Policy* 55. Special section: Long Run Transitions to Sustainable Economic Structures in the European Union and Beyond (April 1, 2013): 521–530.

Ismail, Ahmed G., Mahmoud A. El-Dabah, and Ibrahim A. Nassar. "Enhancement of Electrical Distribution Networks Performance Using the Load Management Methodology." *Energy Reports* 6 (November 1, 2020): 2066–2074.

Kapucu, Naim. "Community-Based Research in Generating Usable Knowledge for Public Policy and Administration." *Sage Journals* 48, no. 6 (2014): 683–710.

Kumar, Abhishek, Arvind R. Singh, Yan Deng, Xiangning He, Praveen Kumar, and Ramesh C. Bansal. "A Novel Methodological Framework for the Design of Sustainable Rural Microgrid for Developing Nations." *IEEE Access* 6 (2018): 24925–24951.

Lawrence, Akvile, Magnus Karlsson, Therese Nehler, and Patrik Thollander. "Effects of Monetary Investment, Payback Time and Firm Characteristics on Electricity Saving in Energy-Intensive Industry." *Applied Energy* 240 (April 15, 2019): 499–512.

Maulidia, Martha, Paul Dargusch, Peta Ashworth, and Fitrian Ardiansyah. "Rethinking Renewable Energy Targets and Electricity Sector Reform in Indonesia: A Private Sector Perspective." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 101 (March 1, 2019): 231–247.

Shaifullah, Gm, Shawkat Ali, Aman Than Oo, and Denis Jarvis. "Economic Analysis of Hybrid Renewable Model for Subtropical Climate." *Int. J. of Thermal & Environmental Engineering* 1, no. 2 (2010): 57–65.

Singh, Madalsa, and P. Balachandra. "Microhybrid Electricity System for Energy Access, Livelihoods, and Empowerment." *Proceedings of the IEEE* 107, no. 9 (2019): 1995–2007.

Sukandarrumidi, Herry Zadrak Kotta, and Djoko Wintolo. *Energi Terbarukan Konsep Menuju Kemandirian Energi*. Yogyakarta: Gadjah mada university press, 2018.

Sulandari, Winita, Subanar, Muhammad Hisyam Lee, and Paulo Canas Rodrigues. "Indonesian Electricity Load Forecasting Using Singular Spectrum Analysis, Fuzzy Systems and Neural Networks." *Energy* 190 (January 1, 2020): 116408.

Supapo, Santiago, and Pacis. "Electric Load Demand Forecasting for Aborlan-Narra-Quezon Distribution Grid in Palawan Using Multiple Linear Regression." In *9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, 2017.

Tiihonen, Armi, Virpi Siipola, Katja Lahtinen, Heikki Pajari, Petri Widsten, Tarja Tamminen, Tanja Kallio, and Kati Miettunen. "Biocarbon from Brewery Residues as a Counter Electrode Catalyst in Dye Solar Cells." *Electrochimica Acta* 368 (February 1, 2021): 137583.

Ubilla, Karen, Guillermo A. Jiménez-Estévez, Roberto Hernádez, Lorenzo Reyes-Chamorro, Claudia Hernández Irigoyen, Bernardo Severino, and Rodrigo Palma-Behnke. "Smart Microgrids as a Solution for Rural Electrification: Ensuring Long-Term Sustainability through Cadastre and Business Models." *IEEE Transactions on Sustainable Energy* 5, no. 4 (2014): 1310–1318.

Unggul, Wibawa. *Pendekatan Praktis Pembangkit Energi Baru Dan Terbarukan*. Bandung: UB Press, 2017.

Winstead, Christopher, Mahabir Bhandari, James Nutaro, and Teja Kuruganti. "Peak Load Reduction and Load Shaping in HVAC and Refrigeration Systems in Commercial Buildings by Using a Novel Lightweight Dynamic Priority-Based Control Strategy." *Applied Energy* 277 (November 1, 2020): 115543.

Zare Oskouei, Morteza, Behnam Mohammadi-Ivatloo, Mehdi Abapour, Amjad Anvari-Moghaddam, and Hasan Mehrjerdi. "Practical Implementation of Residential Load Management System by Considering Vehicle-for-Power Transfer: Profit Analysis." *Sustainable Cities and Society* 60 (September 1, 2020): 102144.

REKAYASAMESIN
eISSN 2477-6041 artikel 10, pp. 383 – 393, 2020
V11 N3

PEMANFAATAN KOTORAN TERNAK SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN MELALUI PEMBANGUNAN BIODIGESTER KOMUNAL

Christia Meidiana
Lektor Kepala (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota
c_meideiana@ub.ac.id

Zhuniart Ayu Perdanasari
Mahasiswa S1
Universitas Brawijaya
Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota
zhuniartayu@gmail.com

Dian Dinanti
Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota
dinanti@ub.ac.id

The potentials of energy from manure waste was calculated in this study aiming to develop biogas utilization in a rural area. The calculation was conducted based on the result from clustering the non-biogas farmer households which cannot afford individual anaerobic digester (AD). Spatial cluster analysis (SCA) and superimposed technique were used to determine the size of the groups and the location of ADs respectively. Value from SCA showed that the village's settlement pattern is clustered feasible to apply communal AD for rural biogas development. Meanwhile, a superimposed technique using 3 parameters which are land availability, cow ownership, and topography, generates 43 clusters of farmer households that can supply biogas for cooking. The energy production is estimated at 8.96-39.68 m3/day/household, while the energy demand is approximately 0.65-3.48 m3/day/household. The calculation shows that there is remaining biogas that can be distributed to non-biogas farmer households. Using SCA, 75 non-biogas farmer households were identified to be potentially supplied by biogas. The total energy demand for both biogas and non-biogas farmers households is 2,147.34 MJ/day, while the total potential energy generation from all ADs is 24,560.64 MJ/day indicating a low biogas utilization rate which is only 8.7%. The percentage shows that biogas utilization for an energy source in Dusun Dresel can be more developed by enhancing the distribution network or by converting it into electricity to support rural energy security.

Keywords: *Spatial Cluster Analysis, Biogas, Overlay Technique, Livestock Manure Waste.*

1. PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia menargetkan untuk meningkatkan bauran energi terbarukan dari 6% pada tahun 2010 menjadi 25% pada tahun 2025 dimana 10,81% berasal dari biomassa dan turunannya termasuk biogas. Beberapa peraturan terkait pengembangan energi terbarukan telah disahkan untuk pencapaian target tersebut. Pemanfaatan biogas cenderung meningkat di Indonesia karena memiliki manfaat sosial, ekonomi dan lingkungan [1]. Pemanfaatan biogas akan meningkatkan kesadaran masyarakat akan energi hijau, mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK), mempromosikan pembangunan desa berkelanjutan, mempercepat pembangunan pertanian berkelanjutan, meningkatkan pendapatan rumah tangga serta meningkatkan pemerataan energi dan perbaikan kualitas [2, 3, 4].

Konsumsi energi final bergeser dari ketergantungan pada energi konvensional ke pendayagunaan energi terbarukan lokal untuk penghematan energi dan konservasi lingkungan [5, 6]. Kondisi tersebut merupakan peluang bagi pengembangan energi terbarukan, tetapi pengembangan energi terbarukan, khususnya di pedesaan, relatif lambat akibat biaya awal yang tinggi, yaitu biaya produksi, penelitian, pengembangan, dan pelaksanaan [7, 8]). Hambatan lain adalah faktor ketergantungan pada faktor geografis karena dua alasan. Pertama, penyediaan (supply) biomassa sebagai input AD dan kebutuhan (demand) biogas sering kali letaknya tersebar [9]. Kedua, terdapat persyaratan spasial dan teknis untuk menentukan lokasi pengolahan biogas, misalnya ketersediaan dan kesesuaian lahan, kedekatan lahan dengan kandang maupun rumah dengan lahan

Corresponding Author: c_meideiana@ub.ac.id Received on: March 2020 Accepted on: September 2020

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

yang membutuhkan data geografis yang lengkap dan detil [10]. Kedua faktor tersebut membutuhkan data spasial yang akurat guna perencanaan biogas pedesaan yang terpadu. Sistem informasi geografis (SIG) dapat digunakan untuk menghasilkan perencanaan spasial terkait pengembangan energi biogas di pedesaan.

Berdasarkan Outlook Energi Indonesia tahun 2015, konsumsi energi final di Indonesia meningkat dari 778 juta SBM pada tahun 2000 menjadi 1,211 juta SBM pada tahun 2013 (rata-rata peningkatan sebesar 3,46% per tahun). Angka ini akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk Indonesia setiap tahunnya sehingga berimplikasi pada jumlah permintaan energi yang berbanding terbalik dengan penawaran energi yang terbatas di Indonesia [11]. Peningkatan jumlah permintaan energi terjadi karena Indonesia masih mengandalkan penggunaan energi tak terbarukan seperti penggunaan bahan bakar fosil yang memiliki tingkat produksi jauh lebih lambat dibandingkan dengan tingkat konsumsinya, sehingga, pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan untuk dikembangkan. Hal ini seiring dengan target pemerintah dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN) melalui PP 79/2014, yaitu target optimal bauran energi baru dan terbarukan (EBT) yaitu 23% di 2025 dan 31% di 2050 [11] dimana salah satu sumber EBT yang digunakan adalah biomassa dan turunannya termasuk biogas. Penelitian terkait penggunaan biomassa sebagai EBT sudah banyak dilakukan di Indonesia, misalnya oleh [12] dan [13]. [12] mengukur nilai kalor briket ampas batang tebu dan serbuk gergaji sedangkan [13] mengukur pengaruh tekanan dan komposisi bahan briket terhadap karakteristik pembakaran. Kedua penenlitian tersebut menjukkan bahwa biomassa layak digunakan sebagai alternative pengganti energi fosil. Biomass yang diolah secara anaerobik (tanpa oksigen) akan menghasilkan biogas.

Biogas merupakan salah satu solusi energi alternatif ramah lingkungan. Biogas mudah digunakan khususnya untuk kalangan masyarakat pedesaan yang memelihara hewan ternak sapi. Berkaitan dengan permasalahan tersebut maka pemanfaatan limbah kotoran ternak dioptimalkan sehingga dapat menekan biaya tanpa mengganggu produktivitas ternak. Keuntungan atau nilai tambah terkait penggunaan biogas adalah memperkecil volume limbah yang dibuang, memperoleh bahan bakar berkualitas tinggi, dan menurunkan emisi gas metana [14, 15]. Pemanfaatan limbah ternak menjadi biogas dapat memberi nilai tambah dengan peningkatan pendapatan (keuntungan/profit) pada petani dan peternak [16, 17]. Selain itu, pengolahan kotoran ternak biogas dapat meningkatkan kebersihan dan menekan pencemaran lingkungan [18]. Konversi biogas dari limbah ternak dilakukan dengan menggunakan anaerobic digester (AD).

Desa Oro-oro Ombo salah satu desa di Kecamatan Batu, Kota Batu yang memiliki potensi ternak tertinggi dari 8 desa yang ada Kecamatan Batu. Mulai tahun 2007 Kecamatan Batu menjadi target utama program pengembangan biogas yang salah satunya diterapkan di Desa Oro-oro Ombo. Alasan pemerintah memilih program biogas di Desa Oro-oro Ombo adalah mengendalikan pencemaran akibat limbah dari usaha para peternak sapi yang terdapat di wilayah Desa Oro-Oro Ombo. Desa Oro-oro Ombo memiliki potensi ternak yang tinggi dengan jumlah ternak sapi perah sebanyak 2.184 ekor sehingga pemerintah juga menargetkan desa tersebut menjadi desa mandiri energi (DME). Dusun Dresel merupakan dusun di Desa Oro-Oro Ombo dengan populasi ternak tertinggi. Populasi ternak yang tinggi membuat Pemerintah Kota Batu memutuskan untuk memberikan hibah reaktor biogas di Dusun Dresel pada tahun 2015. Pemanfaatan biogas menjadi peluang kemandirian energi bagi peternak. Program pembangunan biogas di Dusun Dresel sudah dimulai sejak tahun 2007 sehingga pemerintah setempat mentargetkan menjadi desa mandiri energi, namun hanya 14 reaktor biogas yang dibangun dan didistribusikan ke beberapa KK hingga tahun 2019. Hal ini disebabkan beberapa kendala antara lain; biaya kontruksi yang tinggi, syarat jumlah minimal ternak, syarat luas minimal sisa lahan dan kurangnya informasi.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi reaktor biogas khususnya biogas komunal bagi KK peternak yang belum memiliki AD. Berdasarkan [19], salah satu solusi untuk meningkatkan kemampuan membayar peternak dalam membangun reaktor biogas adalah dengan pengelompokan peternak.

2. METODE DAN BAHAN

2.1 Teknik Sampling

Populasi dalam penelitian ini adalah masyarakat peternak dan non peternak di Desa Oro-oro Ombo, Dusun Dresel. Masyarakat peternak dan non peternak di kelompokkan sesuai dengan kebutuhan energi memasak tiap rumah tangga (RT). Pengelompokan tersebut menggunakan kriteria ketersediaan lahan, kepemilikan ternak, dan kondisi kontur. Berdasarkan hasil survei, jumlah RT peternak sapi perah di Dusun Dresel sebanyak 198 RT dan jumlah non peternak sebanyak 109 RT. Semua RT digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini sebagai sampel jenuh sehingga total responden adalah 307 RT.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2.2 Penggunaan SIG untuk Penentuan Lokasi AD Format dari Sub-bab.

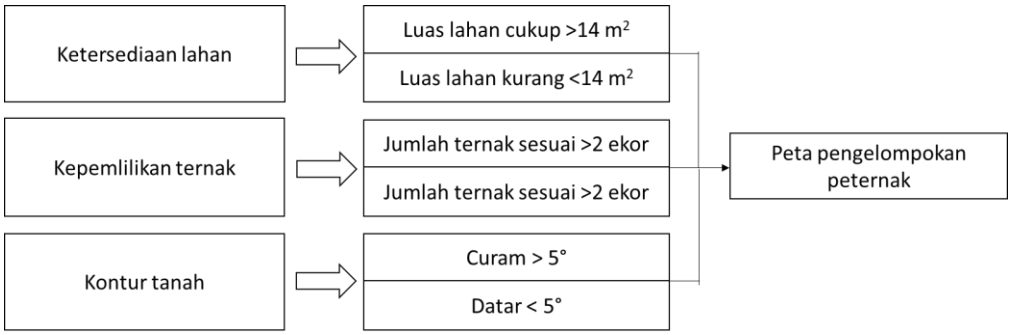
Penentuan lokasi AD menggunakan spatial cluster analysis dan teknik superimpose dengan bantuan sistem informasi geografi (SIG) menggunakan software ArcGIS. Teknik SIG telah luas digunakan untuk solusi permasalahan terkait keruangan dan juga penilaian lokasi potensi biomassasa guna produksi biogas. Teknik ini juga sudah sering digunakan untuk menentukan lokasi AD di pedesaan [20, 21]. [22] menggunakan pendekatan SIG untuk menentukan lokasi AD melalui identifikasi sumber biomassas yang potensial. Evaluasi lokasi AD yang tepat berdasarkan system pengumpulan limbah ternak telah dilakukan oleh [23] dan [24], sedangkan perangkat berbasis SIG dikembangkan oleh [25] untuk menghitung ketersediaan limbah ternak dan memperkirakan volume biogas yang tersedia. SIG juga telah dipelajari untuk memperkirakan distribusi secara regional potensi biogas berdasarkan volume limbah ternak. Negara-negara berkembang khususnya Indonesia mengalami kendala dalam pembangunan AD karena sebagian besar rumah tangga tidak mampu untuk membangun AD secara individu karena tingginya biaya pembangunan [26, 27].. Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengingkatkan keterjangkauan masyarakat pedesaan terhadap pembangunan AD adalah dengan pengelompokan [28]. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengelompokan adalah melalui teknik tumpang tindih (*overlay*) dan s*patial cluster analysis* (SCA).

2.2.1 Teknik Tumpang Tindih (Overlay)

Penelitian ini menggunakan teknik overlay yang merupakan proses penyatuan data dari lapisan layer yang berbeda. Menurut [29], Teknik Overlay proses adalah penyatuan data dari lapisan layer yang berbeda berupa peta individu yang memiliki informasi/database yang spesifik sehingga menghasilkan sistem informasi dalam bentuk grafis. Penyusunan peta dilakukan minimal dengan dua jenis peta yang berbeda. Secara teknis, pada teknik ini harus ada polygon yang terbentuk daridua jenis peta yang disusun yang jika dilihat data atributnya, maka peta akhir akan terdiri dari informasi peta pembentukya. Sebagai contoh, overlay peta topografi dengan peta penggunaan lahan akan menghasilkan peta baru yang berisi atribut topografi dan penggunaan lahan. Agregat dari kumpulan peta individu ini, atau yang biasa disebut peta komposit, mampu memberikan informasi yang lebih luas dan bervariasi. Prosedur dalam teknik *overlay* meliputi [30]:

1. Membuat peta dasar dari wilayah studi
2. Membuat peta – peta lain sesuai kebutuhan dalam studi
3. Menentukan kriteria sesuai dengan kebutuhan studi
4. Melakukan overlay antar peta yang satu dengan yang lain sesuai kebutuhan

Pada penelitian ini terdapat 3 peta tematik yang digunakan pada teknik overlay, yaitu peta ketersediaan lahan, kepemilikan ternak dan kontur tanah. Ketiga peta tersebut saling disusun menggunakan Teknik overlay dimana masing-masing peta memiliki criteria sebagai alat untuk mengidentifikasi apakah variable ketersediaan lahan, kepemilikan ternak dan kontur tanah di lokasi studi memenuhi syarat pembangunan AD. Hasil overlay adalah peta pengelompokan peternah yang digunakan untuk dasar penentuan pengelompokan peternak non-biogas. Sedangkan pengelompokan non-peternak didasarkan kepada jumlah energi yang dapat didistribusikan oleh peternak non-biogas yang membangun digester. Proses penentuan kelompok peternak dapat dilihat pada Gambar 1.



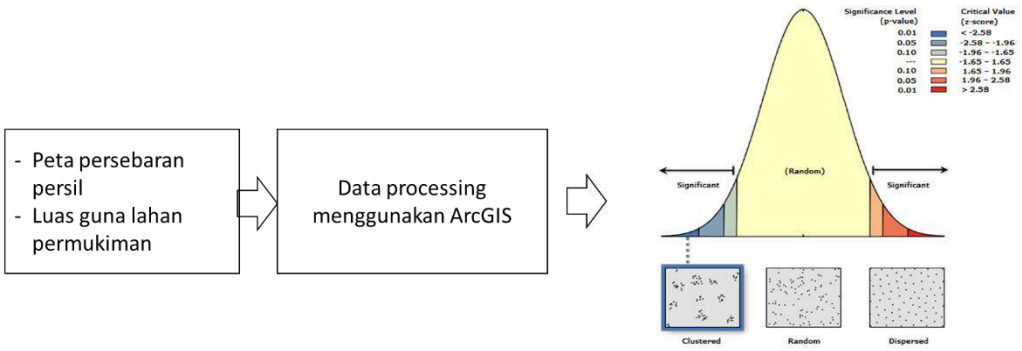
Gambar 1: Proses pada Teknik Overlay

2.2.2 Spatial Cluster Analysis (SCA)

SCA biasanya digunakan untuk menganalisis pola distribusi data obyek dengan pertimbangan kedekatan. Kedekatan tersebut menggambarkan kemiripan karakteristik obyek-obyek. Kedekatan dan batas klaster

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dihitung menggunakan K-Nearest Neighbor Method dmana nilai yang dihasilkan mengindikasikan jarak rata-rata obyek dan hasilnya bias berupa terklaster, acak atau menyebar. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah persil rumah sebagai obyek-obyek yang akan dianalisis dan luas guna lahan permukiman sebagai hamparan sebaran persil rumah. Data yang diinput dan diproses menggunakan SIG menghasilkan beberapa nilai yang akan dibandingkan dengan nilai kritis yang telah ditentukan untuk masing-masing pola permukiman sehingga pola permukiman di Dusun Dresel dapat diidentifikasi berdasarkan nilai kedekatan yang dihasilkan yang merupakan jarak rata-rata antar persil. Pola permukiman ideal untuk pembangunan AD komunal adalah terklaster. Pola permukiman terklaster harus memenuhi kriteria nilai yang kritis sebagai berikut: (i) Rasio tetangga terdekat (nearest neighbor ratio) tidak lebih dari 1, (ii) Z-score tidak lebih dari 2.58, (iii) p-value maksimal 0.01 for, z-score. Proses yang dilakukan pada SCA ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Proses pada Spatial Cluster Analysis.

2.2.3 Perhitungan Potensi Produksi dan Kebutuhan Energi Biogas

Perhitungan potensi energi biogas dari pemanfaatan limbah ternak sapi di Desa Oro-oro Ombo dilakukan karena tidak dilakukan pengukuran langsung terhadap sample kotoran ternak akibat keterbatasan alat. Oleh karena itu, perhitungan potensi energi biogas menggunakan beberapa asumsi berdasar pada hasil survei dan teori dari para ahli. Asumsi-asumsi tersebuat adalah:

1. Potensi Gas per unit kotoran sapi

Menurut [31] potensi gas yang dihasilkan per kg berat kotoran sapi atau kerbau sebesar 0,023-0,040 m^3. Nilai potensi gas sebesar 0,040 m^3/kg kotoran sapi digunakan pada penelitian ini berdasar wawancara dengan staf BIRU di Kecamatan Batu.

2. Produksi Kotoran

Rata-rata produksi kotoran ternak sapi perah di Desa oro-oro Ombo adalah 32 kg/hari berdasarkan hasil wawancara responden peternak, dimana 67% peternak menyatakan bahwa produksi kotoran sapi perah 32 kg/hari.

3. Nilai kalor biogas

Nilai kalor tipikal biogas adalah 20 – 26 MJ/m^3 biogas [32]. Nilai kalor sebesar 26 MJ/m^3 digunakan dalam penelitian ini

4. Kesetaraan nilai kalor per m^3 biogas kotoran ternak sumber energi fosil dengan

Formulasi untuk menghitung Kebutuhan energi untuk memasak yang dilihat dari karakteristik konsumsi bahan bakar masyarakat untuk memasak menggunakan standar pada Tabel 1 [33]

Tabel 1: Kesetaraan nilai kalor per m^3 biogas dengan sumber energi fosil.

SUMBER ENERGI	KESETARAAN	UNIT
LPG	0,46	kilogram (kg)
Minyak Tanah	0,00062	meter kubik (m^3)
Minyak Solar	0,00052	meter kubik (m^3)
Bensin	0,00080	meter kubik (m^3)
Kayu Bakar	3,50	kilogram (kg)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dengan menggunakan asumsi tersebut diaatas, maka total potensi produksi energi biogas di Dusun Dresel dihitung dengan rumus 1 sebagai berikut:

$$Es_{tot} = N * W * Cg * e \quad (1)$$

dimana Es_{tot} merupakan total potensi produksi energi dalam MJ , N adalah jumlah sapi perah, W merupakan berat kotoran ternak dalam kg, C_g adalah konstanta yang menunjukkan nilai potensi biogas yaitu 0,04 m^3/kg kotoran sapi dan e adalah nilai kalor biogas yaitu 26 MJ/m^3 biogas.

Sumber energi yang digunakan di lokasi studi adalah liquid petroleum gas (LPG) dan kayu bakar. Total konsumsi Kedua jenis sumber energi ini dihitung menggunakan rumus 2 berikut ini:

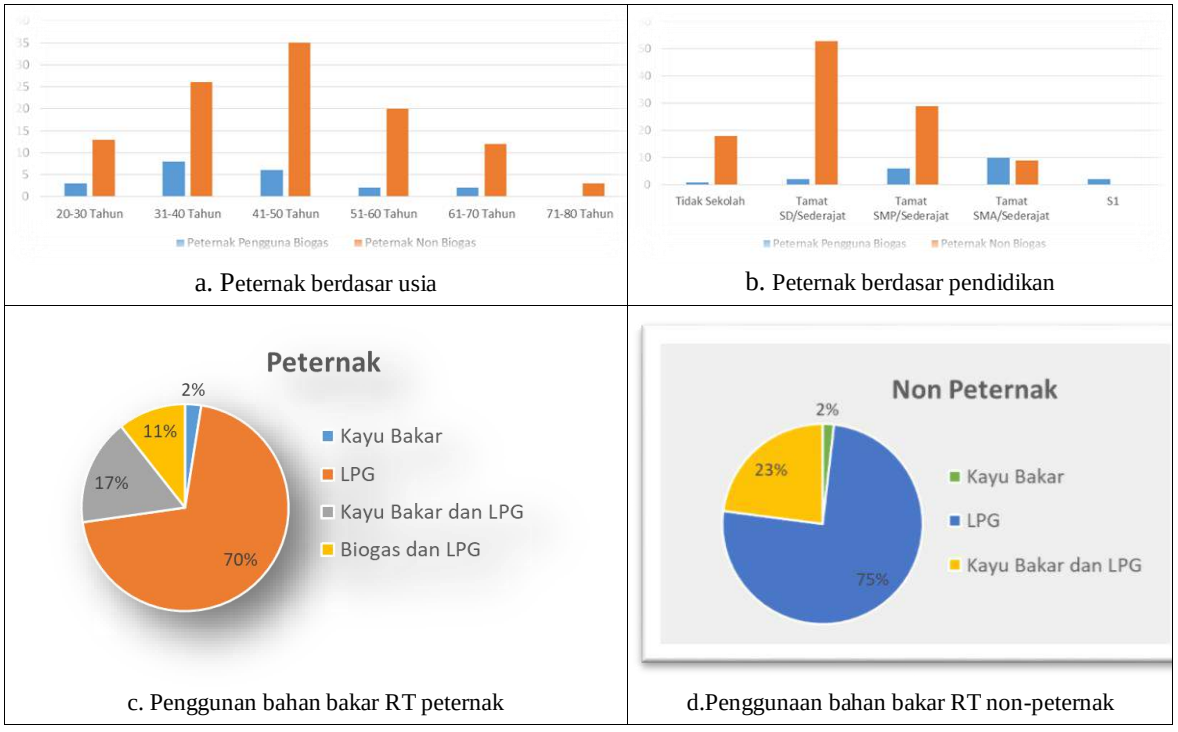
$$Ed_{tot} = \sum_{i=1}^{n} \frac{E_i}{c_i} \quad (2)$$

Dimana Ed_{tot} merupakan total kebutuhan energi dalam MJ, Ei adalah kebutuhan energi per jenis sumber energi dan c adalah konstanta yang menunjukkan Kesetaraan nilai kalor per m^3 biogas dengan LPG atau kayu bakar berdasarkan Tabel 1.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Gambaran Umum wilayah Studi.

Jumlah rumah peternak di Dusun Dresel adalah 177 dengan jumlah total sapi perah sebanyak 873 ekor. Dari jumlah tersebut, sebanyak 118 ekor sudah diolah kotorannya sebagai sumber energi biogas, sedangkan sisanya belum dan sekedar dimanfaatkan sebagian untuk pupuk kandang. Hal ini menunjukkan baru sekitar 11,9% rumah tangga peternak yang mengolah limbah ternak menjadi sumber energi biogas. Sebagian besar peternak non-biogas menyatakan minatnya untuk mengolah limbah ternak namun terkendala minimnya pengetahuan dan tingginya biaya konstruksi. Hasil survei menunjukkan bahwa LPG merupakan sumber energi utama di Dusun Dresel walaupun masih terdapat RT yang menggunakan kayu bakar. Pengeluaran untuk konsumsi energi masyarakat Dusun Dresel berkisar antara Rp 17.000-Rp 60.000 per bulan. Kondisi umum di Dusun Dresel terkait dengan pemanfaatan kotoran ternak dapat dlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



a. Peternak berdasar usia

b. Peternak berdasar pendidikan

c. Penggunan bahan bakar RT peternak

d.Penggunaan bahan bakar RT non-peternak

Gambar 3: karakteristik peternak di Dusun Dresel

3.2 Pengelompokan Peternak Non-Biogas dan Non-peternak

Pengelompokkan peternak di Dusun Dresel dilakukan berdasarkan hasil CSA dan Teknik overlay. Hasil dari CSA menunjukkan bahwa pola permukiman di Dusun Dresel adalah clustered atau mengelompok sehingga kondisi ini layak untuk pembangunan instalasi biogas komunal. Hasil ini menjadi dasar untuk langkap

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

berikutnya yaitu teknik overlay dengan menggunakan 3 peta tematik yaitu kepemilikan ternak, ketersediaan lahan dan kontur tanah.

Data kepemilikan ternak menjukkan bahwa terdapat 20 RT yang memiliki maksimal 2 ekor sapi sedangkan jumlah minimal ternak yang harus dimiliki oleh peternak sebanyak 3 ekor. Namun dalam penelitian ini, output yang dihasilkan adalah instalasi biogas (biodigester) komunal sehingga 20 RT ini dapat digabungkan dengan anggota peternak yang lainnya.

Unit pengolahan biogas yang dikembangkan di Indonesia adalah dengan tipe kubah tetap yang berasal dari beton dengan kapasitas pengolahan 4 m^3 – 12 m^3. Luas lahan minimal yang dibutuhkan untuk membangun biogas dengan kapasitas 4 m^3 adalah 14 m^2 sehingga ketersediaan lahan dinilai berdasarkan luas lahan minimal. Dari total 177 RT peternak non-biogas, sebanyak 80 (44%) peternak tidak memiliki lahan yang cukup, sedangkan sebanyak 97 (56%) peternak memiliki lahan yang cukup. Peternak dengan lahan cukup kemudian di nilai kelayakannya berdasarkan kontur tanah. Analisis baik menggunakan peta maupun pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa tidak ada satu pun dari lahan-lahan tersebut yang memiliki kontur melebihi 5 derajat dan terletak lebih tinggi dari kandang sapi sehingga semua lahan tersebut dapat digunakan sebagai lokasi pembangunan biodigester. Hasil overlay menghasilkan 43 kelompok dengan parameter masing-masing seperti dapat dilihat pada Tabel 2

Table 2: Hasil Pengelompokkan Peternak Non-Biogas.

PARAMETER							
Kepemilikan Ternak	**3-4**	**5-6**	**7-8**	**9-10**	**11-12**	**>12**	**Keterangan**
Jumlah ternak kelompok	0	0	7	2	8	25	Berdasarkan jumlah total ternak yang dimiliki kelompok peternak 100% mencukupi untuk pembangunan reaktor biogas.
Ketersediaan Lahan Minimal (m^2)	**14-17**	**18-25**	**26-35**	**36-48**	**49**	**>49**	Berdasarkan jumlah sisa lahan yang dimiliki kelompok peternak 100% mencukupi untuk pembangunan reaktor biogas.
Luasan lahan kelompok	19	15	9	0	0	0	

3.3 Penentuan Ukuran dan Lokasi Biodigester

Tabel 3 menjadi acuan dalam menentukan ukuran dan lokasi pembangunan biodigester di Dusun Dresel. Setelah melalui observasi di lapangan guna validasi hasil perhitungan, maka didapatkan hasil seperti tercantum pada Tabel 3 .

Table 3: Hasil Pengelompokkan Peternak Non-Biogas.

UKURAN BIODIGESTER (m^3)	**JUMLAH KELOMPOK**	**PROSENTASE**
4	18	42 %
6	15	35 %
8	10	23 %
10	0	0 %
12	0	0 %
Total	**43**	**100%**

3.4 Ketersediaan dan Kebutuhan Biogas

Perhitungan ketersediaan energi biogas dilakukan berdasarkan dimensi biodigester komunal kelompok peternak non-biogas, sedangkan kebutuhan energi biogas dihitung sesuai dengan konsumsi energi tiap anggota kelompok baik peternak mauppun non-peternak. Tabel 4 menunjukkan Penentuan RT non-peternak dan distribusi energi dimana hasil perhitungan produksi dan penggunaan biogas kelompok peternak menghasilkan sisa energi yang dapat didistribusikan kepada 75 RT non-peternak dari total 109 RT.

Tabel 4: Distribusi Sisa Energi dari Kelompok Peternak kepada Rumah Tangga Non Peternak

KELOMPOK PETERNAK				**NON PETERNAK**				
Klaster	Nama Ketua Kelompok	Sisa Energi (m^3/hari)	Keterangan	No. Persil	Nama	Kebutuhan Bahan Bakar (m3/hari)	Sisa Energi (m^3/hari)	Kecu-kupan
1	Choirul	35,41	Berlebih	266	Pranoto	0,50	15,86	Cukup

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

KELOMPOK PETERNAK				NON PETERNAK				
Klaster	Nama Ketua Kelompok	Sisa Energi (m^3/hari)	Keterangan	No. Persil	Nama	Kebutuhan Bahan Bakar (m3/hari)	Sisa Energi (m^3/hari)	Kecu-kupan
2	Taru	32,63	Berlebih	262	Bardi	0,43	14,51	Cukup
3	Sunarto	33,23	Berlebih	254	Liayah	0,43	13,76	Cukup
4	Slamet	17,24	Berlebih	250	Yasemat	0,43	6,61	Cukup
5	Misiadi	23,21	Berlebih	243	Tarmun	0,22	9,39	Cukup
7	Wanaji	22,73	Berlebih	294	Budi	1,08	10,87	Cukup
8	Badri	26,23	Berlebih	298	Deden	0,43	4,66	Cukup
				300	Indah Harto	0,43		
9	Paidi	14,49	Berlebih	307	Iwan	0,22	6,11	Cukup
10	Tamat	37,73	Berlebih	80	Okky	0,86	15,70	Cukup
11	Pi'i	9,15	Berlebih	88	Edi	0,43	3,28	Cukup
12	Arif Setiawan	30,46	Berlebih	74	Rusmiati	0,65	12,13	Cukup
13	Murti	8,02	Berlebih	287	Apandi	0,22	3,04	Cukup
14	Dewi	37,75	Berlebih	289	Harmanu	0,43	16,70	Cukup
				284	Hidayatul	0,22		
16	R. Hidayat	23,67	Berlebih	64	Munawir	0,22	10,53	Cukup
17	Dulasim	21,11	Berlebih	60	Leksono	0,43	8,25	Cukup
				56	Nurcholis	0,22		
				55	Wikuh	0,65		
18	Herman	22,58	Berlebih	36	H. Wariadi	0,86	6,14	Cukup
				29	Franky	0,72		
				28	Andri	0,43		
				33	Juliawan	0,43		
				32	Anang	1,08		
19	Henni	37,53	Berlebih	14	Sigit	0,43	15,18	Cukup
				17	Wijayanto	0,22		
				19	Atma	0,22		
				21	Budi	0,43		
				22	Kusnanto	0,43		
				23	Ansor	0,22		
20	Wandi	13,65	Berlebih	49	Fakih	0,87	4,00	Cukup
				47	Nuriyanto	0,65		
				46	noryanto	0,22		
				43	Tarmin	0,43		
21	Said	19,30	Berlebih	44	Nur Rochim	0,65	6,23	Cukup
					Yunarko	0,43		
					Subagio	0,43		
23	Yudi	15,14	Berlebih	84	Luluk W	0,65	9,18	Cukup
24	Kusen	19,74	Berlebih	95	Friyadi	0,65	7,11	Cukup
					Sumitro	0,43		
25	Kartini	39,03	Berlebih	183	Yayuk	0,86	15,15	Cukup
				182	Luluk	0,65		
				189	Efendi	0,43		
				191	Siti	0,86		
26	Sulkan	25,14	Berlebih	197	Heru	0,86	8,70	Cukup
				195	Nurrochim	0,65		

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

KELOMPOK PETERNAK				NON PETERNAK				
Klaster	Nama Ketua Kelompok	Sisa Energi (m^3/hari)	Keterangan	No. Persil	Nama	Kebutuhan Bahan Bakar (m3/hari)	Sisa Energi (m^3/hari)	Kecu-kupan
				193	Widodo	0,65		
27	Sunarsih	28,79	Berlebih	202	Dwi Ratno	0,50	12,42	Cukup
				199	Ruyat	0,22		
28	Sukinem	20,30	Berlebih	210	Endri	0,22	7,34	Cukup
				176	Suliamat	0,65		
				173	Hariono	0,22		
				171	Jumari	0,50		
30	Sutrino	36,22	Berlebih	109	Mustapa	0,22	14,95	Cukup
				106	Luluk	0,65		
31	syahputra	30,89	Berlebih	114	Susilo	0,86	12,13	Cukup
				110	Sukari	0,22		
33	Purnomo	15,56	Berlebih	125	Burhan	0,65	6,07	Cukup
34	Edwin	19,18	Berlebih	124	Iwan	0,43	7,65	Cukup
				119	Munawaroh	0,22		
37	Wisnu	12,55	Berlebih	100	Suratih	0,43	3,96	Cukup
38	Murti	23,43	Berlebih	205	Budiono	0,22	9,10	Cukup
				203	Suparman	0,50		
39	Miskan	9,16	Berlebih	159	Sahrodi	0,43	1,35	Cukup
				160	Firman	0,43		
				161	Mugi	1,08		
				163	Riwan	0,43		
40	Supriyono	7,87	Berlebih	73	Maryono	0,50	2,01	Cukup
				71	Suparman	0,6		
41	Jiarno	8,72	Berlebih	6	Wahyu	0,43	2,63	Cukup
				4	Najib	0,22		
42	Supadi	12,35	Berlebih	275	Nariyo	0,22	4,05	Cukup
				273	Sutrino	0,6		
43	Darto	10,22	Berlebih	52	Sujoko	0,43	2,73	Cukup
				51	Yendra	0,94		
Total		883,75				40,73	843,02	

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total, biogas yang dihasilkan oleh masing-masing kelompok beragam, yaitu berkisar antara 8,966 dan 39,68 m3/hari tergantng dari kapasitas biodigester yang digunakan berdasarkan data pada Tabel 3. Konsumsi energi masing-masing rumah tangga (RT) peternak berkisar mulai 0,65 hingga 3,48 m3/hari. Total potensi biogas yang dihasilkan dari pemanfaatan kotoran ternak oleh 43 kelompok adalah sebesar 944,64 m^3/hari dengan nilai energi setara dengan 24.560,64 MJ. Total potensi kebutuhan energi RT dalam 43 kelompok peternak sebesar 82,59 m^3/hari. Nilai ini jika dikonversi ke dalam satuan energi, maka setara dengan 2.147,34 MJ/hari sehingga masih terdapat sisa energi sebesar 889,13 m^3/hari (23.117,38 MJ/hari) yang dapat didistribusikan kepada RT non-peternak. Tingginya sisa energi disebabkan kebutuhan energi yang ada sebatas untuk memasak saja dan berdasarkan survei, rata-rata kebutuhan energi di Dusun Dresel sekitar LPG rata-rata 2 tabung seberat 3 kg dan kayu bakar sebanyak 5 ikat dengan berat 15 kg/ ikat. Penentuan RT penerima distribusi biogas didasarkan pada jarak kedekatan dari hasil SCA sehingga 75 RT dari total 109 RT non-peternak dapat bergabung ke dalam 43 kelompok peternak yang kemudian disebut sebagai kelompok pengguna biogas. Tidak semua RT non-peternak dapat bergabung karena letak rumah melebihi 12 m yang merupakan jarak rata-rata antar rumah di Dusun Dresel serta lokasinya di seberang jalan sehingga jaringan distribusi tidak bisa mencapai lokasi tersebut tanpa membongkar jalan. Total kebutuhan energi RT kelompok pengguna biogas yang terdiri dari peternak dan non-peternak sejumlah 199 RT adalah sebesar 123,32 m3 biogas/hari atau setara 3206,32.MJ/hari yang dihitung berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan yaitu LPG dan kayu bakar.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4. KESIMPULAN

Penelitian tentang pemanfaatan limbah ternak sebagai energi biogas di Dusun Dresel menghasilkan keluaran sebagai berikut:

1. Pengelompokkan peternak di Dusun Dresel berdasarkan minimal ketersediaan lahan (14 m^2), kepemilikan peternak (minimal 2 sapi) dan kontur (maksimal 5 derajat) menghasilkan 43 kelompok.
2. Semua kelompok memiliki lahan cukup untuk membangun biodigester. Biodigester kapasitas 4 m^3 dapat dibangun oleh 18 kelompok, biodigester kapasitas 6 m^3 mampu dibangun oleh 15 kelompok dan 10 kelompok dapat membangun biodigester dengan kapasitas 8 m3.
3. Total potensi produksi biogas yng dapat dihasilkan adalah sebesar 8,96-39,68 m^3/hari dan kebutuhan energi sebesar 0,65-3,48 m^3/hari. Perbandingan antara sediaan dan kebutuhan biogas di Dusun Dresel menunjukan bahwa jika peternak dalam semua kelompok beralih ke biogas, maka tingkat pemakaian hanya sebesar 8.7% sehingga masih terdapat sisa energi yang dapat didistribusikan ke keluarga non-peternak.
4. Sisa energi biogas kelompok peternak mampu menyuplai 69% atau sebanyak 75 KK non peternak
5. Total potensi energi yang dihasilkan adalah 24.560,64 MJ/hari dan mampu menYuplai kebutuhan biogas peternak sebesar 2.147,34 MJ/hari sehingga masih terdapat 23.117,38 MJ/hari untuk didistribusikan kepada RT non-peternak
6. Dari total 109 RT, 75 RT non-peternak dapat bergabung ke dalam 43 kelompok peternak sehingga total kebutuhan biogas di Dusun Dresel adalah 3206,32.MJ/hari.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] YUANA, X., ZUO, J., "Pricing and affordability of renewable energy in China –A case study of Shandong Province", *Renewable Energy*, v. 36, n. 3, pp. 1111-1117, March 2011

[2] HAMID, R.G., BLANCHARD, R.E., "An assessment of biogas as a domestic energy source in rural Kenya: Developing a sustainable business model", *Renewable Energy*, v. 121, pp. 368-376, June 2018

[3] WANG, C., ZHANG Y., ZHANG, L., PANG, M., "Alternative policies to subsidize rural household biogas digesters", *Energy Policy* v. 93, pp. 187-195, June 2016

[4] ZHANG, L.X., WANG, C.B., SONG, B., "Carbon emission reduction potential of a typical household biogas system in rural China", *Journal of Cleaner Production*, v. 47, pp. 415–421, May 2013.

[5] RAO, V.P., BARAL, S.S., DEY, R., MUTNURI, S., "Biogas generation potential by anaerobic digestion for sustainable energy development in India", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, n. 7, pp. 2086–2094, September 2010.

[6] KHAN, U.K., MAINALI, B., MARTIN, A., SILVIERA, S., "Techno-economic analysis of small scale biogas based polygeneration systems: Bangladesh case study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 7, pp. 68 – 78, September 2014

[7] ANTHONY, D.O., "Renewable energy: externality costs as market barriers", *Energy Policy*v, v. 34, n. 5, pp. 632–642, March 2006

[8] ANNA, P., "Renewable energy in South Africa: potentials, barriers and options for support", *Energy Policy* v. 38, n. 9, pp. 4945–4954, September 2010.

[9] IGONI, A.H., AYOTAMUNO, M.J., EZE, C.L., OGAJI, S.O.T., PROBET, S.D., "Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste", *Applied Energy*, v. 85, n. 6, pp. 430–438, June 2008.

[10] ZUBARYEVA, A., ZACCARELLI, N., DEL GIUDICE, C., ZURLINI, G., "Spatially explicit assessment of local biomassas availability for distributed biogas production via anaerobic co-digestion – Mediterranean case study" *Renewable Energy*, v. 39, pp. 261–270, March 2012.

[11] SUGIYONO, A., FITRIANA, I., ANINDHITA, FNU., WAHID, LOMA., ADIARSO. 2018. *Outlook Energi Indonesia 2017. Inisiatif pengembangan teknologi energi bersih*, Jakarta. Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), 2017

[12] WIBOWO, R., "Analisis Thermal Nilai Kalor Briket Ampas Batang Tebu dan Serbuk Gergaji", *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 10, n. 1, pp. 9 – 15, 2019

[13] NUGRAHA, A., WIDODO, A., WAHYUDI, S., "Pengaruh Tekanan Pembriketan dan Persentase Briket Capuran Gambut dan Arang Pelepah Daun Kelapa Sawit terhadap Karaketeristik Pembakaran Briket",

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Rekayasa Mesin, v. 8, n. 1, pp. 29 – 36, 2017

[14] MORERO, B., GROPPELLI, E., CAMPANELLA, E.A., "Life cycle assessment of biomethane use in Argentina", *Bioresource Technology*, v. 182, pp. 208 – 216, April 2015.

[15] HUTTUNEN, S., MANNINEN, K., LESKINEN, P., "Combining biogas LCA reviews withstakeholder interviews to analyse life cycle impacts at a practical level", *Journal of Cleaner Production*, v. 80, pp. 5 – 16, October 2014.

[16] SILVA, S., ALCADA-ALMEIDA, L., DIAS, L.C., "Biogas Plants Site Selection. Integrating Multi Criteria Decision Aid methods and GIS techniques: A case study in a Portuguese region", *Biomassas and Bioenergy*, v. 71, pp. 58 – 68, December 2014.

[17] LYBAEK, R., KJAER T., "Pre-assessment of the circular economic benefits and challenges of biogas production in Denmark when utilizing sand bedding in dairy cow stables", *Journal of Cleaner Production* v. 219, pp. 268-277, May 2019.

[18] LOPEZ-VAZQUEZ, C.M., MITHAIWALA, M., MOUSSA, M.S., BRDJANOVIC, D., "Coupling ASM3 and ADM1 for wastewater treatment process optimisation and biogas production in a developing country: Case-study Surat, India", *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, v. 3, n. 1, pp. 12-25, March 2013.

[19] MEIDIANA, C., SELVIA, S.I., DINANTI, D. (2018) "Increasing Farmers' Affordability for Anaerobic Digester Construction in Rural Area Using Spatial Cluster Analysis", In: McLellan, B. (eds), *Sustainable Future for Human Security*, Part III, Singapore, Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018

[20] KURKA., T., JEFFERIES, C., BLACKWOOD, D., "GIS-based location suitability of decentralized, `medium scale bioenergy developments to estimate transport CO2 emissions and cost", *Biomassas Bioenergy*, v. 46, pp. 366–379, November 2012.

[21] SUTANA, A., KUMAR, A., "Optimal siting and size of bioenergy facilities using geographic information system", *Applied Energy*, v. 94, pp. 193–201, June 2012.

[22] CHUKWUMA, E.C., "Facility location allocation modelling for bio-energy system in Anambra State of Nigeria: Integration of GIS and location model", *Renewable Energy*, v. 141, pp. 193–201pp.460-467, October 2019.

[23] DAGNALL S, HILL J, PEGG, D., "Resource mapping and analysis of farm livestock manures–assessing the opportunities for biomass-to-energy schemes", *Bioresource Technology*, v. 71, pp. 225–234, February 2000

[24] SCARLAT, N., FAHL, F., DALLEMAN, J., MONFORTI, MOTOLA, V., "A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 94, pp. 915–930, October 2018.

[25] ALI, M.M., NDONGO, M., BILAL, B., YETILMEZSOYC, K., YOUM, I., BAHRAMIANC, M., "Mapping of biogas production potential from livestock manures and slaughterhouse waste: A case study for African countries", *Journal of Cleaner Production*, v. 256, pp. 1-17, May 2020.

[26] GURUNG, A., KARKI, R., CHO, J.S., PARK, K.W., OH, SE., "Roles of renewable energy technologies in improving the rural energy situation in Nepal: Gaps and opportunities". *Energy Policy*, v. 62, pp. 1104-1109, November 2013.

[27] MULDER P, TEMBE J (2008) "Rural electrification in an imperfect world: a case study from Mozambique", *Energy Policy*, v. 36, pp. 2785–2794, August 2008

[28] VAISSI, S., SHARIFI, M., "Integrating multi-criteria decision analysis with a GIS-based siting procedure to select a protected area for the Kaiser's mountain newt, Neurergus kaiseri (Caudata: Salamandridae)", *Global Ecology and Conservation*, v. 20, pp. 1-15, October 2019

[29] STESSENS, P., CANTERS, F., HUYSMANS, M., KHAN, A.Z., "Urban green space qualities: An integrated approach towards GIS-based assessment reflecting user perception", *Land Use Policy*, v. 91, pp. 1-15, February 2020

[30] MONTEIRO, E, MANTHA, V, ROUBOA, A., "Prospective application of farm cattle manure for bioenergy production in Portugal", *Renewable Energy*", v. 36, n. 2, pp. 627-631, February 2011.

[31] WAHYUNI, S., *Biogas Energi Alternatif Pengganti BBM, Gas, dan Listrik*, Jakarta, PT. Agro Media Pustaka., 2013.

[32] LPELC (Livestock and Poultry Environmental Learning Community), https://lpelc.org/biogas-utilization-and-cleanup). Diakses: Agustus.2019

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

[33] DEPARTEMEN PERTANIAN, *Program Bio Energi Pedesaan-Biogas Skala Rumah Tangga*. Jakarta, Ditjen PPHP – Departemen Pertanian, 2006.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal PEPADU e-ISSN: 2715-9574
Online http://jurnal.lppm.unram.ac.id/index.php/jurnalpepadu Vol. 1 No. 1, Januari 2020

Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu Didesa Ranjok Kecamatan Gunung Sari Kabupaten Lombok Barat Menjadi Biomass Pellet Sebagai Sumber Energi Terbarukan

Lalu Fathur Maulana*, Hervan Imami Ghozali, Moh. Haykal Fikri, Eka Indriani Agustina, Muhamad Ali
Universitas Mataram, Kota Mataram, Indonesia

Kata Kunci: energi alternatif, pemanfaatan serbuk kayu, biopelet

Abstrak: Energi alternatif merupakan pilihan untuk mengatasi krisis energi saat ini, salah satu energi alternatif yang bisa dimanfaatkan adalah biomassa yang sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi energi terbarukan. Kayu merupakan salah satu sumber energi yang diharapkan yang dapat menggantikan sumber bahan bakar minyak. Bahan bakar dari kayu yang umum digunakan secara langsung adalah serbuk gergaji/penyomilan. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah serbuk limbah kayu menjadi bahan bakar biopellet.Penelitian dilaksanakan pada tanggal 15 Juli- 31Agustus 2019 di . Bahan utama adalah serbuk kayu dan tapioka sebagai perekat. Serbuk kayu yang telah diolah berupa serat/fiber.

Korespondensi: faturlalu21@gmail.com

PENDAHULUAN

Kelangkaan bahan bakar yang berakibat pada semakin tingginya harga minyak bumi di pasar dunia mendorong pencarian sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan. Kayu merupakan salah satu sumber energi yang diharapkan dapat menggantikan sumber bahan bakar minyak, namun apabila kayu dijadikan sebagai bahan bakar secara langsung mempunyai sifat-sifat yang kurang menguntungkan, antara lain kadar air yang tinggi, mengeluarkan banyak asap dan abu. Bahan bakar dari kayu yang umum digunakan secara langsung adalah serbuk gergaji/penyomilan. Serbuk kayu melalui proses lanjutan berupa pencacahan, pengeringan, penepungan dan pengepresan yang dapat dijadikan bahan bakar dinamakan pelet kayu. Jenis bahan bakar ini merupakan bahan bakar kayu alternatif yang dipandang memiliki keunggulan. Penggunaan pelet kayu sebagai bahan bakar dapat dilakukan dengan menggunakan tungku untuk pemanas ruangan atau tungku memasak. Pelet kayu menjadi perhatian utama saat ini karena faktor kemudahan dalam bahan baku dan memiliki karakteristik yang ramah lingkungan. Serbuk kayu ini dapat diperoleh dari beragam sumber limbah perkayuan. Jumlah serbuk kayu yang dihasilkan dari eksploitasi/pemanenan dan pengolahan kayu bulat sangat banyak.

Serbuk kayu merupakan limbah industri penggergajian kayu. Serbuk kayu dari hasil pemotongan selama ini hanya dibiarkan begitu saja dan banyak menimbulkan masalah. Limbah serbuk kayu yang di biarkan membusuk, ditumpuk atau dibakar yang kesemuanya berdampak negatif terhadap lingkungan sehingga penanggulanganannya perlu dipertimbangkan lagi. Salah satu jalan yang dapat di tempuh yaitu dengan memanfaatkannya menjadi produk yang bernilai tambah dengan bantuan teknologi aplikatif, sehingga hasilnya mudah di sosialisasikan kepada masyrakat. Serta merubah pola pikir masyarakat yang statis

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

akan pemanfaatan limbah serbuk kayu, sekaligus mengurangi dampak negatif dari limbah tersebut.

Kekurangan dari serbuk kayu sebagai bahan bakar adalah memiliki nilai kalori yang rendah, densitas (massa jenis) energi yang rendah. Sedangkan kelebihan dari serbuk kayu sebagai bahan bakar adalah dapat menghasilkan panas pembakaran yang tinggi, lebih murah bila dibandingkan dengan minyak tanah atau rang kayu dan masa bakar jauh lebih lama dari pada arang biasa.

Tujuan Penelitian

1. Mengurangi pencemaran lingkungan limbah serbuk kayu melalui pemanfaatan pengolahan menjadi bahan bakar Biopellet.
2. Meningkatkan kesadaran, pemahaman serta inovasi kepada masyarakat terkait pemanfaatan limbah serbuk kayu.

Rumusan Masalah

1. Apa dan bagaimana proses produksi limbah kayu menjadi Biopellet?
2. Bagaimana antusiasme masyarakat terkait pemanfaatan limbah serbuk gergaji sebagai Biopellet?

METODE KEGIATAN

Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di desa Ranjok kec. Gunung Sari kab. Lombok Barat, dengan pertimbangan proses produksi bertempat di KPH Rinjani Barat Pelangan Tastura pabrik Pelet Kayu, desa Bentek kab. Lombok Utara.

Pengumpulan Data

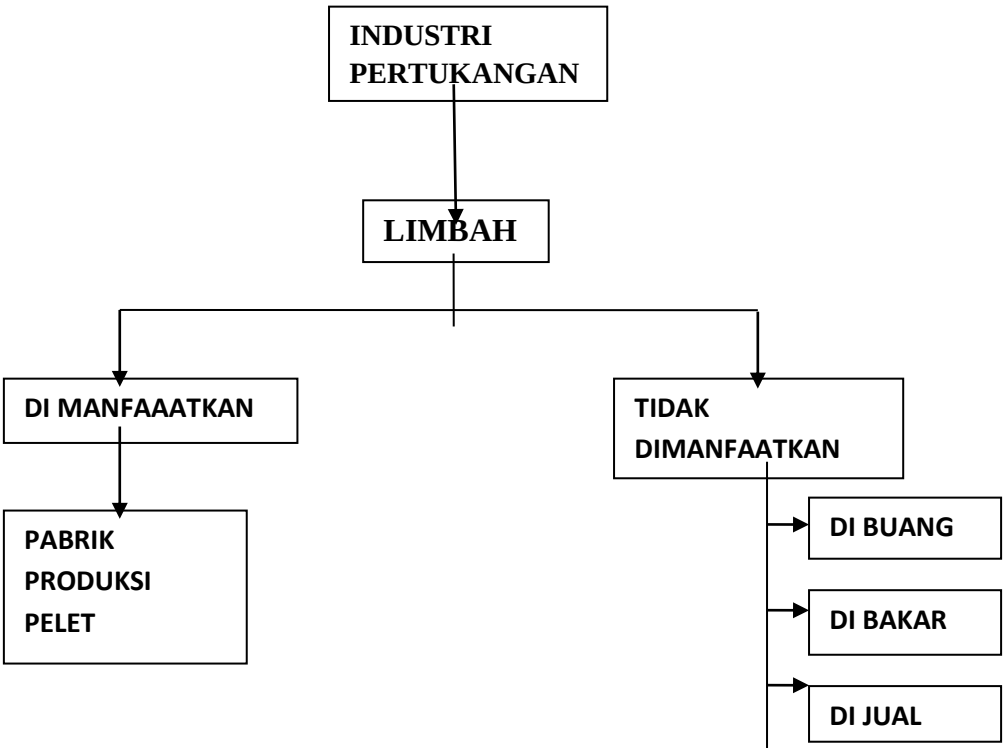
Data dikumpulkan dengan metode wawancara, survey pendataan/pencatatan dan pengamatan langsung, di lapangan dengan obyek penelitian : industri pertukangan, pabrik pelet kayu dan berbagai pihak terkait.

No	Metode	Sumber Data	Jenis Data
1	Pencatatan/Pendataan jumlah pengrajin kayu dan limbah kayu	Industri pertukangan, penyomilan kayu meliputi pengrajin dan tukang kayu di desa Ranjok	Jenis kayu yang sering digunakan Bentuk pemanfaatan Jumlah serbuk kayu yang di hasilkan per-minggu dalam satuan karung Harga limbah jika dijual
2	Wawancara	Kepala Desa Ranjok, Sekrertaris Desa Ranjok, dan Kadus masing dusun di desa Ranjok.	Persepsi tentang pemanfaatan limbah kayu Penggunaan limbah kayu di masyarakat Persepsi tentang keberadaan industri pelet kayu
3	Pengamatan lapangan	Industri pertukangan, pabrik Biomass Pellet Kayu.	Jenis limbah industri pertukangan Proses pembuatan pelet kayu

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kerangka Analisis

Analisis penggunaan limbah serbuk kayu dalam masyarakat, serta peran para pihak dalam pemanfaatannya di masyarakat dan dalam industri pengolahan kayu, dilakukan melalui alur pikir seperti : Gambar 1



Terlihat bahwa pemanfaatan serbuk kayu sebagai bahan bakar biomass pelet dalam rangka mengurangi limbah serbuk kayu di lingkungan masyarakat, perlu diketahui besarnya potensi pemanfaatannya sehingga limbah kayu tidak di buang atau di bakar lagi, namun proses pengolahannya perlu sosialisasikan agar pemanfaatannya di pergunakan secara maksimal. Limbah yang berasal dari industri pertukangan sangat berpontesi untuk dimanfaatkan menjadi biomassa bahan bakar pelet.

Analisis Data

Data yang terkumpul diolah dan dianalisis melalui tabulasi data untuk selanjutnya dibahas secara deskriptif, yaitu (1) Untuk mengetahui jumlah pengrajin kayu dengan mengidentifikasi lokasi pengindustrian (2) Untuk mengetahui potensi kebutuhan dan pemanfaatan serbuk kayu di desa Ranjok yaitu dengan mengidentifikasi jumlah industri pengolahan kayu yang ada dan (3) Untuk mengetahui jumlah limbah yang tersedia yaitu dengan menghitung rendemen industri pengolahan kayu.

Berdasarkan informasi yang diperoleh penggergajian kayu dapat menghasilkan limbah yang berupa serbuk kayu sebesar 10%, serutan 25% dan potongan 14% sedangkan rendemen pelet kayu adalah 80% dari serbuk gergajian. Industri Perkayuan merupakan suatu sistem, sehingga perlu diketahui bagaimana bentuk struktur sistemnya. Untuk memahami fenomena usaha Industri Perkayuan diperlukan suatu kerangka pendekatan yang sederhana.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Hubungan sub sistem dalam sistem usaha industri kayu terkait secara simultan dan dinamis. Perubahan pada salah satu sub sistem akan mempengaruhi sub sistem yang lain, baik secara internal maupun perubahan eksternal. Secara garis besar penjabaran ke dua sub sistem tersebut adalah:

a. Sub sistem produksi yaitu potensi industri pengolahan kayu dan pengembangan teknologi
b. Sub sistem pengolahan yaitu kebutuhan bahan baku, tenaga kerja yang mempunyai keahlian
c. Sub sistem pemasaran antara lain sistem pemasaran dan persaingan harga
d. Sub sistem kelembagaan meliputi, lembaga sosial dan ekonomi

Alat dan Bahan

Alat penelitian yang digunakan mesin. Berbahan baku serbuk kayu dan tepung tapioka sebagai perekat. Serbuk kayu yang sudah diolah berupa serat.

Prosedur Penelitian

Dalam prosedur pembuatan pelet serbuk kayu dengan teknik densifikasi ada beberapa tahapan proses yang dilalui meliputi persiapan bahan baku, pencampuran perekat, penempaan, pengeringan dan analisa hasil.

.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil survey produksi ada beberapa tahapan yang dilakukan terkait proses pembuatan Biopellet berikut:

1. Proses pencacahan, meliputi penyaringan serbuk kayu, di mana serbuk kayu atau bahan baku mentah yang masih kasar potong-potong cacah dengan mesin hingga menjadi serpihan yang lebih kecil.
2. Proses pengeringan, serbuk kayu yang sudah di cacah (di haluskan) di hisap ke dalam tungku pengeringan agar kadar air dalam serbuk kayu tidak terlalu banyak, di tampung dalam tabung *syclon* hingga keluar berbentuk *chips*.
3. Bahan baku yang masih berbentuk *chips*, di proses melalui mesin penghisap untuk seleksi penyerbukan. Masuk kemudian ke *hammar mill* untuk proses penyerbukan dan penepungan.
4. Kemudian turun ke pencetak pelet untuk proses pemeletan. Keluar dalam bentuk pelet pada bagian *confliyer*.
5. Proses *packing* atau tahap akhir penimbangan dan pembungkusan. Pelet yang sudah jadi di timbang dalam satuan kilogram (kg) berukuran 60-75 ml, berdiameter 6 mm di bungkus dalam kemasan karung hingga berat 20-25 kg.

Dalam proses produksinya, pelet kayu sangat bergantung pada pengaturan kadar air dan kualitas lignin jenis kayu yang dijadikan pelet. Mesin produksi memiliki kapasitas 300kg per jam, dengan daya listrik 150 kWh, temperatur 60 derajat celcius.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jenis pelet dengan nilai kalor dan kadar air sebagai berikut:

JENIS	KALORI (Kcal/kg)	KADAR AIR (%)
Kaliandra	4417	8,8
Gamal	4197	8,3
Raimba Campuran	4226	14,0

Biomass pelet ini dapat diaplikasikan untuk keperluan rumah tangga, industri kecil hingga besar. Jenis pelet dengan harga di pabrik pelet KPH Rinjani Barat:

JENIS	CURAH (Rp/Kg)	KEMASAN (Rp/Kg)
Kaliandra	4000	5000
Gamal	3000	4000
Rimba Campuran	2000	3000

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Limbah serbuk kayu dapat dimanfaatkan menjadi Biopelet bahan bakar alternatif. Dalam prosedur pembuatan pelet serbuk kayu meliputi beberapa tahapan proses yaitu persiapan bahan baku, pencampuran perekat, penempaan, pengeringan dan analisa hasil.
2. Antusiasme masyarakat terkait pemanfaatan limbah sangat baik. Namun keterbatasan teknologi yang ada di desa Ranjok.

Saran

Dalam pemanfatan limbah diharapkan pemerintah ikut serta dalam mensosialisasikan terhahadap penanggulangan limbah. Karena tidak menutup kemungkinan pihak terkait.

Ucapan Terima Kasih

Pertama-tama kami ucapkan segala puji bagi Allah, Tuhan semesta alam yang telah memberikan kami berkah serta rahmatnya hingga kami dapat menyelesaikan artikel penelitian ini.

Yang kedua tak lupa kami haturkan shalawat dan salam kami atas junjungan Nabi besar kita Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari alam yang gelap gulita menuju alam yang terang benderang yang adainul islam.

Kami ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada masyarakat desa Ranjok yang telah memberikan kami kesempatan serta dukungan dalam rangka melakukan penelitian program kerja KKN kami.

Terima kasih kepada Bapak Muhammad Ali, S.pt, M.Si., ph.D selaku Dosen Pembimbing Lapangan kami.

DAFTAR PUSTAKA

KPH Rinjani Barat Pelangan Tastura. Fikri, Moh. Haykal dkk. 2019, *Pemanfaatan Serbuk Kayu di desa Ranjok Kecamatan Gunung Sari Kabupaten Lombok Barat sebagai*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Biopelet sebagai Sumber Energi Terbarukan.KKN Tematik 2019, Universitas Mataram, Mataram.

Permata, Dea.2019, *Pembuatan Bahan Biopelet dari Limbah Serbuk Gergajian, Skripsi*. Fakultas Pertanian, Univ. Lampung, Bandar Lampung.

Bassam EL danMaegaard. Uji Kinerja Rotary Dryer BerdasarkanEfisiensi Termal Pengeringan Serbuk Kayu untuk Pembuatan Biopelet. *Jurnal Teknik Kimia No. 21(2), April2015.*

Bismarck, A., Mishra, S., Lampke, T. 2005. *Plant Fibers as Reinforcement for Green Composites. In: Mohanty, A.K., Misra, M., and Drzal, L.T. (Ed.), Natural Fibers, Biopolymer, and Biocomposites*. CRC Press Tailor and Francis group, Boca Raton.

Bhattacharya dan Yamada. 1996. *Biomassa Dengan Densitas Rendah*. Penerbit Erlangga, Jakarta.

Darmawan 2000 Kandungan Kadar Abu Terhadap Serbuk Gergajian Pada Biomassa (Skripsi) Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PEMBUATAN MESIN PENGERING KELAPA MENGGUNAKAN SUMBER ENERGI TERBARUKAN UNTUK MENINGKATKAN PENDAPATAN MASYARAKAT KECAMATAN PONDOK KELAPA KABUPATEN BENGKULU TENGAH

MANUFACTURE COCONUT DRYING MACHINE USING RENEWABLE ENERGY SOURCES TO INCREASE THE INCOME COMMUNITY OF PONDOK KELAPA CENTRAL BENGKULU REGENCY

Oleh:
*Hendra [*1], Yenni Suhartini[2], Anizar Indriani[2], Hernadewita[3]*
*[*1]Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu*
[2]Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bengkulu
[3]Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Mercubuana
E-mail: [*] h7f1973@yahoo.com

ABSTRACT

IbM community service aims to help villagers to make coconut drying machine. This dryer can help people in the processing a crops product with high water content quality, hygienic, short time and are not dependent on climate or weather. This machine mechanism can help the farmers in processing coconut plantations product, especially in the process of drying the crop so that sale value of dried coconut is high and incomes become increase. In the previous drying method, the coconut is drying by the open system where as the method is dependent on natural and climatic conditions. This is very detrimental to the community because of losses in terms of drying time, the water quality and higyenis product is low and other unsecured cause dry oil prices to be low. By using a drying machine the drying time is shorter, water content and quality of drying can be controlled and hygiene will also be maintained. Increased levels of water quality and hygiene product drying will make the selling price of coconut increases. Increased selling prices will impact on people's incomes so that the welfare of society for the better copra producer. In addition to the increase in people's income, it is a national issue of poverty alleviation, employment generation and application of new technology-based products in the country will be met. This community service is done at the Village Pasar Pedati and Village Harapan District of Pondok Kelapa through training how to make the dryer machine so that people can make this tool in order to increase their income as both a producer of copra with maintained quality as well and the creator of this drying machine. From the results of devotion performed shows that the people be able to make the dryer machine with a drying time of wet coconut weighing 1.4 kg to 1 kg within 7 hours, the water content of 40% decreased to 28% and an average temperature of 65ºC.

***Keywords**: dried coconut drier machine, solar energy*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dan berada di daerah tropis yang memiliki banyak sumber daya alam seperti perkebunan, perikanan, pertambangan dan lainnya. Sumber daya alam dari hasil perkebunan termasuk sumber penghasil devisa yang besar untuk negara dan daerah-daerah di Indonesia. Daerah-daerah yang memiliki perkebunan luas akan memiliki pendapatan asli daerah yang juga tinggi. Perkebunan yang terdapat di setiap daerah di Indonesia adalah kebun sawit, karet, coklat, kelapa dan lainnya. Perkebunan kelapa sangat banyak didapati di daerah-daerah pesisir pantai. Kabupaten Bengkulu Tengah dan dan Kabupaten Bengkulu Utara termasuk dalam Provinsi Bengkulu yang daerahnya berada di dekat pesisir pantai. Kebanyakan daerah pesisir pantai ini pendapatannya diperoleh dari hasil melaut dan berkebun kelapa. Untuk kebun kelapa, hasil perkebunannya dijadikan sebagai kelapa muda dan kelapa untuk masak padahal kelapa termasuk dalam komiditi ekspor yang banyak diminati oleh negara lain (dalam bentuk kelapa kering).

Nilai ekonomis dari kelapa muda dan masak ini tidak terlalu tinggi jika dibandingkan dengan mengolah atau membuat kelapa menjadi kelapa kering (kopra). Hal ini dapat dimanfaatkan oleh masyarakat penghasil kelapa dengan cara mengolah dan mengeringkan hasil kelapanya sebelum dijual atau diekspor ke negara lain. Kendala yang sering muncul dalam hal pengolahan dan pengiriman produk kelapa kering keluar negeri adalah kadar kualitas air dan kebersihan dari produk olahan pengeringan kelapa. Karena kebanyakan masyarakat mengolah dan mengeringkan produk kelapa dengan cara alami yang membutuhkan waktu lama (1-2 hari tergantung iklim atau cuaca), dimana kualitas kadar air dan kebersihan produk pengeringannya tidak dapat dijaga dan dikontrol dengan baik (Kartasapoetra, 1989, Ananto, 1999, Sutrisno dkk., 2006). Hal inilah yang membuat produk ekspor ini tidak bernilai atau tidak diterima oleh negara lain karena mutu dan kualitas yang dihasilkan rendah (proses pengeringan yang dilakukan dialam terbuka). Selain itu di Indonesia juga sulit untuk mendapatkan kondisi pengeringan yang tetap atau konstan.

Untuk menanggulangi hal ini agar kualitas dan mutu hasil pengeringan kopra ini meningkat maka dibuat mesin pengering dengan memanfaatkan energi alternatif seperti panas energi surya (Amali *et al*., 2015, Gunasekaran *et al*., 2012, Putra dan Hadi, 2013), motor dan bahan bakar kayu, sekam padi (Tambunan, 2017 dan Sustrisno *et al.*, 2006, Setiawan *et al*., 2016, Anonim, 2009, Nugraha dan Rahmat, 2008, Hermawan, 2009) yang bertujuan untuk menghasilkan produk pengeringan dengan kualitas kadar air dan mutu yang baik dan higienis. Untuk Desa Pasar Pedati dan Desa Harapan Kecamatan Pondok Kelapa, karena kekurangan dari masyarakat setempat dalam pengetahuan dan kemampuan membuat alat tepat guna untuk proses pengeringan kelapa menyebabkan masyarakat cenderung hanya menjual kelapa sebagai produk kelapa muda dan kelapa untuk masakan. Untuk menanggulangi hal ini, dalam pengabdian masyarakat IbM ini dilakukan alih pengetahuan dan teknologi cara pembuatan dan pengolahan kelapa kering menggunakan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

energi surya dan panas efek rumah kaca agar didapatkan kualitas produk yang baik dan higienis sehingga pendapatan masyarakat bertambah dan kesejahteraannya meningkat.

Produk yang dihasilkan dalam pengabdian ini adalah mesin pengering kopra dengan pemanfaatan sumber energi alternatif seperti panas dari efek rumah kaca dan energi surya dan membuka lapangan kerja baru. Selain itu pemanfaatan energi alternatif ini juga bertujuan untuk menghemat penggunaan bahan bakar minyak dan ramah lingkungan. Permasalahan yang timbul pada proses pengeringan kelapa adalah pada kendala yang terjadi pada saat proses pengeringan dilakukan (Henderson dan Perry, 1990) yaitu waktu pengeringan yang lama, área pengeringan yang luas, kualitas hasil pengeringan yang tidak konsisten dan kurang baik, kurang higienis dan membutuhkan operator yang banyak membuat masyarakat di Kecamatan Pondok Kelapa menjadi berkurang minatnya dalam mengolah hasil kebun kelapa menjadi produk dengan nilai ekonomis yang tinggi. Masyarakat cenderung menjual produk kelapa dalam kondisi masih di atas pohon dengan harga murah tanpa mau mengolah hasil kebun kelapa menjadi kelapa olahan seperti kopra. Untuk itu dalam rangka meningkatkan pendapatan masyarakat daerah itu maka dilakukan pelatihan dalam merancang dan membuat suatu mesin pengering kelapa sederhana dalam skala kecil yang dapat dibuat dengan mudah dan digunakan untuk mengolah kelapa hasil kebun sehingga memiliki nilai jual yang tinggi.

Proses pengeringan kelapa yang pernah dihasilkan oleh beberapa peneliti adalah proses pengeringan dengan memanfaatkan briket sekam padi (Anonim, 2009, Hermawan, 2009, Nugraha dan Rahmat, 2008) yang dibakar dalam tungku pembakaran dan energi surya. Proses pengeringan kelapa dengan mesin ini sangat sederhana dan hasil yang diperoleh lebih baik dibanding dengan proses pengeringan alami.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pembuatan mesin pengering kelapa adalah:

1. Mekanismenya sederhana
2. Ongkos pembuatan dan perawatan lebih murah dan material komponennya mudah diperoleh.
3. Mudah dalam pengoperasiannya.

Untuk menanggulangi permasalahan tentang pembuatan mesin pengering ini maka dilakukan pelatihan pembuatan model pengering yang sederhana, murah dan mudah dibuat.

METODE PENGABDIAN

Metode pelaksanaan pengabdian masyarakat adalah menggunakan metode presentasi dan pelatihan pembuatan produk dengan menggunakan peralatan yang sederhana seperti gergaji, palu, obeng, tang dan alat bantu lainnya. Prosedur pengabdian dapat dilihat pada Gambar 1. Tahapan pelaksanaan pelatihan meliputi:

1. Pelatihan pengenalan komponen mesin pengering kelapa

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Proses pelatihannya adalah pengenalan komponen mesin pengering yang digunakan seperti:

a) Rumah pengering
b) Pipa pengalir panas dan material
c) Rak pengering dan material
d) Ruang pengering dan material
e) Kaca untuk proses penerus panas dari matahari dan alat perangkap panas dari efek rumah kaca

2. Pelatihan perancangan dan pembuatan alat pengering kelapa
   Prosedur pelatihan ini meliputi:
   a) Perancangan mesin pengering kelapa dalam gambar teknik.
   b) Pembuatan dan *assembly* komponen mesin pengering kelapa.
   c) Pengujian mesin pengering dengan pemaanfaatan kelapa.
   d) Memanfaatkan energi panas surya sebagai media penghasil panas.
3. Pelatihan pembuatan kolektor matahari
   Prosedur pelatihan yaitu:
   a) Pelatihan pembuatan kolektor matahari sebagai sumber panas untuk proses pengeringan.
   b) Menggunakan energi matahari sebagai media pemanas untuk mengeringkan kelapa.
4. Prosedur kerja mesin pengering yang dibuat adalah:
   a) Kelapa yang sudah dibuang batoknya dengan diameter 15 cm atau 2 kg dipotong dua.
   b) Susun potongan kelapa ke dalam rak-rak pengering.
   c) Siapkan kolektor matahari dan rumah pengering efek rumah kaca. Temperatur keluaran briket diperhatikan maksimal 80^0C.
   d) Panaskan kelapa dan cek kadar air kelapa kering dimana kadar air yang diizinkan untuk kelapa kering (kopra) adalah 6%.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 1. Prosedur Pengabdian Masyarakat IbM

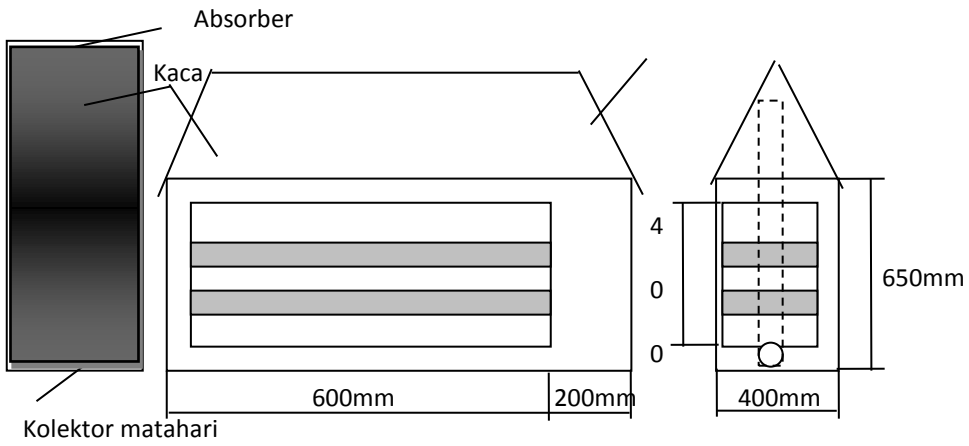
Partisipasi mitra adalah:

1. Menyediakan tempat dan fasilitas dalam menunjang kelancaran pelatihan pembuatan mesin pengering kelapa.
2. Peserta yang akan mengikuti pelatihan ini berdasarkan rekomendasi dari kelurahan.
3. Memberikan motivasi kepada masyarakat untuk mengikuti pelatihan, mengawasi dan pembina selama mengikuti kegiatan pelatihan.
4. Pada tahap pembuatan mesin pengering mitra selalu ikut berpartisipasi dalam setiap kegiatan.

Jenis luaran yang dihasilkan dalam pengabdian ini adalah peserta mampu membuat alat pengering kelapa dengan bentuk komponen dapat dilihat pada Gambar 2. Komponennya adalah:

1. Ruangan pengering terbuat dari papan untuk bagian luar dan dilapisi seng plat pada bagian dalam
2. Rumah pengering efek rumah kaca
3. Material pipa pemanas dan buang terbuat dari besi
4. Kaca sebagai bagian atas yang berfungsi untuk meneruskan panas dari matahari sekaligus alat perangkap panas untuk efek rumah kaca
5. Kolektor matahari
6. Dimensi mesin pengering yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 2

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 2. Bentuk ruang pengeringan dan komponen pendukung

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pelatihan

Proses dan hasil pelatihan pembuatan mesin pengering kopra memanfaatkan energi matahari dan efek rumah kaca dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3 terlihat pelatihan dibuka oleh Kepala Desa dan Perangkat Desa serta diikuti oleh peserta yang terdiri dari laki-laki dan perempuan. Hal ini menunjukan pelatihan ini dapat diikuti oleh seluruh masyarakat tanpa melihat jenis kelamin dan selain itu mesin yang akan dibuat ini dapat dimanfaatkan oleh ibu-ibu disaat mengasuh anak atau mengurus rumah.



a. Kepala Desa



b. Perangkat desa



c. Peserta pelatihan



d. Pemberian materi pelatihan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 3. Pelatihan pembuatan mesin pengering kelapa memanfaatkan energi matahari dan efek rumah kaca

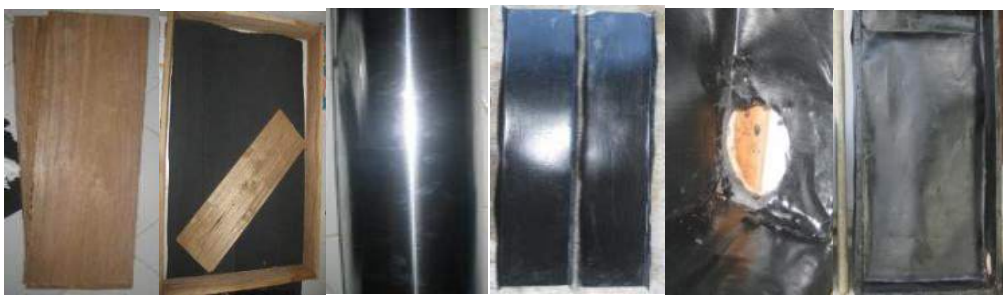
Tahapan proses pelatihan meliputi pengenalan komponen mesin pengering kopra memanfaatkan energi matahari, pembuatan mesin pengering kopra, perangkaian dan pemasangan komponen. Pengenalan komponen yang dilakukan adalah:

1. Kolektor matahari

   Bahan dan peralatan yang digunakan untuk membuat kolektor matahari adalah papan, seng aluminium, sirip-sirip pengalir udara, pipa besi atau pvc, kaca, spoon, cat hitam buram, kuas, fan kecil, dan peralatan bantu lainnya. Komponen itu dapat dilihat pada Gambar 4.

2. Rumah pengering (efek rumah kaca)

   Gambar 5 menunjukan rumah pengering dari efek rumah kaca yang dibuat dalam pelatihan ini.



a. Bahan dan komponen kolektor matahari



b. Peralatan bantu pembuatan mesin pengering kelapa

Gambar 4. Bahan dan Komponen Mesin Pengering Kelapa serta Peralatan Bantu



Gambar 5. Rumah Pengering Efek Rumah Kaca

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

3. Perakitan dan penggabungan kolektor matahari dan rumah pengering efek rumah kaca. Komponen keseluruhan mesin pengering yang sudah dirakit dapat dilihat pada Gambar 6. Dari hasil pengujian pengeringan menggunakan mesin pengering memanfaatkan energi surya dari kolektor matahari dan efek rumah kaca diperoleh adalah untuk pengeringan kelapa basah seberat 1.4 kg turun menjadi 1 kg dalam waktu 7 jam dengan kadar air dari 40% menjadi 28% dengan temperatur rata-rata pada rumah pengering yang diterima dari kolektor matahari adalah 65^0C.

Tahapan pelatihan meliputi:

1. Pembuatan rangka kolektor matahari. Proses pembuatan rangka kolektor dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Mesin pengering memanfaatkan kolektor matahari dan efek rumah kaca



Gambar 7. Pembuatan rangka kolektor matahari

2. Pengecatan absorber kolektor matahari. Proses pengecatan absorber atau penyerap panas matahari pada kolektor dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengecatan kolektor matahari

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

3. Pengecatan dan pemasangan sirip pengalir udara pada absorber. Proses engecatan dan pemasangan sirip pengalir udara pada absorber dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengecatan dan pemasangan sirip pengalir udara pada absorber

4. Pemasangan kaca pelapis dan atas kolektor matahari. Proses pemasangan kaca dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Pemasangan kaca pelapis dan atas kolektor matahari

5. Pemasangan fan dan saluran pengalir sebagai pengalir udara ke rumah pengering. Proses pemasangan fan dan saluran pengalir sebagai pengalir udara ke rumah pengering dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Pemasangan fan dan saluran pengalir sebagai pengalir udara ke rumah pengering

6. Pembuatan rumah pengering. Pembuatan rumah pengering dapat dilihat pada gambar 12.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 12. Pembuatan rumah pengering

7. Pembuatan rak penyusun kelapa basah. Pembuatan rak penyusun kelapa basah dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Pembuatan rak penyusun kelapa basah

8. Pemasangan kaca pelapis bagian atas rumah kaca. Pemasangan kaca dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Pemasangan kaca pelapis bagian atas rumah kaca

9. Perakitan kolektor matahan dan rumah pemanas.

Pembahasan

Panas yang dihasilkan oleh kolektor matahari dan rumah pengering efek rumah kaca untuk mengeringkan kelapa adalah 65^0C. Panas ini masih dalam batas yang diizinkan dalam proses pengeringan kelapa (kopra). Dimana panas ini akan dijadikan sebagai media pembakar kelapa mentah. Untuk meningkatkan panas ini dapat dengan memperluas area kolektor matahari, mengurangi kebocoran dari kolektor dan memperlambat aliran udara yang mengalir kedalam kolektor matahari dan rumah kaca.

Dari hasil pelatihan dan pembuatan mesin pengering kelapa memanfaatkan energi surya melalui kolektor matahari dan efek rumah kaca sudah memberikan dampak ke masyarakat. Dalam hal waktu pengeringan dan kadar air terlihat bahwa alat ini sudah dapat bekerja dengan baik. Dimana waktu yang dihasilkan akan dapat dipersingkat dengan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

membuat area kolektor matahari dan rumah pengering efek rumah kaca lebih besar sehingga energi matahari yang masuk juga lebih banyak diserap oleh abosrber. Selain itu pada saat pengujian terlihat masih ada kebocoran udara panas yang timbul akibat media isolasi tidak rapat menutup permukaan kaca sehingga panas yang dihasilkan berkurang.

Dari pelatihan ini terlihat antusiasme masyarakat dalam alih teknologi dimana awalnya masyarakat merasa peralatan ini susah dan mahal dibuat tetapi di lapangan terlihat masyarakat dapat membuat alat ini dengan baik dan juga terlihat dari pertanyaan masyarakat tentang kebersihan produk yang dihasilkan adalah lebih baik dibanding dengan pengeringan di alam terbuka.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari pelatihan dan pembuatan alat yang dilakukan dihasilkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Masyarakat Desa Pedati dan Desa Harapan dapat membuat alat pengering sederhana dengan konsep pemanfaatan sinar surya melalui kolektor matahari dan rumah pengering efek rumah kaca dengan kualitas produk yang dihasilkan lebih bersih dan baik dalam waktu yang lebih pendek.
2. Kadar air kelapa mentah yang dihasilkan dengan mesin pengering ini adalah 28% dalam waktu 7 jam dengan temperatur pengeringan rata-rata 65^0C.
3. Masyarakat mulai memahami prinsip kerja mesin pengering memanfaatkan kolektor matahari dan efek rumah kaca.

Saran

Pelatihan ini diharapkan dapat dilakukan secara kontinu karena masyarakat sangat terbantu dengan adanya pelatihan ini dan selalu dikawal dalam setiap aktivitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

Amali L. M. K, Mohamad, Y. dan Harun, E. H. 2015. Karakteristik Potensi Energi Surya dan Energi Angin Pada Lahan Potensil Agropolitan yang Belum Dimanfaatkan, SETRUM – Volume 4, No. 2 thn 2015.

Ananto, E. 1999. Perbaikan Penanganan Panen dan Pasca Panen di Lahan Pasang Surut Sumatera Selatan. Proyek Sistem Usaha Pertanian Lahan Pasang Surut Sumatera Selatan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian.

Anonim. 2009. Sekam Padi Sebagai Sumber Energi Alternatif dalam Rumah Tangga Petani. http://www.litbang.deptan.go.id/artikel/one/210/pdf/Sekam-Juni, 2009

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gunasekaran K, Shanmugan, V and Suresh, P. 2012. Modelling and Analytical Experimental Study of Hybrid Solar Dryer Integrated with Biomass Dryer for Drying Coleus Forskohlii Stems. *IPCSIT* 28: 28-32

Henderson, S.M. dan Perry. 1990. Agricultural Process Engineering. New York; John Willey and Sons, Ltd

Hermawan, Y. 2009. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Sebagai Bahan Bakar Dalam Bentuk Briket, http://fisika.brawijaya.ac.id/bss- ub/proceeding/ Juni 2009

Kartasapoetra. 1989. Teknologi Penanganan Pasca Panen. Bumi Aksara. Jakarta

Nugraha, S dan R. Rahmat. 2008. Energi Mahal, Manfaatkan Briket Arang Sekam, Warta Penelitian dan Pengambangan Pertanian Vol 30. No 4 thn 2008. Hal 1-2

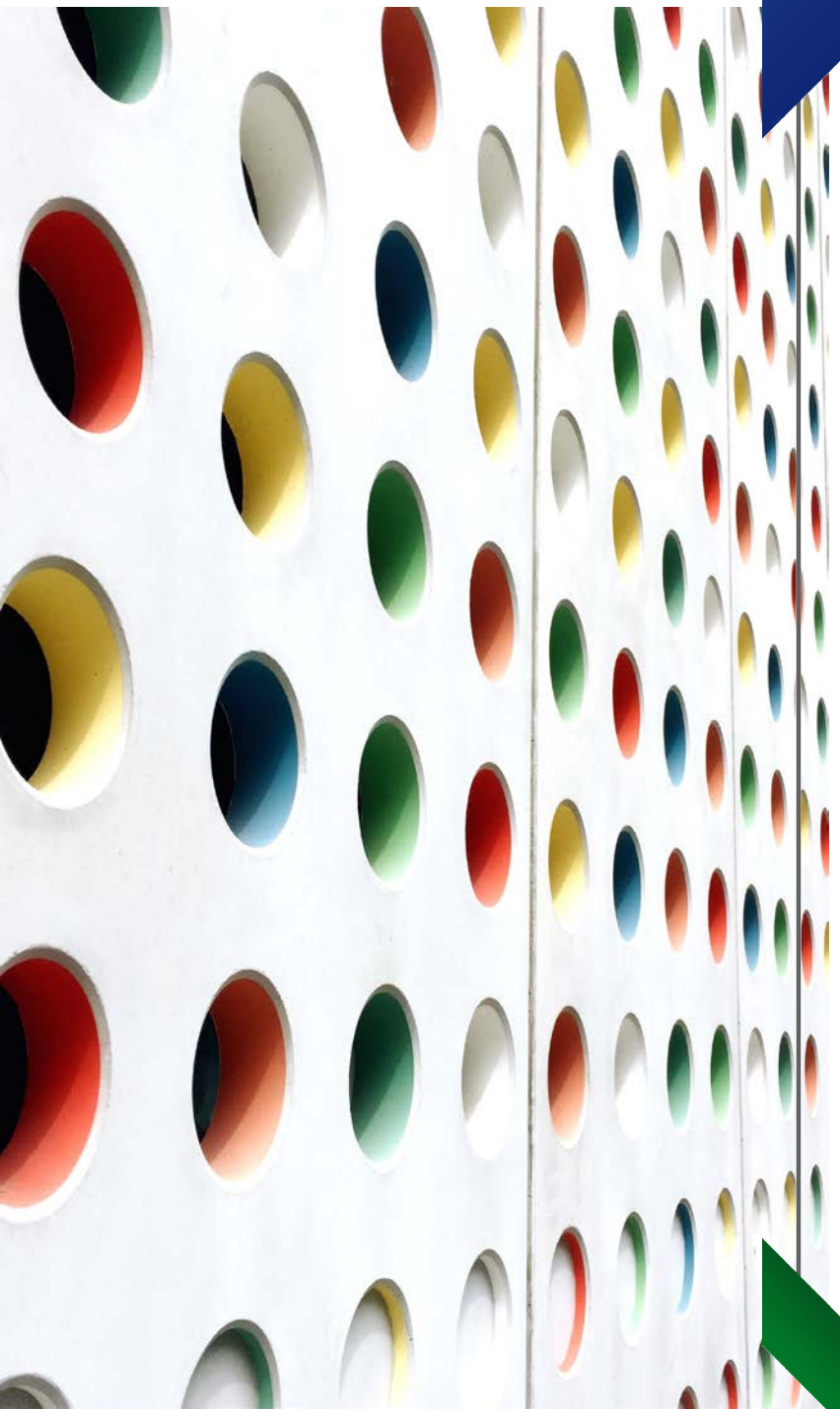
Putra I. E., dan Hadi P. 2013. Analisa Efisiensi Alat Pengering Tenaga Surya Tipe Terowong Berbantukan Kipas Angin Pada Proses Pengeringan Biji Kopi, Jurnal Teknik Mesin Vol. 3, No. 2 thn 2013. Hal: 22-25.

Setiawan Y., W. Eka Sari, Wahyudi, I., Mustofa, A. 2016. Pengeringan Lada Pada Mesin Pengering Dengan Variasi Putaran Motor, *Flywheel* Jurnal Teknik Mesin Untirta Vol 2. No. 1 thn 2016.

Sutrisno, dkk. 2006. Manajemen Pasca Panen Padi di Lahan Pasang Surut Sumatera Selatan untuk Mendapatkan Beras dan Benih Berkualitas. Balitpa Sukamandi.

Tambunan A. H. dan Darmawan, I. W. 2017. Energi dan Teknologi untuk Pertanian Industrial Berkelanjutan, Penerbit IPB Press, IPB Science Park Taman Kencana, Kota Bogor – Indonesia, ISBN: 978-602-440-047-7

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Pendidikan Magister Energi Terbarukan untuk Lintasan Karir Anda di Era Milenial

~~New Era~~

Dr. Syukri M. Nur

Jakarta, Juli 2020

Materi ini dipresentasikan di Webinar **Program Unggulan Di Era Pandemik dan Pamagangan di Industri Jepang 2020**, Jumat 24 Juli 2020 Jam 13.30-16.30 WIB.
bit.ly/ProgramUnggu apanInternship



Dr. M. Syukri Nur
Email: syukrimnur@pasca.unsada.ac.id

Silakan disitasi:

Nur, S. M. 2020. Pendidikan Magister Energi Terbarukan untuk lintasan karir Anda di Era Milenial. DOI: 10.5281/zenodo.3941[illegible]9

Pengantar

Generasi Milenial ini adalah anak-anak muda yang saat ini berusia antara 15-35 tahun, yang kelak (20-30 tahun mendatang) menjadi pemimpin bangsa, perusahaan atau pun kelompok kerja di masing-masing bidang pengabdiannya.

Untuk menjadi terbaik atau tetap bertahan, bahkan mendapatkan kesempatan kerja dan berusaha maka generasi milenial tersebut harus memiliki bekal pengetahuan dan keterampilan yang diperoleh melalui Pendidikan formal atau informal.

Artikel ini menyajikan peluang untuk menekuni energi terbarukan pada tingkat pascasarjana sebagai salah satu kanal penambahan pengetahuan dan keahlian anda untuk berkompetisi pada era milenial.

Pemahaman singkat tentang energi terbarukan disertai peluang kerja, dan ke lembaga mana anda mendapatkan pengetahuan tersebut menjadi materi inti tulisan ini.

Semoga pemikiran ini menjadi inspirasi anda untuk terus semangat menuntut ilmi dan berkarya demi kemajuan dan kesejahteraan Bersama.
Bogor, Juli 2020.

Materi Presentasi



- Sinta ID: **5989939**
- Orcid ID: **0000-0001-7373-8629**
- Google Scholar ID**: Saa97x4AAAAJ**
- ResearcherID: **E-3579-2015**
- Loop profile: **502413**
- Scopus Author ID: **57202005106**

Alasan beralih ke energi terbarukan	4
Renewable Energy-Pengertian	5
Sistem Energi Terbarukan	6
Target Indonesia untuk Energi Terbarukan	8
Pendidikan Magister Teknik Energi Terbarukan UNSADA	10

PERPUSTAKAAN NASIONAL

Alasan beralih ke energi terbarukan







Transisi pasokan energi dari bahan bakar fosil (minyak, gas, dan batubara) menjadi energi terbarukan dipicu oleh sejumlah alasan seperti penurunan jumlah cadangan energi fosil, fluktuasi dan kenaikan harga energi fosil, dan kepedulian untuk melestarikan lingkungan global dan membangun keamanan energi suatu negara.[1, 2]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Renewable Energy

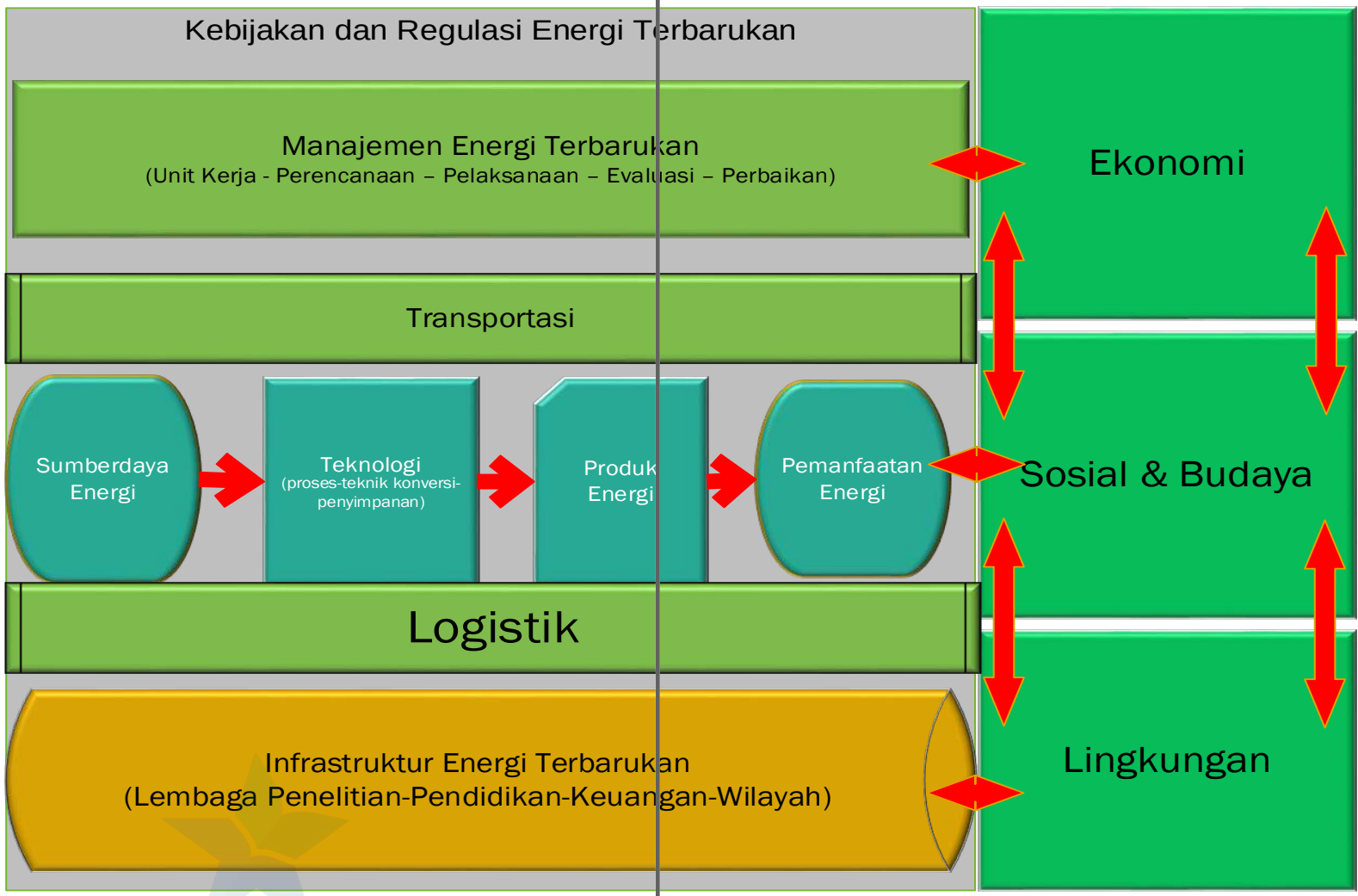


PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

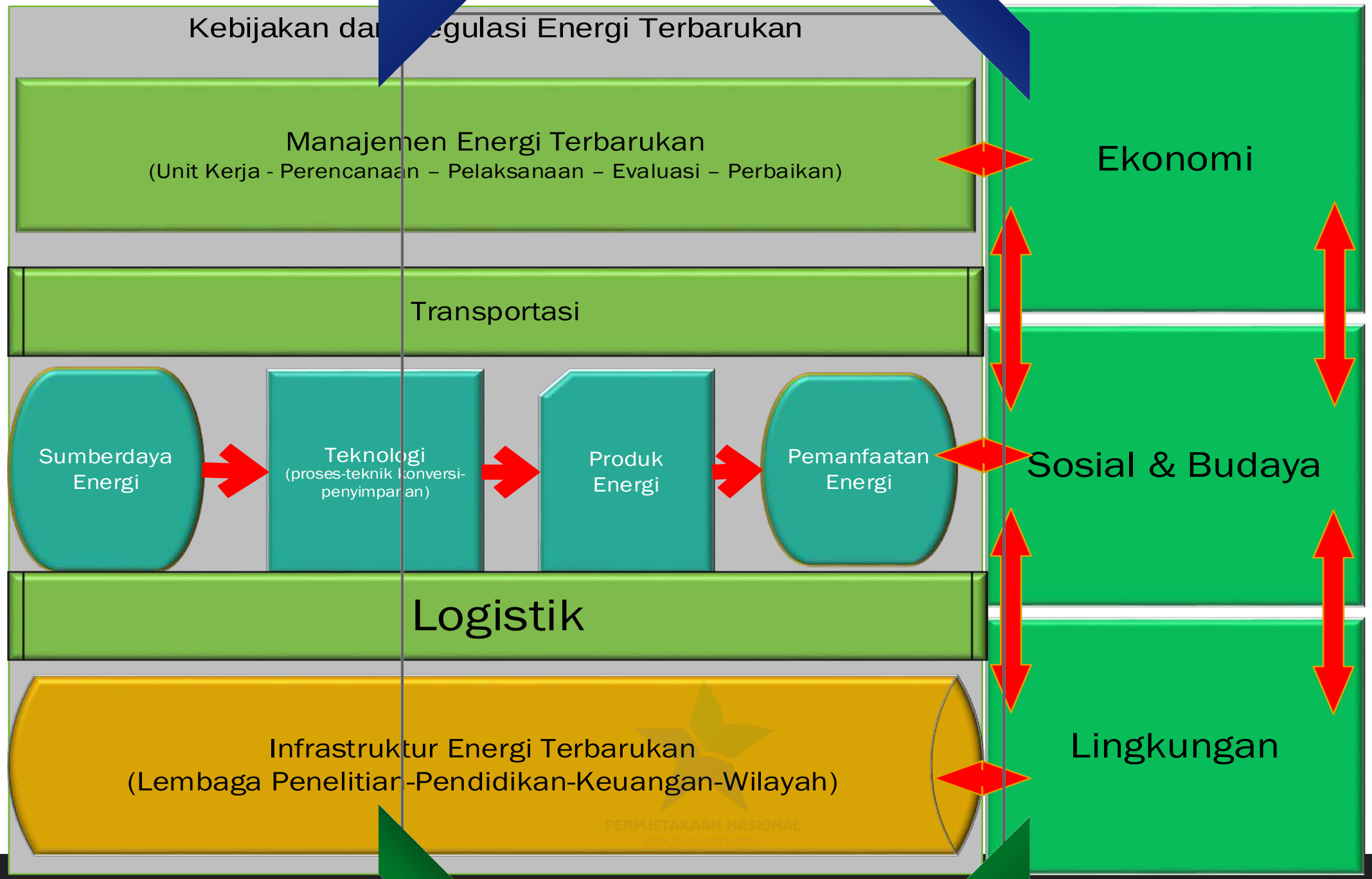
https://www.zeroenergy-systems.com/what-are-the-[illegible]of-renewable-energy/

Sistem Energi Terbarukan

Sistem energi terbarukan merupakan metode analisis yang melibatkan semua komponen utama dan materi penyusun dalam kegiatan penggunaan sumberdaya alam menjadi produk energi dan pemanfaatannya secara berkelanjutan [3].

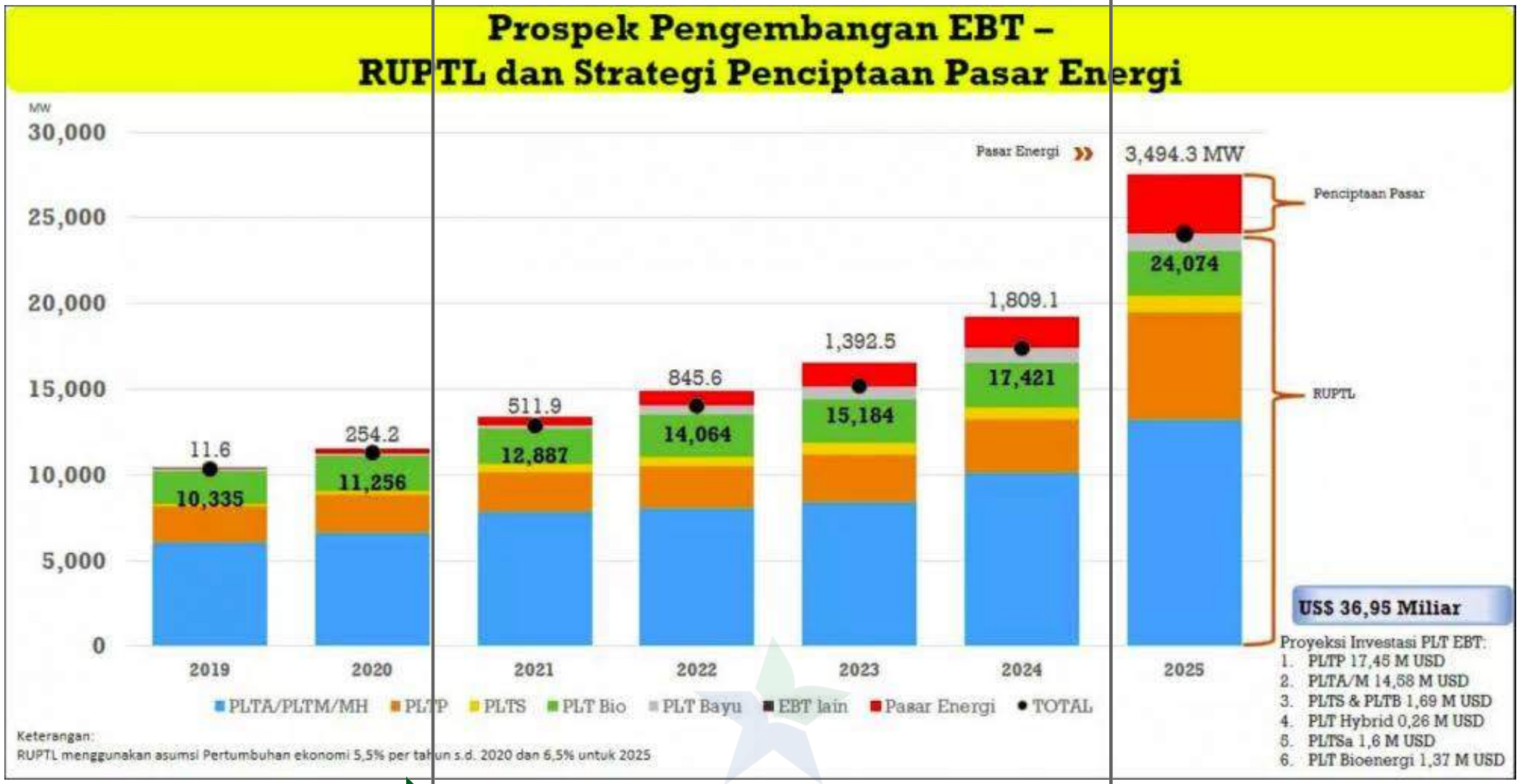


PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



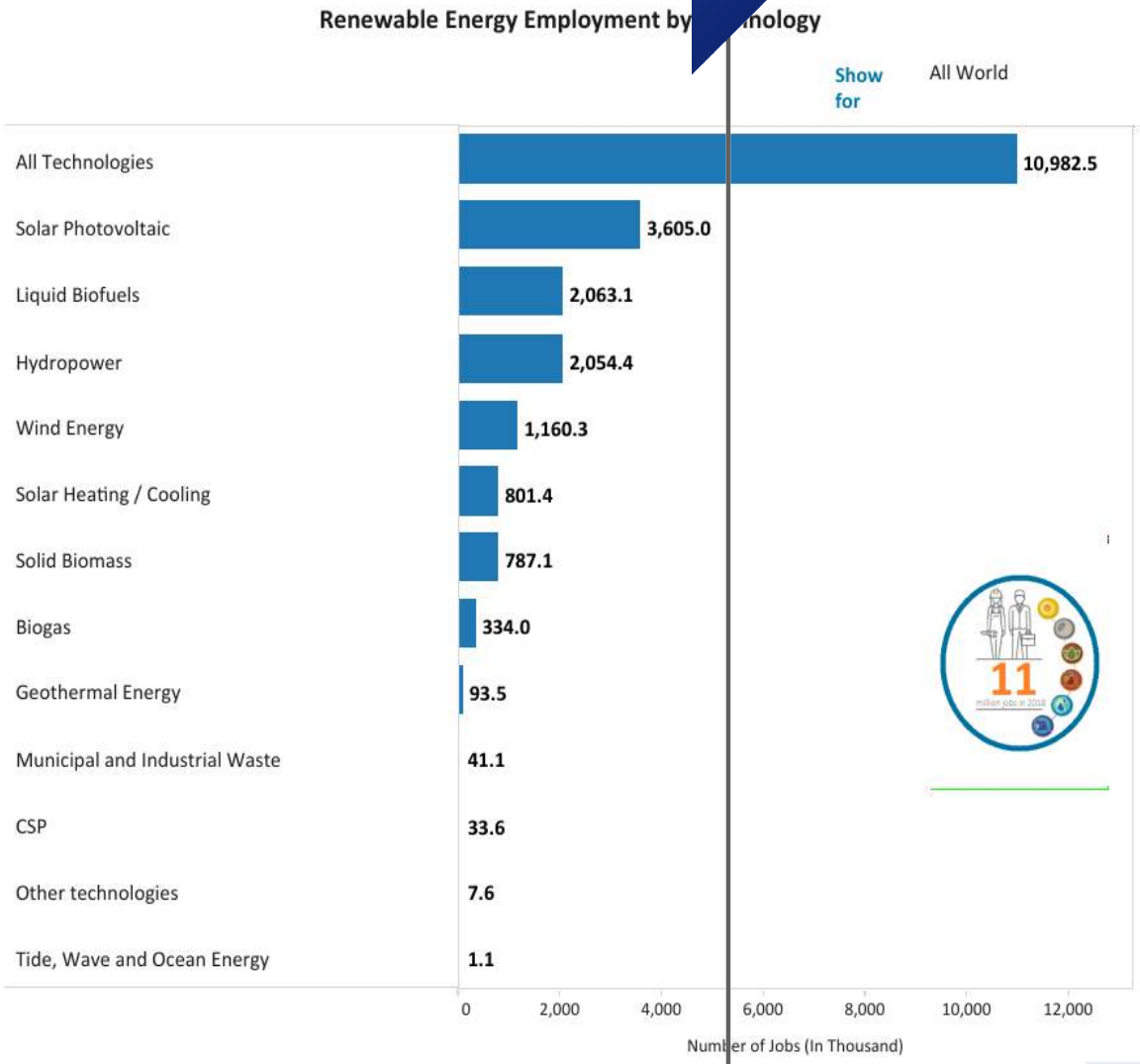
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

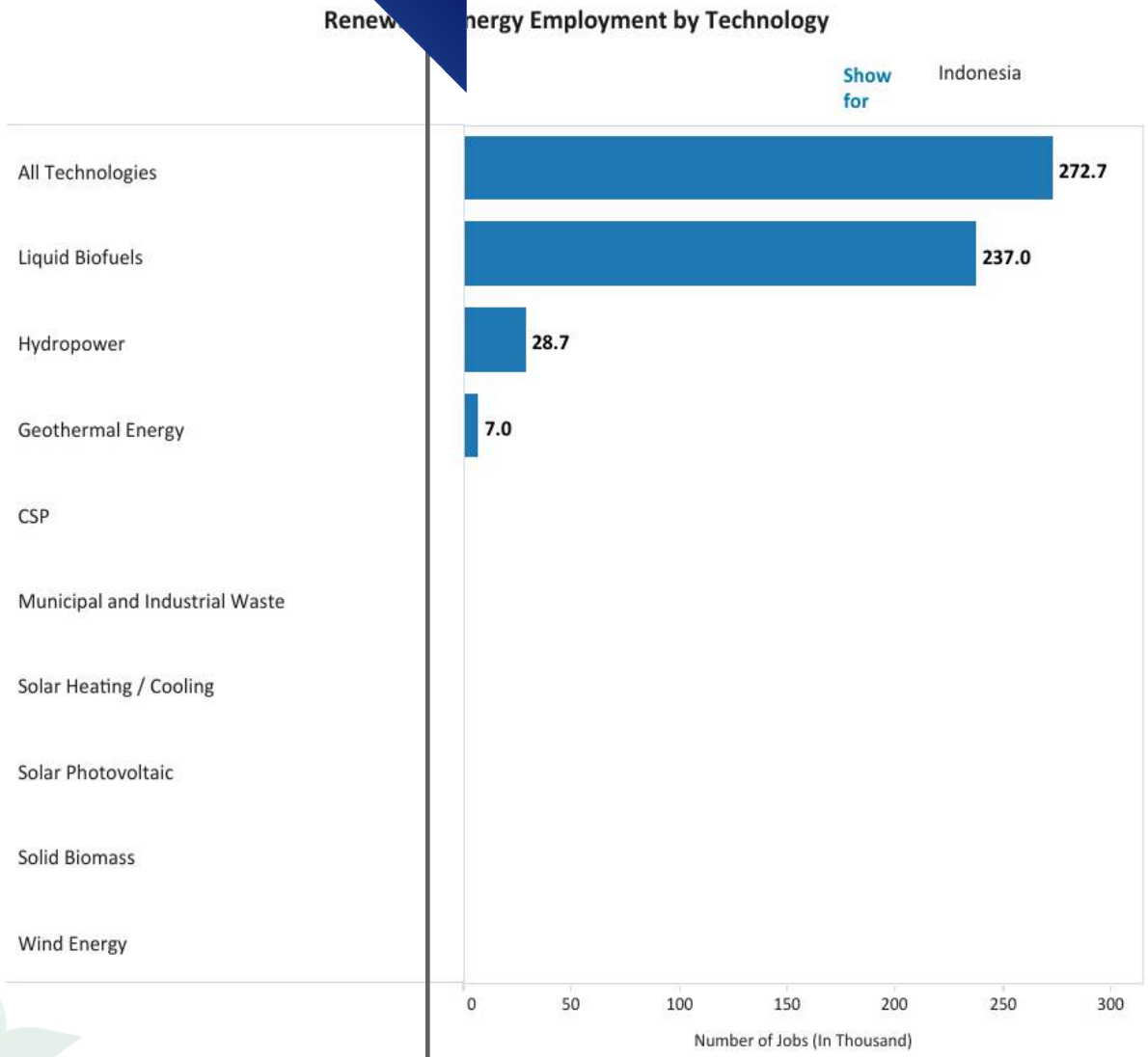
Target Indonesia untuk Energi Terbarukan



Sumber:http://ebtke.esdm.go.id/post/[illegible]19/12/06/2419/kejar.target.bauran.energi.2025.dibutuhkan.investasi.ebt.hingga.usd3695.miliar

PERPUSTAKAAN NASIONAL





Dua gambar ini menyajikan kesempatan kerja yang terbuka dari semua subksektor energi terbarukan di seluruh dunia (**kiri)** dan di Indonesia (**kanan)**.

Sumber: (IRENA, 2020)

Pendidikan Magister Teknik Energi Terbarukan di UNIV. DARMA PERSADA

Program studi Magister Teknik Energi Terbarukan di Universitas Darma Persada, Jakarta dibuka pada tahun 2010 dan merupakan yang pertama di Indonesia. Sebuah upaya kalangan akademis untuk membantu Indonesia dalam penyiapan sumberdaya manusia yang terdidik dan berkeahlian di bidang energi terbarukan.

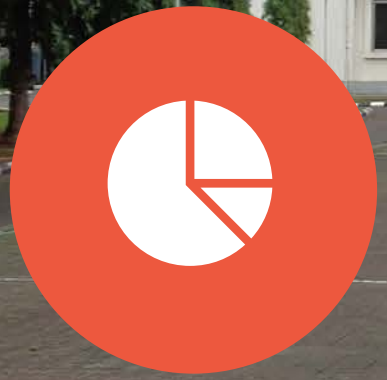


http://www.unsada.ac.id/sekolah-pascasarjana/

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Universitas Darma Persada

Jl. Taman Malaka Selatan No.22, Pd. Klp., Kec. Duren Sawit,
Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13450



Trilingual



Monozukuri



Renewable Energy

Visi dan Misi

Untuk informasi lebih lanjut, Anda dapat mempelajari program ini di tautan berikut ini:

http://www.unsada.ac.id/sekolah-pascasarjana/

Unsada
Universitas Darma Persada

Visi

Menjadi Sekolah Pascasarjana unggulan dalam pendidikan Teknik Energi Terbarukan, Manajemen, Bahasa dan Budaya Jepang yang berwawasan lingkungan berdasarkan atas kearifan lokal dan budaya "Monozukuri" di ASEAN 5 tahun kedepan

Misi

- Menyelenggarakan pendidikan dengan membuka Program Studi Energi Terbarukan, Program Studi Manajemen dan Program Studi Bahasa dan Budaya Jepang. yang multidisiplin secara profesional dan akuntabel,
- Menyelenggarakan pendidikan Program Studi S2 Magsiter dengan kurikulum berbasis kompetensi dan memiliki ciri khas ***Monozukuri*** serta fleksibel sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.
- Melakukan riset dibidang Energi Terbarukan, Manajemen, Bahasa dan Budaya Jepang yang berorientasi kepada kepentingan akademik, masyarakat dan dunia kerja
- Melakukan kerjasama dengan ahli-ahli dibidang Energi Terbarukan, Manajemen, Bahasa dan Budaya Jepang maupun dengan lembaga terkait baik ditingkat nasional maupun internasional.
- Mensosilisasikan pemanfaatan energi terbarukan sesuai dengan tugas Tridharma Perguruan Tinggi.
- Mengintegrasikan konsep Desa E3i (Energi, Ekonomi dan Environment) yang mandiri dari UNSADA dengan program DME (Desa Mandiri Energi) pemerintah dan swasta.



Kurikulum

Terdapat dua peminatan pada Program Studi Teknik Energi Terbarukan:

- Manajemen Energi Terbarukan (Renewable Energy Management)
- Rekayasa Teknik Energi terbarukan (Renewable Energy Engineering)

Setiap tahun dua mahasiswa di kirim ke Jepang untuk presentasi penelitian energi kelautan (ocean energy). UNSADA juga merencanakan mahasiswa kita bisa magang di industri promotive, elektronik. Pariwisata dll. selama 6 bulan sampai satu tahun untuk magang di industri. Selama magang mahasiswa kita diberi uang saku sebesar 90000YEN atau setara dengan Rp 12 juta lebih dan setelah selesai mahasiswa boleh pulang dan men[illegible]at sks dari kegiatan magang tsb.







Smart Microgrid berbasis Energi Surya



Studi Ekskursi Ke Ruang Kontrol PLTPB

Peminatan

Manajemen Energi Energi Terbarukan	Teknik Energi Terbarukan
• Memahami konsep/falsafah pembangunan secara holistik yang berkelanjutan dengan memanfaatkan teknologi berbasis sumber energi terbarukan setempat. • Memahami manfaat berbagai jenis sumber energi terbarukan sehingga dapat diberdayakan untuk kesejahteraan masyarakat. • Manajemen proyek sumber energi terbarukan	• Memahami konsep/falsafah pembangunan secara holistik yang berkelanjutan, dengan memanfaatkan teknologi berbasis sumber energi terbarukan setempat. • Memahami manfaat berbagai jenis sumber energi terbarukan sehingga dapat diberdayakan untuk kesejahteraan masyarakat. • Merancang bangun peralatan dan proses berbasis sumber energi terbarukan (SET) serta menguasai beberapa piranti lunak untuk tujuan rancang bangun. • Pemodelan matematika, simulasi computer dan optimasi system penerapan dan pemanfaatan teknologi energi terbarukan. • Perhitungan tekno ekonomi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dosen & Bidang Keahlian

- Akademisi-Peneliti, Wirausahawan - Praktisi dan Birokrat yang telah berpengalaman dalam bidang energi terbarukan telah menyatu di program studi ini.
- Kombinasi tim pengajar yang mengantarkan anda menjadi ahli di salah satu bidang pengembangan energi terbarukan pada skala nasional dan internasional.



Prof. Dr.Kamaruddin Abdullah, IPU
Direktur Sekolah Pascasarjana
UNIVERSITAS DARMA PERSADA



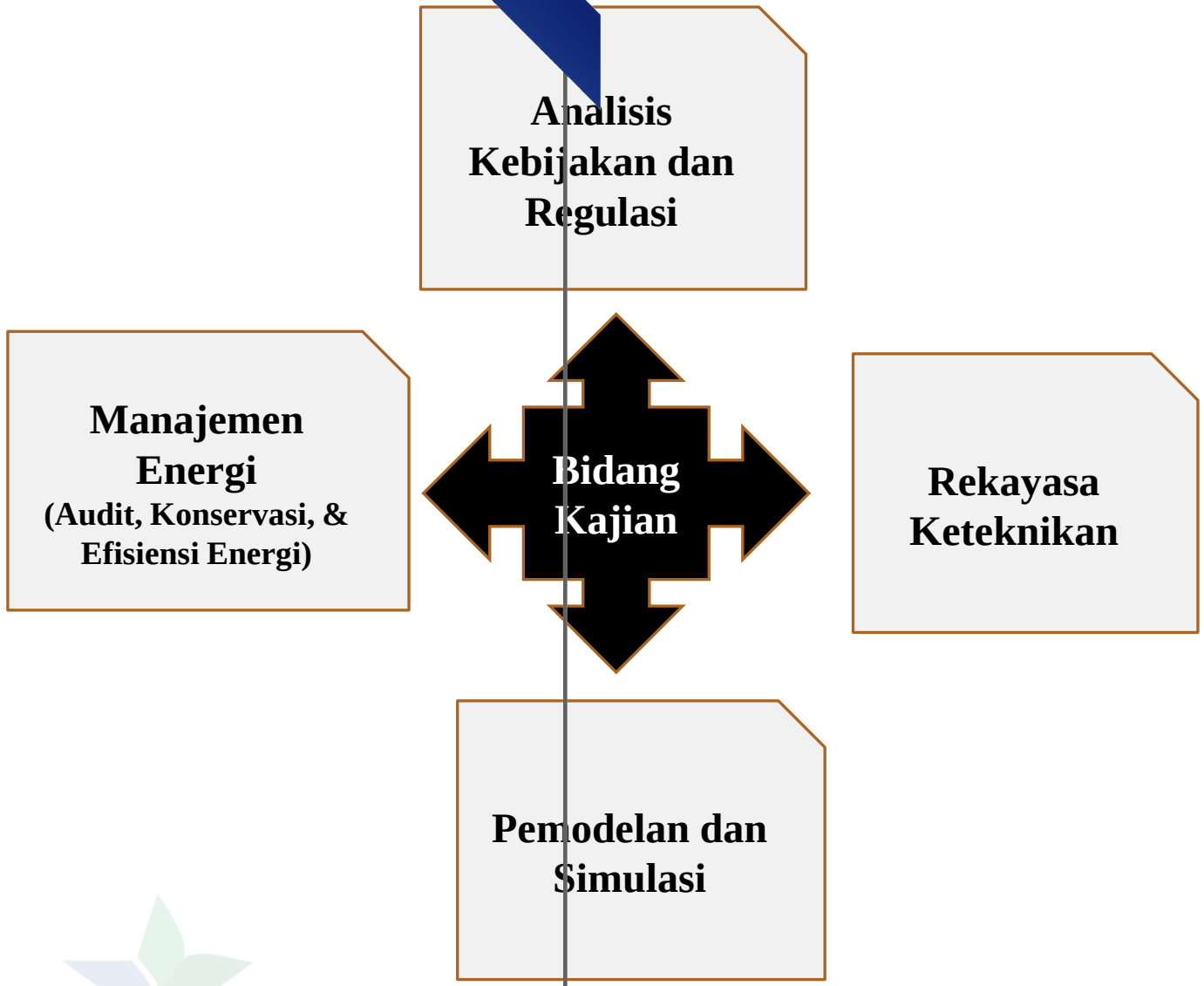
Dr. Aep Saepul Uyun, M.Eng
Ketua Program Studi Teknik Energi Terbarukan
UNIVERSITAS DARMA PERSADA

DOSEN	KEAHLIAN
Prof. Dr. Kamaruddin Abdullah	Surya – Termal
Dr. Aep Saepul Uyun, M.Eng.	Surya- Termal, Teknik Pengkondisian Udara
Dr. Erwin Sadirsan	Manajemen Energi
Dr. Muhammad Syukri Nur	Energi Biomassa
Dr. Fitriani	Teknik Kimia
Dr. Ismed	Hydro
Ir. Erkata Yandri, MSc	Solar PV/Termal
Ir. Ratna Ariati , MSc	Teknik Kimia
Ir. Riki Firmanda Ibrahim, MSc	Panas Bumi
Drs. Suripno	nergi Angin

Bidang Riset Utama

Salah satu kegiatan akademik di program studi magister teknik energi terbarukan UNSADA adalah penelitian yang berkonsentrasi pada empat aspek yaitu:

- Analisis kebijakan dan regulasi
- Manajemen Energi
- Rekayasa Keteknikan
- Pemodelan dan Simulasi



PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kerjasama

Universitas Darma Persada bekerja sama dengan berbagai perusahaan dari dalam dan luar negeri, serta 13 konsorsium Perguruan Tinggi dari Jepang.

Saga University
Toyo University
Tokai University
Teikyo University
Takushoku University
Ritsumeikan University
Osaka Prefecture University
Kyushu University
Advanced Institute of Industrial Technology
Osaka International University
Kanda University of International Studies
Hiroshima University
Fukuoka Women's University

AOTS
YANMAR
Panasonic ideas for life
TOYOTA INDONESIA
PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia
BUMN Hadir untuk negeri
mrt jakarta
MUFG
RESONA Bank Resona Perdania
MITSUI & CO.





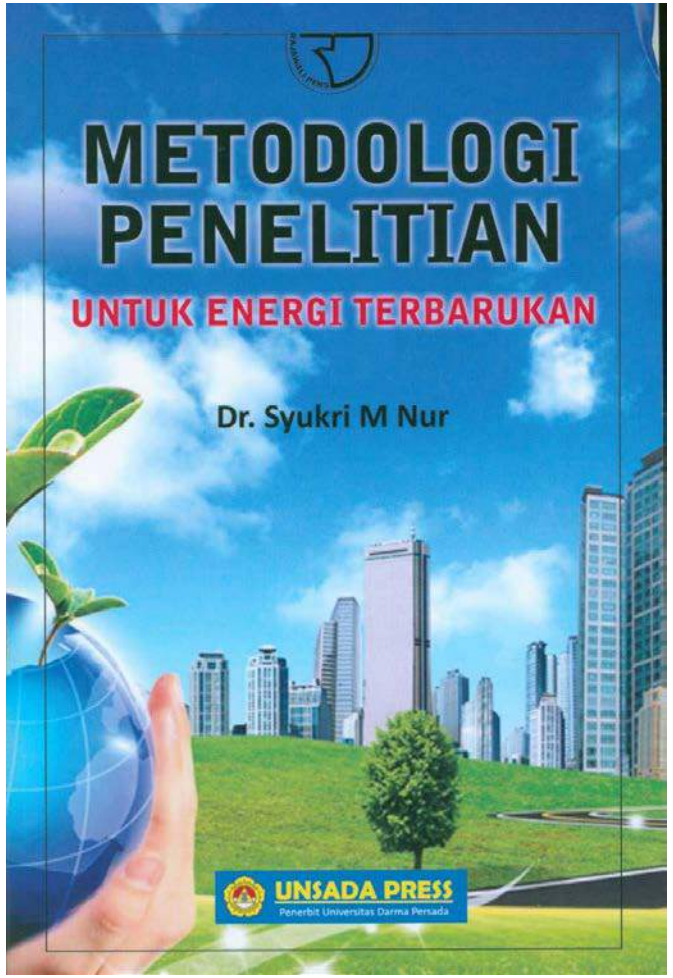


Pustaka

[1] Lund H. 2007. Renewable energy strategies for sustainable development *Energy* **32** 912–9

[2] Kaiser S and Segerborg-Fick A. 2014. Biomass Technology Roadmap European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling Renew *Heating&Cooling* 1–44.

[3]. Nur, S. M., Ariati, R., Yandri, E., Adiatmojo, G. D., & Abdullah, K. (2020). Redesigning a sustainable bioenergy system using a multi-platform application. *JPhCS*, *1469*(1), 012094.



https://syukrimnur.academia.edu/

J. A. I : Jurnal Abdimas Indonesia

ISSN: 2797-2887

PENERAPAN TEKNOLOGI ENERGI TERBARUKAN MELALUI MODEL SCIENCE TECHNO PARK DI DESA KIAMA KEPULAUAN TALAUD

Meita Rumbayan[1*]
Sherwin Sompie[2]
Rilya Rumbayan[3]

[1*,2] Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
[3]Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Indonesia

meitarumbayan@unsrat.ac.id [1*)]
aldo@unsrat.ac.id [2)]
rilya.rumbayan@gmail.com [3)]

Kata Kunci: *[Teknologi Tepat Guna, Energi Terbarukan, Science Techno Park, Kepulauan Talaud]*

Abstrak: Latar belakang program pengabdian masyarakat ini sebagai hilirisasi hasil riset berbasis teknologi energi terbarukan untuk masyarakat pesisir dan pulau perbatasan yang mengalami masalah krisis energi listrik di desa Kiama Kabupaten Kepulauan Talaud. Metode pengabdian masyarakat ini adalah (1) Penerapan teknologi tepat guna berbasis energi terbarukan melalui model Science Techno Park sebagai sarana diseminasi bagi masyarakat mitra; (2) Diseminasi teknologi tepat guna berbasis energi terbarukan berupa energi matahari, energi angin dan energi biomass (3) Pendampingan dan pelatihan teknologi tepat guna yang diterapkan bagi masyarakat di desa mitra. Hasilnya, melalui transfer teknologi dalam kegiatan Program Pengembangan Desa Mitra (PPDM) adalah penerapan teknologi energi terbarukan yang terintegrasi di lokasi science techno park skala kecil dan tersebar di beberapa lokasi fasilitas umum sebagai contoh TTG yang terdiri dari 4 unit pembangkit listrik tenaga surya off-grid, 2 unit contoh pembangkit listrik tenaga angin skala kecil, dan 1 unit pembangkit listrik tenaga biogas skala rumah tangga. Melalui program pengabdian masyarakat ini diharapkan implementasi teknologi energi terbarukan terus berkelanjutan melalui transfer teknologi kepada kelompok masyarakat mitra.

Published by:

Copyright © 2021 The Author(s)
This article is licensed under CC BY 4.0 License

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Pendahuluan

Potensi desa Kiama yang terletak di pesisir pantai pulau Talaud memiliki banyak alasan sehingga lokasi ini dipilih untuk pelaksanaan Program Pengembangan Desa Mitra (PPDM) dengan judul "Program Pengembangan Desa Mitra Di Kiama Kabupaten Kepulauan Talaud Menjadi Sentra Science Techno Park Energi Terbarukan dan Rumah Tahan Gempa. Pertama, telah ada kerjasama antara pemerintah desa Kiama, kelompok mitra yang merupakan penduduk desa Kiama dengan Tim PPDM Universitas Sam Ratulangi. Kerjasama dilakukan saat Tim melakukan penelitan berupa pengujian model infrastruktur energi listrik untuk masyarakat kepulauan dengan mengambil lokasi Desa Kiama sebagai studi kasus.

Kedua, Desa Kiama telah disurvey oleh Tim pelaksana memiliki potensi energi terbarukan berupa energi surya, energi angin dan energi biomass yang dapat dimanfaatkan untuk sumber energi bagi masyarakat pulau terdepan dan terpencil yang mengalami masalah keterbatasan akses listrik. Ketiga, sumber daya manusia di desa Kiama dari pemerintah desa sampai pada penduduk desa yang terdiri dari kelompok petani dan nelayan (mitra 1) dan kelompok pemuda desa dan perempuan desa (mitra 2) sangat mendukung Tim dalam program kegiatan yang telah dilakukan berupa penelitian studi kasus dan program pengabdian masyarakat yang merupakan hilirisasi penelitian Tim di bidang penerapan energi terbarukan.

Kondisi sosial masyarakat yang mengalami keterbatasan akses listrik karena kondisi geografisnya yang merupakan daerah remote di pulau terdepan perlu mendapat perhatian khusus dan pengembangan dari Tim PPDM sebagai hilirisasi penelitian teknologi tepat guna energi terbarukan bagi masyarakat setempat.

Ada 2 macam permasalahan prioritas yang perlu ditangani di desa mitra yaitu: (1) Krisis energi listrik yang dialami masyarakat berupa pemadaman listrik dari jaringan sehingga tidak bisa menyuplai kebutuhan energi listrik masyarakat secara kontinu. (2) Keterbatasan pengetahuan masyarakat terhadap teknologi tepat guna energi terbarukan berupa energi surya, energi angin dan energi biomass.

Desa Kiama yang terletak di Pulau Karakelang menjadi desa mitra untuk pengembangan Sentra *Science Techno Park* Berbasis Energi Terbarukan yang memiliki potensi energi surya, energi angin dan energi biomass. Desa ini terletak di pulau perbatasan yang mengalami masalah keterbatasan akses listrik. Keterbatan akses listrik ini disebabkan oleh ketersediaan listrik yang tidak secara kontinu 24 jam dan seringnya terjadi pemadaman listrik baik siang maupun malam dialami oleh masyarakat di pulau ini. Penerapan energi terbarukan diyakini bisa menjadi solusi untuk permasalahan kebutuhan energi listrik yang dialami masyarakat kepulauan (Rumbayan, 2018). Hilirisasi hasil penelitian teknologi energi terbarukan bagi masyarakat kepulauan sudah dikembangkan dan dipublikasikan oleh Tim pelaksana (Rumbayan, 2021).

Dampak sosial yang positif dengan adanya pemanfaatan energi terbarukan di daerah pedesaan sudah dilaporkan di Bangladesh (Khan & Azad, 2014). Pengalaman pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat yang sudah dipublikasikan tim pelaksana sebelumnya ada dalam jurnal Penelitian dan Pengabdian Ethos (Sains & Teknologi) dengan judul "Introduksi Teknologi Biogas Sebagai Energi Terbarukan untuk Masyarakat Pedesaan" (Rumbayan, 2017) dan "Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Sederhana di Desa Lahopang Kabupaten Sitaro Provinsi Sulawesi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

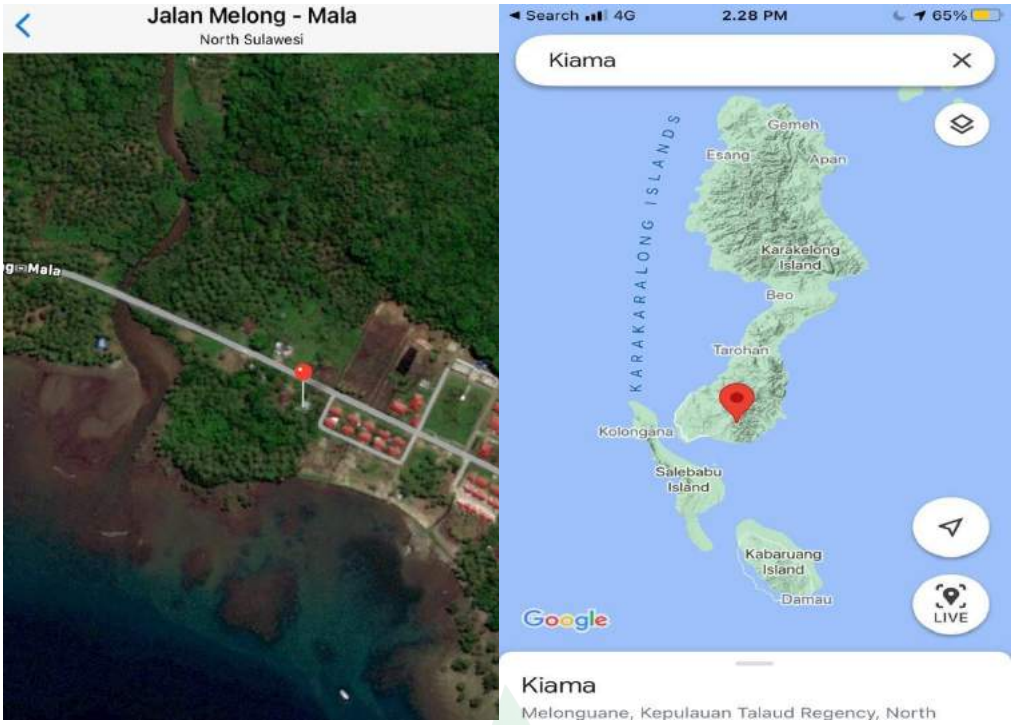
Utara" (Rumbayan, 2018). Kegiatan pelaksanaan pengabdian masyarakat oleh Tim pada tahun 2019 dipublikasikan pada seminar pengabdian masyarakat di Politeknik Ujung Pandang (Rumbayan dkk, 2019). Kegiatan pengabdian masyarakat oleh Tim pada tahun 2020 dipublikasikan di jurnal pengabdian masyarakat SHARE Petra (Rumbayan dkk, 2020) dan jurnal pengabdian masyarat JPM (Rumbayan dkk, 2020).

Tujuan kegiatan PPDM ini adalah:

1. Pembangunan Science Techno Park Berbasis Energi Terbarukan di desa mitra sebagai model tempat diseminasi dan sosialisasi teknologi tepat guna bagi masyarakat.
2. Introduksi dan diseminasi teknologi tepat guna berbasis energi terbarukan yakni energi surya, energi angin dan energi biogas yang tak terhubung jaringan PLN off grid untuk fasilitas umum sehingga dapat membantu menciptakan kehidupan masyarakat lebih nyaman.
3. Transfer ilmu pengetahuan dan ketrampilan tentang cara perawatan dan pemeliharaan sistem teknologi energi terbarukan untuk meningkatkan ketrampilan sehingga kesinambungan penerapan teknologi ini tetap terjaga.

Metode Pelaksanaan

Desa Kiama merupakan salah satu desa yang terletak di wilayah kecamatan Melonguane, Kabupaten Kepulauan Talaud merupakan masyarakat pesisir di pulau perbatasan yang memiliki masalah krisis energi listrik. Masyarakat kepulauan teristimewa pulau Talaud yang dikategorikan daerah 3T (Tertinggal, Terdepan dan Terluar) yang terletak di perbatasan Indonesia dan Filipina perlu mendapat perhatian khusus sejalan dengan program Nawacita. Peta lokasi pulau Talaud yang merupakan pulau terluar yang terletak di daerah perbatasan ditunjukan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi kegiatan pengabdian masyarakat di desa Kiama, Kecamatan Melonguane, Kabupaten Kepulauan Talaud

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kabupaten Kepulauan Talaud secara geografis terletak pada koordinat 3º 38’ 00” - 5º 33’ 00” Lintang Utara (LU) dan 126º 38’ 00” - 127º 10’ 00” Bujur Timur (BT). Kabupaten Kepulauan Talaud secara administratif termasuk ke dalam wilayah Provinsi Sulawesi Utara dengan Melonguane sebagai Ibukota Kabupaten. Adapun jarak antara ibukota kabupaten yaitu Melonguane dan ibukota Provinsi Sulawesi Utara yaitu Manado adalah 271 mil laut. Untuk mencapai pulau Talaud dari Pelabuhan Manado dapat menumpang kapal motor dengan waktu tempuh 6 jam atau dengan pesawat udara dengan waktu tempuh 1 jam dari Kota Manado

Nilai strategis pulau Talaud yang merupakan pulau perbatasan antara Indonesia dan Filipina menjadi lokasi penting yang perlu diusulkan dalam PPDM ini. Kepulauan Talaud yang merupakan lokasi desa mitra adalah Pulau terluar di daerah ini sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan Presiden RI Nomor 78 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Pulau-pulau Kecil Terluar.

Potensi pemanfaatan sumber daya energi desa dan potensi peningkatan sumber daya manusia di desa mitra untuk introduksi teknologi energi terbarukan menjadi tantangan bagi tim pengabdian masyarakat. Metode pelaksanaan program pengembangan desa mitra di desa Kiama Kabupaten Kepulauan Talaud adalah sebagai berikut:

Metode dan Tahapan dalam penerapan teknologi ke masyarakat terdiri dari beberapa tahapan yaitu:

1. Identifikasi kebutuhan masyarakat

Identifikasi kebutuhan masyarakat dilakukan melalui metode survey dan diskusi kelompok terfokus. Melalui survey dan wawancara ke lokasi desa Kiama di Kepulauan Talaud, teridentifikasi kebutuhan desa mitra yang mengalami masalah krisis energi listrik dan kurang pengetahuan akan pemanfaatan potensi energi terbarukan.

2. Perancangan

Perancangan teknologi tepat guna berbasis energi terbarukan berupa penerangan tenaga surya dan pompa air tenaga surya, turbin angin dan biogas berupa gambar sketsa desain.

3. Pembangunan

Pembangunan science techno park sebagai site demo dan showcase dari penerapan teknologi tepat guna berbasis energi terbarukan. Pembangunan science techno park melibatkan masyarakat mitra dan tim dalam berkoordinasi untuk membangun science techno park skala kecil yang terpadu di 1 lokasi dan tersebar di beberapa tempat fasilitas umum di desa Kiama berlokasi di sekolah, gereja, mesjid dan jalan setapak umum desa. Science Techno Park yang terletak di 1 lokasi dibangun bersama rumah pelatihan teknologi tepat guna untuk masyarakat dilengkapi dengan fasilitas contoh instalasi penerangan tenaga surya, pompa air tenaga surya, turbin angin, dan biogas.

4. Pendampingan operasional

Pendampingan operasional teknologi tepat guna berbasis energi terbarukan berupa tenaga surya, tenaga angin dan tenaga biogas dilakukan Tim pelaksana berupa penyuluhan dan bimbingan teknis melalui pelatihan kepada kelompok mitra pemuda

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

desa dan kaum perempuan desa secara langsung di luar jaringan bertempat di rumah pelatihan yang berlokasi di Science Techno Park dan secara dalam jaringan melalui Zoom.

5. Evaluasi Penerapan teknologi tepat guna kepada masyarakat

Evaluasi kegiatan PPDM ini dilakukan melalui wawancara dan survey dengan kelompok mitra dan pemerintah desa mitra yang secara aktif mendukung pelaksanaan PPDM ini. Wawancara dan survey dilakukan melalui media komunikasi dan media sosial mengenai manfaat dan dampak yang dirasakan dengan adanya penerapan teknologi tepat guna.

Faktor yang mendukung pada pelaksanaan PPDM adalah dukungan mitra terhadap tim pelaksana sehingga kegiatan pelatihan dapat berlangung secara online atau dalam jaringan. Pelaksanaan dibantu oleh mahasiswa dan alumni yang berdomisili di lokasi dan dekat lokasi sehingga kegiatan PPDM bisa terlaksana walau ada hambatan jarak dan waktu pandemi.

Hasil dan Pembahasan

Hasil dan indikator capaian PPDM yang dilakukan kepada mitra dalam rangka pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat di desa Kiama Kabupaten Kepulauan Talaud adalah sebagai berikut:

1. Pembangunan *science techno park* berbasis energi terbarukan secara teintegrasi dan satu rumah tahan gempa sebagai contoh implementasi dan tempat pelatihan (Lihat Gambar 2).



Gambar 2. Pembangunan Science Techno Park dan Rumah Pelatihan Teknologi Energi Terbarukan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2. Peningkatan pengetahuan masyarakat desa mitra berupa jasa pelatihan dan pendampingan tentang sistem TTG berbasis energi terbarukan yang diterapkan (Lihat Gambar 3).



Gambar 3. Pelatihan luring dan daring bagi kelompok perempuan desa dan pemuda desa

3. Penerapan pembangkit listrik tenaga surya skala kecil sebagai diseminasi teknologi energi terbarukan di desa Kiama yang berlokasi di fasilitas umum yaitu gereja, masjid, jalan umum kantor desa, sekolah (Lihat Gambar 4).



Gambar 4. Penerapan instalasi penerangan tenaga surya di fasilitas umum desa Kiama

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4. Penerapan 2 unit pembangkit listrik tenaga angin skala kecil di lokasi *science techno park* rumah energi terbarukan (Lihat Gambar 5).



Gambar 5. Penerapan Instalasi Penerangan Tenaga Surya di fasilitas umum desa Kiama

5. Penerapan 1 unit pembangkit listrik tenaga biogas skala rumah tangga sebagai unit contoh (Lihat Gambar 6).



Gambar 6. Penerapan Teknologi Biogas di Desa Kiama

Kesimpulan

Program pengabdian masyarakat berupa penerapan teknologi energi terbarukan di desa Kiama yang terletak di pulau perbatasan Talaud melalui model terintegrasi di *science techno park* yang berbasis energi terbarukan dan yang tersebar sebagai contoh di beberapa tempat fasilitas umum dapat tercapai. Program pengembangan desa mitra ini menghasilkan pembangunan 6 unit pembangkit listrik tenaga surya. 2 unit pembangkit listrik tenaga angin dan 1 unit pembangkit listrik tenaga biogas skala rumah tangga. Peningkatan dan pemahaman masyarakat terhadap Teknologi Tepat Guna (TTG)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

berbasis energi terbarukan dilakukan melalui pendampingan tim dan pelatihan secara dalam jaringan (daring) dan luar jaringan (luring) untuk kelompok masyarakat mitra dapat dilaksanakan.

Sebagai rekomendasi, perlu diusahakan keberlanjutan program pengabdian masyarakat di desa mitra yang terletak di pulau perbatasan Talaud sebagai bukti nyata pemerataan pembangunan dan perhatian pemerintah dan civitas akademika kampus sebagai target hilirisasi penelitian. Rekomendasi selanjutnya adalah kegiatan program pengembangan desa mitra perlu dilanjutkan dan dikembangkan menjadi desa mandiri energi dengan prioritas penerapan energi surya.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan Riset dan Teknologi untuk dana pengabdian masyarakat yang diberikan sehingga kegiatan Program Pengembangan Desa Mitra (PPDM) di desa Kiama Kepulauan Talaud ini dapat dilaksanakan, juga kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sam Ratulangi Manado untuk dukungan dalam pelaksanaan kegiatan PPDM.

Referensi

Khan S, Azad A. K, 2014, Social Impact of Solar Home System in Rural Bangladesh, IAFOR Journal of Sustainability, Energy and the Environment, International Academic Forum, Japan.

Rumbayan, M., Sompie, S. and Nakanishi, Y., 2019. Empowering remote island communities with renewable energy : a preliminary study of Talaud Island. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 257, p.012024.

Rumbayan, M., Sompie, S., Ruindungan, D. and Panjaitan, N., 2021. Model of solar energy utilization in Bunaken Island Communities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 739(1), p.012082.

Rumbayan, M. 2017. Introduksi Teknologi Biogas Sebagai Energi Terbarukan untuk Masyarakat Pedesaan, Ethos (Jurnal Penelitian dan Pengabdian) Vol. 6 no 1, Unisba, Bandung, Indonesia.

Rumbayan, M, Tangkuman, S dan Sompie, S, 2018, Penerapan pembangkit listrik tenaga surya skala rumah sederhana di desa lahopang kabupaten Sitaro Propinsi Sulawesi Utara, Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Unisba.

Rumbayan, M., Sompie, S dan Rumbayan, R. 2019. Program Pengembangan Desa Mitra di Kiama Kabupaten Talaud: Penerapan Teknologi Tepat Guna Penerangan Listrik Energi Terbarukan dan Rumah Tahan Gempa, Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat 2019, Politeknik Ujung Pandang, Indonesia. Hal. 415-420.

Rumbayan M, Sompie S dan R. Rumbayan, 2021 Program Pengembangan Desa Mitra di Kiama Kabupaten Talaud: Instalasi Pompa Air Tenaga Surya, SHARE (Journal of Service Learning), Vol. 7, No. 2, August 2021, 73-77 https://share.petra.ac.id/index.php/share/article/view/22979/20410

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Rumbayan M, Sompie S dan R Rumbayan, 2021 Penerapan Teknologi Tepat Guna berbasis Energi Terbarukan di desa Kiama Kabupaten Kepulauan Talaud, Vol 1 No 2 (2020): Jurnal Pengabdian Masyarakat https://jurnal.stie.asia.ac.id/index.php/jpm/article/view/297/135

Rumbayan M, 2020, Diseminasi Pembelajaran Energi Terbarukan Turbin Angin Pada Masyarakat di Desa Kiama Kepulauan Talaud, Vol 3 No 3 (2020): IKRAITH-ABDIMAS VOL 3 NO 3 BULAN NOVEMBER 2020.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan Volume 5, Nomor 2, Juni 2013 Hal. 67
ISSN: 2085-1227

Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pirolisis Sampah Organik menjadi Bio-Oil sebagai Sumber Energi Terbarukan

M. Sigit Cahyono
Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik
Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta
e-mail: cgitk41@gmail.com

Abstrak

Sampah organik merupakan potensi sumber energi yang melimpah di Indonesia. Sampah organik berupa daun dan ranting kering bisa dikonversi menjadi bahan bakar berupa bio-oil melalui proses fast pirolisis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jenis bahan terhadap rendemen dan nilai kalor bio-oil yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah organik. Bahan baku berupa daun dan ranting kering campuran tanaman angsana, mahoni dan mangga dengan komposisi daun bervariasi 0%, 50%, dan 100%, dipotong-potong dengan ukuran maksimal 10 cm. Kemudian bahan baku tersebut dipanaskan di dalam reaktor pirolisis pada suhu 500 C selama 1 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor tertinggi (5175,35 J/g) dan rendemen tertinggi (24,5%) didapatkan pada bio-oil yang dihasilkan dari pirolisis ranting 100%.

Kata kunci: *Sampah Organik, Bio-oil, Pirolisis, Rendemen, Nilai Kalor*

PENDAHULUAN

Pada saat ini dunia sedang mengalami krisis energi. Ketersediaan sumber energi untuk mencukupi berbagai kebutuhan, baik skala kecil dan besar, sangat terbatas. Hal ini dikarenakan masih diandalkannya sumber energi dari fosil, yaitu minyak bumi. Sifat minyak bumi yang non *renewable* atau tidak dapat diperbaharui membuat keadaan semakin sulit. Untuk itu diperlukan suatu pemikiran kreatif dengan menciptakan energi alternatif yang bersifat *renewable*, ramah lingkungan dan memiliki ketersediaan yang melimpah (Sandra, 2013).

Di sisi lain, Indonesia memiliki ketersediaan bahan organik (biomasa) berupa sisa pertanian dan perkebunan yang berlimpah. Beberapa contohnya adalah potongan kayu, sekam padi, ampas tebu, cangkang dan tandan kosong sawit, serbuk kayu, serta sabut dan cangkang kelapa. Selain itu, sampah organik dari pemukiman merupakan potensi besar lainnya yang juga amat melimpah. Data dari Kementerian Negara Lingkungan Hidup (Meneg LH) menyebutkan bahwa sepanjang tahun 2008 produksi sampah permukiman di Indonesia mencapai 167 ribu ton perhari (Radar Sulteng, 2009).

Sementara itu, di Kabupaten Sleman jumlah sampah yang ditangani oleh Dinas Kimpraswilhub Kabupaten mencapai 6.776,91 m^3/bulan, dimana sebagian besar merupakan sampah organik. Dari total sampah organik yang ada, kebanyakan berasal dari pasar, sapuan jalan dan taman terutama

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

tanaman perindang (Dinas Kimpraswilhub Sleman, 2009). Data dari Seksi Pertamanan Bidang PKP Dinas Kimpraswilhub Sleman menunjukkan bahwa jumlah pohon perindang di wilayah Sleman mencapai 11.182 batang, diantaranya yang terbanyak adalah mahoni 1996 batang dan angsana 1778 batang. Selain itu, banyak terdapat pohon mangga di halaman rumah warga (Dinas Kimpraswilhub Sleman, 2008). Semua sampah organik tersebut merupakan sumber energi yang sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia.

Salah satu metode konversi bahan organik menjadi energi adalah menggunakan proses pirolisis. Secara ilmiah, pirolisis adalah proses dekomposisi termal bahan organik pada temperatur sekitar 350-550°C tanpa oksigen. Proses ini melepas 3 jenis produk, yaitu cair (*Bio-oil*), padat (arang), dan gas (CO, CO_2, H_2, H_2O dan CH_4) (Heyerdahl, 2006).

Bio-oil merupakan produk utama dari proses pirolisis cepat (*Fast Pyrolysis*). Menurut Kristy (2007), bio–oil adalah cairan coklat gelap yang tersusun dari senyawa-senyawa teroksigenasi tinggi (*highly oxigenated compounds*), yang diproduksi melalui *fast pyrolisis*, dimana propertinya mendekati *Heavy Fuel Oil* (HFO) nomor 2 atau 6. Bio-oil bersifat asam dengan pH sekitar 3-4, yang mempunyai nilai kalor sebesar 75.000 BTU per galon.

Bio-oil berbeda dengan asap cair yang sudah dikenal secara umum di Indonesia. Asap cair dihasilkan dari proses *slow pyrolisis* dimana laju transfer panasnya sangat kecil, *vapour residence time* yang panjang dan sebagian besar mengandung air (70%), fenol, asam karboksilat dan karbonil. Sedangkan bio-oil dihasilkan dari proses *fast pyrolisis* dimana laju transfer panasnya cepat, *vapour residence time* yang pendek dan sebagian besar mengandung senyawa-senyawa teroksigenasi tinggi.

Bio-oil bersifat larut sempurna dalam alkohol, dimana pelarutannya akan meningkatkan stabilitas bahan dan menurunkan viskositas sehingga cocok digunakan sebagai bahan bakar. Bio-oil tidak dapat larut dalam *diesel oil*, tetapi bisa diemulsifikasi dengan *diesel oil*. Emulsifikasi 10-30 % bio-oil dalam *diesel oil* dapat memperbaiki stabilitas bahan bakar, memperbaiki viskositas, mengurangi tingkat korosifitas, dan meningkatkan nilai bilangan setan.

Bio-oil sebagai salah satu alternatif bahan bakar mempunyai spesifikasi yang khas, seperti disajikan dalam Tabel 1.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1. Spesifikasi bio-oil untuk bahan bakar

Properties	Spesifikasi	Keterangan
HHV	>70.000 BTU/Gal	Metode DINS 51900
Kandungan air	<25%	ASTM D1744
Viskositas	10-150 cP @ 50^0C	ASTM D445
S*pesifik gravity*	1,2 @ 15^0C	ASTM D4052
Elemental analisis:	**Range**	**Average**
Karbon	51,5-58,3	54,5
Hidrogen	5,5-6,8	6,4
Nitrogen	0,07-0,40	0,2
Sulfur	< 0,07	0,0005
Debu	0,13-0,21	0,16

Sumber : Dynamotive (2006)

Pirolisis cepat (*fast pyrolysis*) merupakan teknik yang relatif baru untuk menghasilkan energi terbarukan. Dibandingkan dengan pembakaran dan gasifikasi serta karbonisasi, yang juga merupakan proses pirolisis lambat yang telah dipraktekkan secara luas dan komersial, pirolisis biomassa terutama pirolisis cepat masih berada dalam tahap pengembangan awal (Poerwanto, 2009).

Penelitian dan pengembangan proses pirolisis cepat bahan organik dengan suplai kalor konvensional telah banyak dilakukan. Brown dan Holmgren (Brown, 2008) telah mengembangkan perangkat yang menghasilkan energi dalam bentuk padat, cair dan gas dengan komposisi 12-15% arang, 60-70% cair, dan 13-25% gas. Proses berlangsung cepat antara 0,5 - 2 detik untuk mendapatkan temperatur moderat 400 – 500^0C pada tekanan atmosfer. Hasil minyak pirolisis ini dapat langsung digunakan pada mesin diesel stasioner, atau diproses lanjut. Prof. Yi Weiming dari Shandong University of Technology (Weiming, 2006) telah mengembangkan beberapa prototipe skala umpan 50-200 kg/jam dan melakukan berbagai penelitian optimasi proses pirolisis dan konfigurasi sistem maupun variasi reaktor prosesnya.

Penelitian pirolisis di dalam negeri telah dilakukan beberapa perguruan tinggi dalam skala lab, merujuk beberapa referensi yang diperoleh. Penelitian tugas akhir sarjana oleh Ekasurya Poerwanto dari ITB (Poerwanto, 2009), merancang reaktor *batch* pirolisis serbuk gergaji. Proses berlangsung pada 300-450^0C selama 30-60 menit, menghasilkan produk pirolisis yang mengandung air, asam

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

karboksilat, dan senyawa aromatik. Disimpulkan dari penelitian tersebut, hasil yang diperoleh relatif sama dengan hasil yang diperoleh dari penelitian pirolisis biomassa lain.

Irawan Noor (Noor, 2011) meneliti pengaruh bahan baku serbuk gergaji kayu jati dan suhu terhadap rendemen bio-oil serta nilai kalor yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen bio-oil tertinggi dari limbah serbuk gergaji kayu jati dihasilkan pada temperatur 500^0C yaitu sebesar 21,99% dan nilai kalor yang dihasilkan yaitu 7497,52 Kal/g. Nilai kalor ini lebih tinggi dibandingkan nilai kalor dari kayu dan batubara.

Dalam proses pirolisis, komposisi produk akhir sangat bergantung pada komposisi bahan dan kondisi proses pirolisis (Fachrizal dkk, 2013). Oleh karena itu, untuk mengetahui pengaruh jenis bahan sampah organik berupa daun dan ranting kering, terhadap kuantitas (rendemen) dan kualitas (nilai kalor) produk bio-oil yang dihasilkan, perlu dilakukan sebuah penelitian agar bisa dijadikan dasar dalam perencanaan mesin pirolisis skala yang lebih besar.

METODE PENELITIAN

a. Bahan Penelitian

Bahan baku dari sampah organik berupa daun dan ranting tanaman angsana, mahoni dan mangga yang didapatkan dari Lokasi Daur Ulang Sampah (LDUS) Tambak Boyo, Sleman. Bahan baku tersebut dikeringkan sampai kadar air sekitar 15%, kemudian dicacah sampai ukuran maksimal 10 cm. Dalam satu kali pirolisis, digunakan daun dan atau ranting kering sebanyak 1 kg yang dipirolisis pada suhu 500^oC selama 1 jam.

b. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan berupa satu set alat pirolisis, seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.

c. Jalannya Penelitian

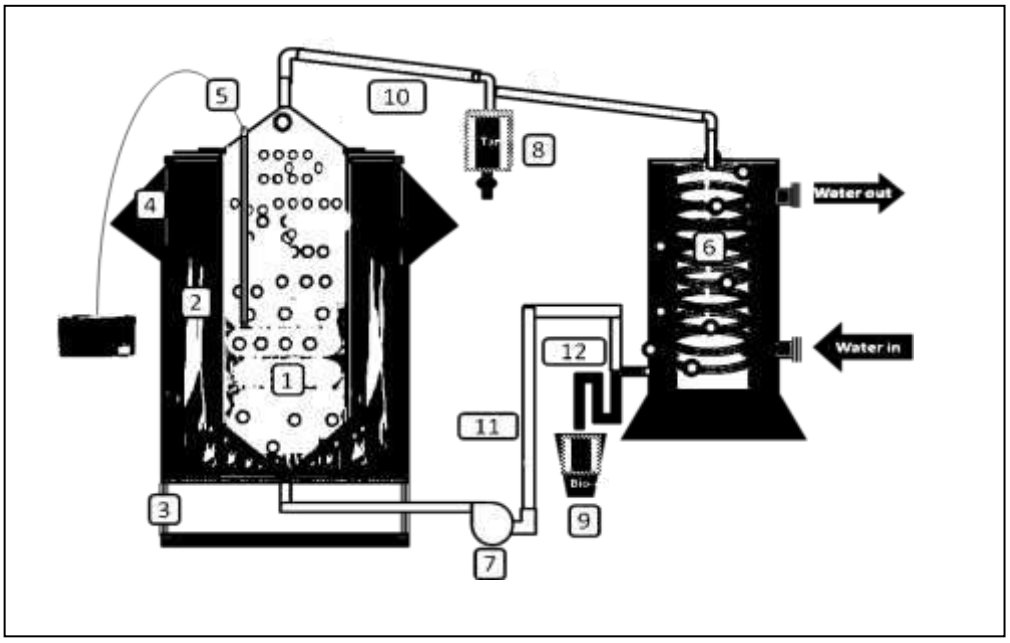
Tahap pertama adalah memasukkan bahan baku yang telah disiapkan ke dalam tabung *pirolisis (retort)*, kemudian memasang tutupnya yang telah dilengkapi *temperature* dan *pressure indicator*. Di sisi lain, bahan bakar yang disiapkan dimasukkan ke tungku pembakaran (*kiln*). Setelah itu, alat dirangkai dengan memasukkan *retort* ke dalam *kiln* dan memasang pipa uap untuk mengalirkan uap menuju kondensor.

Tahap kedua setelah peralatan terpasang adalah melakukan pembakaran, dimana penyalaan awal dilakukan dari bagian bawah *kiln* dengan membakar jerami yang mudah terbakar, sehingga bahan bakar yang terdapat di dalam *kiln* juga ikut terbakar dengan cepat. Pada saat pembakaran,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dilakukan pengamatan terhadap suhu dan tekanan di dalam *retort* dimana suhu dijaga sekitar 500^0C selama 1 jam, dengan cara memperkecil lubang udara *kiln* jika suhu naik lebih dari 500^0C serta menambahkan bahan bakar apabila suhu turun di bawah 500^0C.

Pada saat pirolisis, terjadi penguapan *volatile matter* dan penguraian bahan organik menghasilkan uap dan arang. Uap yang terbentuk dialirkan menuju kondensor untuk didinginkan agar terbentuk bio-oil, sedangkan sisa gas yang *non condensable* dikeluarkan ke udara. Sedangkan arang akan tertinggal di dalam *retort* dan akan dikeluarkan setelah selesai percobaan. Bio-oil yang terbentuk kemudian ditampung dalam penampung lalu diukur volume dan nilai kalornya menggunakan alat *Oxygen Bomb Calorimeter*.



Gambar 1. Satu set alat pirolisis

Keterangan :

1. Tabung pirolisis (Retort)
2. Tungku pembakaran (Kiln)
3. Lubang udara
4. Lubang bahan bakar
5. Termokopel
6. Tabung Kondensasi
7. Blower
8. Penampung tar
9. Penampung bio-oil
10. Pengukur tekanan
11. Pipa gas recycle
12. Pipa bio-oil

HASIL PENELITIAN

a. Karakteristik Bahan Baku

Untuk mengetahui kondisi awal bahan baku, dilakukan pengujian nilai kalor, kadar air dan kadar abu di Laboratorium Kimia dan Biokimia Pusat Studi Pangan dan Gizi UGM, dengan hasil disajikan pada Tabel 2.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

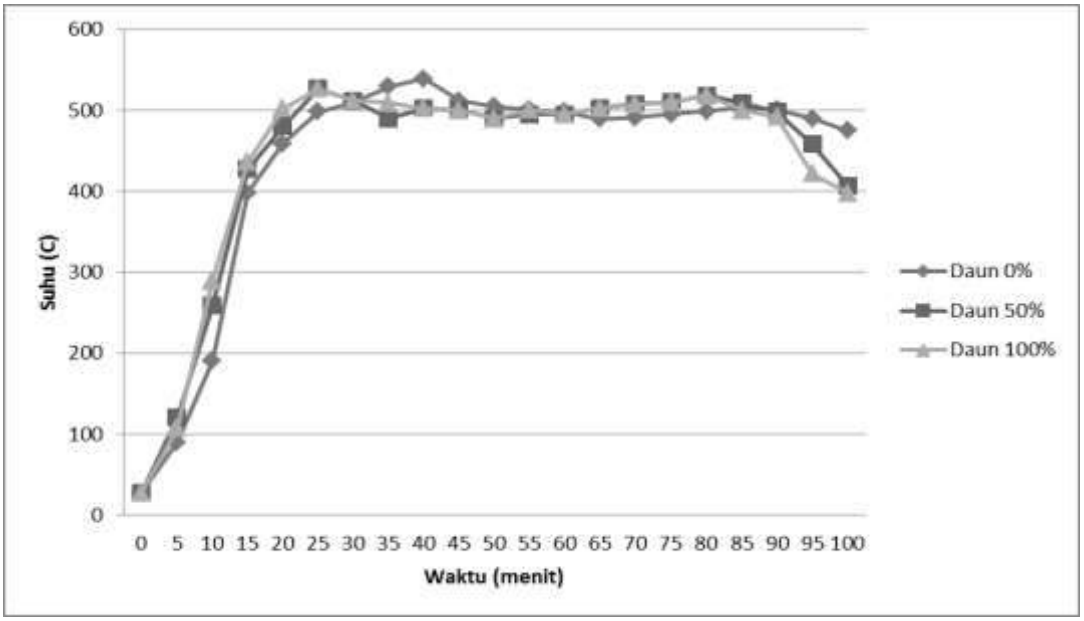
Tabel 2. Hasil analisa bahan baku

No	Analisa	Daun kering	Ranting kering
1	Nilai kalor (J/g)	14.968	17.083
2	Kadar Air (%)	12,53	14,56
3	Kadar Abu (%)	11,34	13,89

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai kalor campuran ranting kering tanaman angsana, mahoni dan mangga lebih besar daripada campuran daun kering tanaman yang sama. Begitu juga dengan kadar air dan kadar abu dari ranting kering yang lebih besar daripada daun kering. Hal ini disebabkan karena kandungan senyawa kimia di dalam ranting lebih kompleks dibandingkan kandungan kimia daun (Soenardi, 1995).

b. Proses Pirolisis

Bio-oil terbentuk pada pirolisis biomassa pada suhu sekitar 500^{0}C selama 1 jam, dimana kenaikan suhu dari keadaan standar (30^{0}C) ke suhu 500^{0}C diusahakan terjadi secepat mungkin (Bridgewater, 2007). Proses kenaikan panas yang terjadi selama pirolisis ditunjukkan dalam Gambar 2.



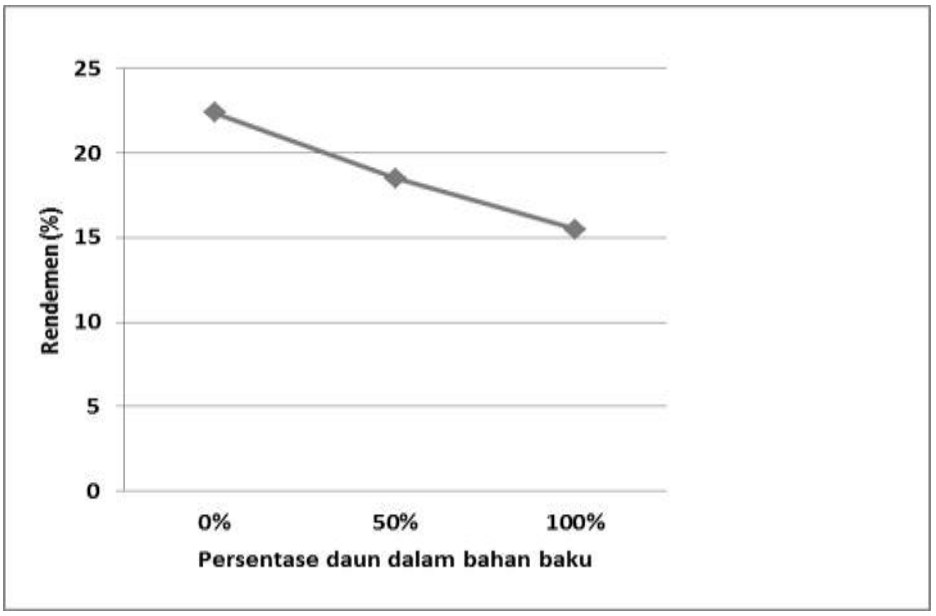
Gambar 2. Kenaikan suhu pada proses pirolisis

Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa kenaikan suhu selama pirolisis dari suhu kamar sampai 500^{0}C berlangsung dalam waktu sekitar 20 menit. Nilai ini lebih cepat dari proses pirolisis biasa yang menghasilkan produk asap cair dan arang yang terjadi dalam waktu sekitar 90 menit (Nisandi, 2007).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

c. Pengaruh Bahan Baku terhadap Rendemen Bio-oil

Rendemen bio-oil yang dihasilkan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh bahan baku terhadap rendemen bio-oil

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai rendemen tertinggi dihasilkan untuk bahan baku daun 0% (atau 100% ranting), yaitu sebesar 24,3 %. Sedangkan rendemen terendah dihasilkan untuk bahan baku daun 100% (atau 0% ranting), yaitu sebesar 15,5 %.

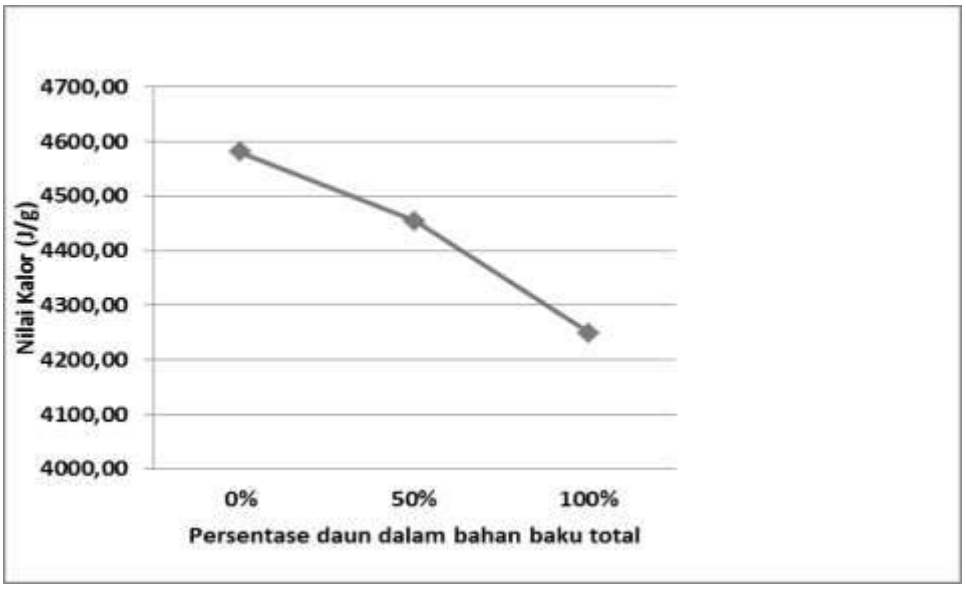
Rendemen bio-oil pada pirolisis 100% ranting lebih tinggi daripada 100% daun, karena kandungan senyawa kimia di dalam ranting lebih kompleks dibandingkan kandungan kimia daun (Soenardi, 1995). Hal ini akan menyebabkan proses konversi bahan organik pada ranting lebih banyak daripada daun.

Akan tetapi, rendemen bio-oil pada penelitian ini masih jauh dibawah rendemen yang dihasilkan pada proses *fluidized bed* yaitu sebesar 70% (Bridgewater, 2007). Hal ini disebabkan karena pada proses *fluidized bed* terjadi fluidisasi material yang berukuran sangat kecil di dalam reaktor dengan bantuan gas inert bertekanan tinggi, sehingga proses transfer panas bisa terjadi dengan sangat cepat, uap yang terbentuk juga semakin besar dan cepat terkondensasi. Hal ini berbeda dengan penelitian ini karena tidak adanya gas inert yang digunakan untuk fluidisasi bahan di dalam reaktor.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

d. Pengaruh Bahan Baku terhadap Nilai Kalor Bio-oil

Nilai kalor bio-oil yang dihasilkan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh bahan baku terhadap nilai kalor bio-oil

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai kalor tertinggi dihasilkan untuk bahan baku daun 0% (atau 100% ranting), yaitu sebesar 5.175,35 J/g. Sedangkan nilai kalor terendah dihasilkan untuk bahan baku daun 100% (atau 0% ranting), yaitu sebesar 4.249,20 J/g. Nilai kalor bio-oil dari pirolisis ranting lebih besar daripada daun, disebabkan karena bahan baku awal berupa ranting sebelum dipirolisis memiliki nilai kalor yang lebih besar dibandingkan daun.

Akan tetapi, nilai kalor bio-oil pada penelitian ini masih jauh dibawah rendemen yang dihasilkan pada proses *fluidized bed* yaitu sebesar 18.000 J/g (Bridgewater, 2007). Hal ini disebabkan karena pada proses *fluidized bed* terjadi fluidisasi material yang berukuran sangat kecil di dalam reaktor dengan bantuan gas inert bertekanan tinggi, sehingga proses transfer panas bisa terjadi dengan sangat cepat, uap yang terbentuk juga semakin besar dan cepat terkondensasi sehingga produk bio-oil mempunyai nilai kalor lebih tinggi. Hal ini berbeda dengan penelitian ini karena tidak menggunakan gas inert untuk fluidisasi bahan yang ada di dalam reaktor.

KESIMPULAN

1. Sampah organik berupa daun dan ranting tanaman bisa dikonversi menjadi bio-oil sebagai bahan bakar alternatif menggunakan proses pirolisis.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2. Rendemen bio-oil terbesar dihasilkan dari proses pirolisis 100% ranting kering yaitu sebesar 24,3 %, lebih tinggi dibandingkan bahan baku daun 100% yaitu sebesar 15,5 %.

3. Pirolisis ranting kering akan menghasilkan bio-oil dengan nilai kalori 5.175,35 J/g, lebih besar daripada nilai kalori bio-oil dari daun kering yang sebesar 4.249,20 J/g

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2008, *Laporan Rekapitulasi Pohon Perindang di Kabupaten Sleman*, Dinas Kimpraswilhub Kabupaten Sleman, Sleman, Yogyakarta

Anonim, 2009, *Laporan Rekapitulasi Pengangkutan Sampah di Kabupaten Sleman*, Dinas Kimpraswilhub Kabupaten Sleman, Sleman, Yogyakarta

Bridgewater, 2007, *Biomass Fast Pyrolysis*, Aston University, Birmingham.

Brown, R.C., and Holmgren, J., 2008, *Fast Pyrolysis and Bio-oil Upgrading*, Iowa State University and UOP Honeywell Co.

Dinamotive, 2006, *The Bio-oil Information Book*, edisi 13 Maret. Dynamotive Energy System Corporation, Vancouver (BC), Canada.

Fachrizal, dkk, 2013, Studi Pemanfaatan Gelombang Mikro pada Pengembangan Teknologi Pirolisis Biomassa, *Jurnal Ilmiah Teknologi Energi*, Volume 1 nomor 16 Edisi Februari 2013, Hal 20-33

Heyerdahl, P.H., and Geoffrey, G., 2006. *Distributed Biomass Conversion*, Norwegian University, Oslo

Kristy M., 2007, *Biooils: Feedstocks, Process and Potential for Synthetic Diesel*, BBI International, Colorado

Nisandi, 2007, *Pengaruh Massa Bahan dalam Ruang Pengarangan serta Komposisi Campuran Bahan terhadap Kualitas Briket Arang yang Dihasilkan pada Pirolisis Sampah Organik*, Tesis Teknologi Pengelolaan dan Pemanfaatan Sampah/limbah Perkotaan (TP2SLP) Magister Sistem Teknik (MST), Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Noor, 2011, *Optimasi Suhu Operasi pada Produksi Bio-Oil dari Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati (Tectona Grandits Linn F)*, Tesis Teknologi Industri Kecil dan Menengah (TIKM) Magister Sistem Teknik (MST), Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Poerwanto, 2009, *Perancangan Reaktor dan Pengembangan Prosedur Operasi Pirolisis Serbuk Gergaji untuk Menghasilkan Bio-oil*, Tugas Akhir, ITB Bandung

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Radar Sulteng Online, 2009, *Sampah Indonesia 167 Ribu Ton Per Hari*. Diakses melalui http://www.radarsulteng.com/berita/index.asp?Berita=Utama&id=48959, 23 Februari 2009

Sandra, dkk., 2013, *Konversi Cangkang Sawit menjadi Bio-oil menggunakan Katalis Ni.Mo/Lempung Cengar*, Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik. Universitas Riau

Soenardi, 1995, *Kimia Kayu*, Bagian Penerbitan Fakultas Kehutanan UGM, Yogyakarta

Weiming, 2006, *Biomass Liquifaction Technology*, Shandong University of Technology, Shandong, China

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences, Vol. 11 No. 2, Halaman: 73-80, Juli 2019
https://doi.org/10.30599/jti.v11i2.473

Pengaruh Penerapan Model Pembelajaran *Project Based Learning* Terhadap Kreativitas Siswa Pada Materi Energi Terbarukan

Haza Kurnia Dinantika*, Eko Suyanto, dan I Dewa Putu Nyeneng
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lampung
* E-mail: haza_kurnia@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penerapan model pembelajaran *Project Based Learning* terhadap kreativitas siswa pada materi energi terbarukan: Turbin *Axis* Horizontal dan Kincir Air. Populasi pada penelitian ini yaitu seluruh siswa kelas XII IPA SMA Al-Kautsar Bandar Lampung, dengan sampel kelas XII IPA_5 sebagai kelas eksperimen dan XII IPA_7 sebagai kelas kontrol. Desain penelitian yaitu *Posttest Only Control Group Design*. Hasil penelitian diuji menggunakan *Independent Sample T-Test* dan *Effect Size*. Hasil penelitian yaitu kelas kontrol dengan model pembelajaran konvensional memiliki nilai rata-rata kreativitas sebesar 42% dengan kategori kurang kreatif, sedangkan kelas eksperimen dengan model pembelajaran *Project Based Learning* memiliki nilai rata-rata kreativitas sebesar 72% dengan kategori kreatif. Hasil uji *Effect Size* diperoleh nilai *cohen's d* sebesar 3,40 dan nilai *effect size r* sebesar 0,86 dengan kategori tinggi. Kesimpulannya yaitu terdapat pengaruh penerapan model pembelajaran *Project Based Learning* terhadap kreativitas siswa pada materi energi terbarukan.

Kata kunci: *Project Based Learning*, Kreativitas Siswa, Energi Terbarukan.

PENDAHULUAN

Pembelajaran pada abad ke-21 menuntut berbagai keterampilan yang diwajibkan untuk dikuasai oleh siswa, sehingga diharapkan pendidikan saat ini dapat menjadikan siswa agar menguasai berbagai keterampilan. Keterampilan-keterampilan yang dikatakan penting pada abad ke-21 masih berhubungan dengan empat pilar kehidupan yaitu *learning to know* yaitu mengetahui penguasaan materi, *learning to do* yaitu siswa harus belajar berkarya, *learning to be* yaitu siswa yang mempunyai kompetensi kognitif yang mendasar termasuk kedalam pribadi yang berkualitas dan beridentitas, dan *learning to live together* yaitu belajar dengan kelompok akan memberikan kesempatan untuk siswa agar aktif dalam diskusi dengan kelompoknya, senantiasa memantau strategi serta pencapaian belajar dan menjadi pemikir yang kritis (Scott, 2015).

US-based Partnership untuk keterampilan pada abad ke-21, mengemukakan kompetensi yang sangat diperlukan yaitu komunikasi, kolaborasi, berpikir kritis, dan kreativitas. *Assessment and Teaching of 21st Century Skills* mengkategorikan keterampilan pada abad ke-21 dalam 4 kategori, yaitu cara berpikir, cara bekerja, langkah-langkah untuk bekerja, dan keterampilan apa yang digunakan di dunia (Griffin, McGaw & Care, 2012). Cara berpikir mencakup inovasi, berpikir kritis, kreativitas, pemecahan masalah, dan membuat sebuah keputusan. Cara bekerja mencakup keterampilan dalam berkomunikasi, berkolaborasi, dan mengatur kerjasama dalam kelompok. Langkah-langkah untuk bekerja termasuk kesadaran sebagai warga negara lokal maupun global, pengembangan karir dan hidupnya, dan menanamkan rasa tanggung jawab sebagai pribadi maupun sosial, sedangkan keterampilan untuk hidup di dunia termasuk keterampilan yang mendasarkan pada literasi informasi, penguasaan teknologi informasi dan komunikasi baru, dan kemampuan untuk belajar serta bekerja melalui jaringan sosial digital.

Pada hakekatnya, fisika merupakan kumpulan pengetahuan, cara berfikir, dan penyelidikan (eksperimen). Penerapannya dalam pembelajaran harus mempertimbangkan model pembelajaran yang bagus dan efektif agar mampu membuat siswa tertarik dan termotivasi untuk mempelajari fisika. Salah satu kegiatan pembelajaran fisika yang efektif dan benar-benar mencerminkan hakekat fisika itu sendiri adalah melalui kegiatan praktik. Secara umum kegiatan praktik merupakan unjuk kerja yang

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

ditampilkan guru atau siswa dalam bentuk demontrasi maupun percobaan oleh siswa tersebut melalui eksperimen atau proyek. Kegiatan praktik memiliki peran yang sangat penting dalam pembelajaran fisika karena praktik memberikan peluang kepada siswa untuk kreatif dalam melakukan inovasi, atau mendapatkan pengetahuan tentang langkah-langkah yang dilakukan ilmuwan dalam menemukan hukum fisika. Kegiatan praktik dapat terlaksana secara baik dan benar jika didukung oleh penggunaan model pembelajaran, sarana dan prasarana yang tepat. Model pembelajaran tersebut yang bisa menunjang adalah model pembelajaran *Project Based Learning*. Model pembelajaran *Project Based Learning* yaitu model pembelajaran yang relevan untuk mengimplementasikan kurikulum 2013 dan dapat mengatasi masalah secara efektif di dalam kelas (Fikriyah, 2015).

Model pembelajaran *Project Based Learning* yaitu model pembelajaran yang mempunyai sifat kontekstual karena model tersebut diharapkan dapat merubah gaya belajar siswa secara lebih individual dengan menaikkan motivasi belajar, serta kreativitas siswa dalam berkarya, memunculkan ide-ide kreatif serta melatih berpikir kritis, dalam menyikapi suatu masalah yang dihadapi di dunia nyata. Model pembelajaran *Project Based Learning* melibatkan beberapa aspek lingkungan tempat siswa berada dan belajar dengan melibatkan kreativitas yang ada dalam diri siswa (Widiyatmoko dan Pamelasari, 2012). Model pembelajaran *Project Based Learning* dapat melibatkan siswa secara aktif dalam membangun pengetahuannya sendiri serta melibatkan kerja kelompok agar menghasilkan suatu proyek sebagai aplikasi prinsip atau konsep yang telah diperoleh. Pembelajaran menggunakan model ini membuat siswa terbiasa menemukan sendiri konsep fisika melalui proyek yang diberikan dengan mengkontruksi pengetahuan dalam diri siswa (Sari, Sutikno, & Masturi, 2015).

Model Pembelajaran *Project Based Learning* dapat memberikan peluang kepada siswa untuk menggali materi dengan menggunakan berbagai cara. Siswa diberi kesempatan untuk mempelajari materi dengan berbagai cara, terlibat dalam pemecahan masalah, dan terlibat dalam kegiatan perancangan produk diharapkan keterampilan dan pemahaman siswa dapat lebih berkembang sehingga siswa lebih memahami materi yang dipelajari. Model ini memiliki perbedaan dengan model konvensional yang banyak digunakan selama ini. Pada model pembelajaran *Project Based Learning*, guru memiliki peran yaitu fasilitator bagi siswa agar mendapatkan jawaban dari pertanyaan penuntun, sedangkan pada kelas konvensional guru memiliki peran yang menguasai keseluruhan materi dan semua informasi diberikan secara langsung kepada siswa. Pada kelas dengan model pembelajaran *Project Based Learning*, siswa akan dibiasakan bekerja sama secara kolaboratif, penilaian dilakukan secara autentik, dan sumber belajar dapat sangat berkembang, karena hal tersebut maka model pembelajaran *Project Based Learning* berbeda dengan kelas konvensional yang sudah terbiasa dengan situasi kelas individual, penilaian yang dilakukan dominan pada aspek hasil dari pada proses (Dewi, 2017).

Model pembelajaran *Project based learning* memiliki beberapa kelemahan diantaranya yaitu biaya yang tidak murah. Solusi lain yang dapat digunakan agar mengatasi kekurangan tersebut yaitu dengan menggunakan bahan bekas. Keuntungan dengan menggunakan bahan bekas sebagai pemecahan masalah yaitu bahan tersebut mudah diperoleh dari lingkungan sekitar (Kurniawati, 2017), dan memanfaatkan bahan bekas pakai yang terdapat di lingkungan juga dapat dimaksimalkan.

Penelitian yang dilakukan oleh Alawiyah (2015) menunjukkan bahwa pemanfaatan bahan bekas juga dapat menunjang sikap ilmiah dan meningkatkan kreativitas siswa. Kreativitas merupakan salah satu indikator berpikir tingkat tinggi. Berpikir kritis dan berpikir kreatif digunakan untuk memecahkan permasalahan yang ada. Kreativitas menurut Slameto (2016) merupakan kemampuan untuk menghasilkan hal yang berbeda dan tidak dapat dibuat oleh orang lain. Sesuatu yang dihasilkan ini merupakan suatu hal atau benda yang baru yang tentunya memiliki daya guna. Kreativitas merupakan suatu proses mental yang mana proses ini mengarah pada kemampuan untuk berpikir orisinal dibandingkan dengan orang lain. Kreativitas itu sendiri merupakan pengalaman yang digunakan untuk mengekspresikan diri, baik dengan diri sendiri maupun dengan orang lain secara asli yang mana dengan pengalaman tersebut dapat mendapatkan ide, gagasan, dan langkah-langkah yang berbeda yang tentunya suatu hal yang memiliki nilai guna.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

https://doi.org/10.30599/jti.v11i2.473

Kreativitas sebagai salah satu kemampuan yang dibutuhkan oleh siswa dalam membantu memecahkan permasalahan dan menemukan konsep baru. Kreativitas sebagai kemampuan berpikir *divergen* atau cara memecahkan suatu permasalahan dengan menggunakan berbagai macam alternatif jawaban terhadap persoalan yang sama benarnya. Kreativitas siswa sebagai suatu kemampuan siswa untuk menghasilkan berbagai macam ide melalui proses berpikir yang luas dan beragam. Penanaman kebiasaan untuk berpikir kreatif perlu diterapkan melalui proses pembelajaran khususnya dalam pembelajaran Fisika (Titu, 2015). Berdasarkan Sopan (2015) mengemukakan ada 4 indikator Kreativitas siswa yaitu Kelancaran (*Fluency*) atau kemampuan untuk mengemukakan banyak Gagasan. Keluwesan (*Flexibility*), adalah kemampuan untuk mengemukakan bermacam-macam pemecahan atau pendekatan terhadap masalah. Originalitas (*Originality*), adalah kemampuan untuk mencetuskan gagasan dengan cara-cara yang asli, tidak klise. Elaborasi (*Elaboration*), adalah kemampuan untuk menguraikan sesuatu secara terinci. Hasil dari studi kasus pada penelitian ini akan digunakan 3 indikator kreativitas yaitu Kelancaran (*Fluency*), Keluwesan (*Flexibility*), dan Originalitas (*Originality).*

Berdasarkan Penelitian Novita, Darmawijoyo, & Aisyah (2016) yang menerapkan pembelajaran *Project Based Learning*, media atau alat peraga untuk mendukung pembelajaran fisika masih sangat minim sehingga perlu adanya ide dan inovasi untuk menciptakan media yang dapat digunakan sebagai sarana belajar. Berdasarkan hal tersebut, peneliti melakukan penelitian untuk melihat bagaimana pengaruh penerapan model pembelajaran *Project Based Learning* terhadap kreativitas siswa pada materi Energi Terbarukan. Peneliti beranggapan bahwa penerapan model pembelajaran *Project Based Learning* cocok diterapkan pada materi Energi Terbarukan, karena di sekolah pokok bahasan ini baru dan belum dibelajarkan.

METODE/EKSPERIMEN

Penelitian ini dilaksanakan di SMA Al-Kautsar Bandar Lampung, dengan alamat sekolah Jl. Soekarno Hatta, Rajabasa, Kota Bandar Lampung. Waktu penelitian dilaksanakan pada semester II Tahun Ajaran 2018/2019. Populasi pada penelitian ini yaitu seluruh siswa kelas XII IPA SMA Al-Kautsar Bandar Lampung pada semester II Tahun Ajaran 2018/2019 yang berjumlah 7 kelas. Sampel penelitian menggunakan dua kelas, yaitu satu kelas sebagai kelas eksperimen dan satu kelas lainnya sebagai kelas kontrol. Sampel yang diambil digunakan teknik *purposive sampling* pada kelas yang memiliki nilai yang relatif sama dilihat dari nilai ulangan harian sebelum materi sumber daya energi sehingga terpilih satu kelas eksperimen dan satu kelas kontrol pada kelas XII IPA_5 dan IPA_7. Penelitian ini terdiri dari dua variabel penelitian, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu penerapan model pembelajaran yaitu *Project Based Learning.* Variabel terikatnya adalah kreativitas siswa. Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimen semu (*Quasi Experiment*) dengan menggunakan *posttest only control group design*. Adapun garis besar pelaksanaan penelitian dengan menggunakan desain ini digambarkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. *Posttest Only Control Group Design*

Kelas	Perlakuan	Tes Akhir
Eksperimen	X_1	O_1
kontrol	X_2	O_2

Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu Tahap Persiapan, Peneliti mengurus perizinan, observasi, dan menentukan kelas yang akan digunakan sebagai sampel penelitian yang akan dilaksanakan di SMA Al- Kautsar Bandar Lampung, peneliti menyusun RPP dan instrumen yang akan digunakan dalam proses pelaksanaan penelitian. Tahap Pelaksanaan, Peneliti terlebih dahulu memberikan stimulus kepada siswa, peneliti memberikan perlakuan berupa pembelajaran dengan model pembelajaran *Project Based Learning* pada kelas

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

eksperimen dan memberikan model pembelajaran konvensional di kelas kontrol, peneliti akan memberikan tes akhir kepada siswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol untuk melihat kreativitas siswa tersebut. Tahap Akhir, Peneliti mengumpulkan data hasil tes kreativitas siswa dari kelas eksperimen dan kelas kontrol, Mengolah data serta menganalisis data yang diperoleh dari kelas eksperimen dan kelas kontrol, Membuat kesimpulan dan kemudian menyusun laporan penelitian.

Intrumen dan Teknik Pengumpulan Data Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu RPP dengan model pembelajaran *Project Based Learning* digunakan sebagai acuan guru pada pelaksanaan pembelajaran yang digunakan selama proses pembelajaran dan soal tes akhir yang digunakan berupa soal uraian berjumlah 10 soal. Tes ini digunakan untuk mengukur tingkat kreativitas siswa terhadap materi Energi Terbarukan yang diberikan saat pelaksanaan tes akhir. Sebelum digunakannya instrumen dalam sampel, instrumen diuji terlebih dahulu menggunakan uji validitas dan uji reliabilitasnya dengan pengujian validitas instrumen bantuan program SPSS. Pengumpulan data dilakukan setelah kegiatan pembelajaran dilaksanakan. Data yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu data nilai kreativitas siswa sesudah pembelajaran. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan melakukan (1) uji normalitas, (2) uji homogenitas, (3) *Independent Sample T Test, (4) Effect Size.*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil penelitian yaitu kelas kontrol dengan model pembelajaran konvensional memiliki nilai rata-rata kreativitas sebesar 42% dengan kategori kurang kreatif, sedangkan kelas eksperimen dengan model pembelajaran *Project Based Learning* memiliki nilai rata-rata kreativitas sebesar 72% dengan kategori kreatif. Hasil uji *Effect Size* diperoleh nilai *cohen's d* sebesar 3,40 dan nilai *effect size r* sebesar 0,86 dengan kategori tinggi, artinya penerapan model pembelajaran *Project Based Learning* sangat berpengaruh terhadap kreativitas siswa.

Data Hasil Uji Keseluruhan

Data nilai rata-rata kreativitas siswa dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai Rata-rata Kreativitas Siswa

Kelas	Nilai Rata-rata	Keterangan
Esperimen	72%	Kreatif
Kontrol	42%	Kurang Kreatif

Data uji normalitas dan homogenitas dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Uji Normalitas dan Homogenitas

Variabel Penelitian	Normalitas	Homogenitas
Tes Akhir	✔	✔

Dari Tabel 3 maka disimpulkan bahwa data nilai kreativitas berdistribusi normal dan homogen.

Data hasil uji *independent sampel t-test* nilai kreativitas dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji *Independent Sample T-Test* Nilai Kreativitas

Variabel Penelitian	Asymp Sig	Keterangan
Tes Akhir	0,000	Ada Perbedaan

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui nilai *Asymp Sig (2-tailed)* pada uji hipotesis sebesar 0,000, yaitu kurang dari 0,05 maka kesimpulannya yaitu H_0 ditolak dan H_1 diterima, sehingga kesimpulannya bahwa terdapat pengaruh penerapan model pembelajaran berbasis proyek *(Project Based Learning)* terhadap

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

https://doi.org/10.30599/jti.v11i2.473

kreativitas siswa pada materi energi terbarukan.

Data hasil uji effect size dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji *Effect Size*

Uji	Nilai
Cohen's *d*	3,40
Effect size r	0,86

Hasil nilai Cohen's *d* yang diperoleh sebesar 3,40 dan hasil nilai *effect size r* yang diperoleh dari perhitungan, yaitu 0,86 dengan kriteria tinggi, sehingga kesimpulan yang diperoleh yaitu penerapan model pembelajaran *Project Based Learning* yang digunakan pada penelitian ini berpengaruh tinggi terhadap kreativitas siswa pada materi energi terbarukan.

Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh model pembelajaran berbasis proyek *(Project Based Learning)* terhadap kreativitas siswa pada materi energi terbarukan dengan cara memberikan soal tes akhir. Pemberian soal tes akhir dilakukan untuk mengukur kreativitas siswa setelah diberikan perlakuan. Penelitian ini menggunakan dua kelas, yaitu kelas eksperimen menggunakan model pembelajaran *Project Based Learning* dan kelas kontrol menggunakan model pembelajaran Konvensional.

Setelah dilakukan uji hipotesis (*independent sample t-test*) diperoleh nilai *asymp sig. (2-tailed)* sebesar 0,000. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai rata-rata tes pada kelas eksperimen yang menerapkan model pembelajaran *Project Based Learning* dengan kelas kontrol yang menggunakan model pembelajaran konvensional. Kelas eksperimen yang menerapkan model pembelajaran *Project Based Learning* memiliki nilai rata-rata tes kreativitas siswa lebih besar dibandingkan dengan kelas kontrol yang menerapkan model pembelajaran konvensional, sehingga dapat dikatakan terdapat pengaruh penerapan model pembelajaran berbasis proyek *(Project Based Learning)* terhadap kreativitas siswa pada materi energi terbarukan.

Kelas eksperimen lebih baik dalam kreativitasnya dibandingkan dengan kelas kontrol, karena pada proses dan kegiatan pembelajaran dengan menerapkan model pembelajaran *Project Based learning* terdapat sintaks pembelajaran yang memacu siswa untuk lebih kreatif dalam pembelajaran, seperti siswa juga diberikan kesempatan untuk menghasilkan berbagai ide melalui proses berpikir yang luas dan beragam serta guru berperan sebagai fasilisator dan mengarahkan siswa yang dapat menanamkan kebiasaan berpikir kreatif. Siswa dapat menghasilkan banyak rumusan tema proyek, mengemukakan langkah-langkah penyelesaian proyek, mengemukakan macam-macam pemecahan masalah, dapat mencetuskan gagasan dengan cara yang asli dan tidak meniru orang lain.

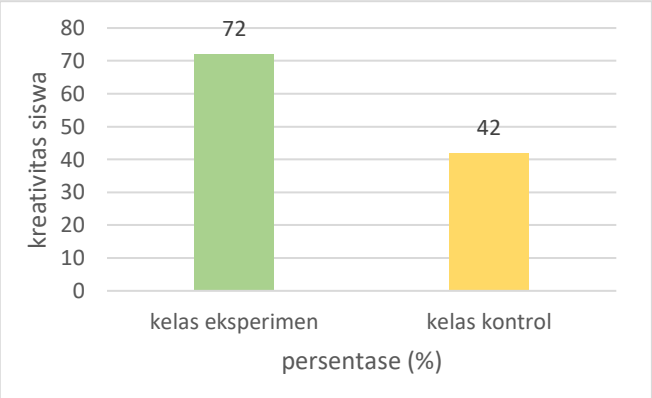
Hasil Penelitian didukung oleh Surya, Relmasira, & Hardini (2018) menunjukkan bahwa penerapan model pembelajaran *Project Based learning* menuntut siswa untuk berpikir kreatif. Hal ini ditunjukkan dengan siswa banyak yang bertanya, mengemukakan pendapat, dan menjawab pertanyaan guru. Dalam pembelajaran *Project Based learning,* siswa tidak hanya dituntut untuk mengungkapkan gagasannya, namun siswa juga dituntut untuk memecahkan masalah melalui pemberian proyek sehingga kreativitas siswa dalam berpikir meningkat. Menurut Subagia, dkk (2014) juga menyatakan bahwa pada pembelajaran *Project Based learning* siswa harus merancang, memecahkan masalah, membuat keputusan, melakukan kegiatan investigasi, dan bekerja secara mandiri bersama kelompoknya, dan siswa dengan antusias yang tinggi akan melaksanakan tahapan-tahapan pembelajaran *Project Based learning* dengan baik sehingga berdampak pada pencapaian yang optimal. Menurut (Cawi, dkk 2014) menambahkan bahwa model pembelajaran *Project Based Learning* dapat menstimulasi motivasi, proses, dan meningkatkan kreativitas siswa menggunakan masalah apa saja yang berkaitan dengan materi tertentu pada situasi nyata. Hal serupa juga telah dibahas di pendahuluan, bahwa model pembelajaran *Project Based Learning* dapat melibatkan siswa

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

secara aktif dalam membangun pengetahuannya sendiri serta melibatkan kerja kelompok untuk menghasilkan suatu proyek. Pembelajaran menggunakan model ini membuat siswa terbiasa menemukan sendiri konsep fisika melalui proyek yang diberikan dengan mengkontruksi pengetahuan dalam diri siswa (Sari, dkk., 2015).

Kelas kontrol memiliki kreativitas yang lebih rendah, karena penerapan model pembelajaran konvensional hanya menggunakan metode ceramah, guru sebagai pemberi informasi utama tanpa memberikan kesempatan untuk siswanya agar mengembangkan pengetahuannya dan mengemukakan ide serta pemecahan terhadap masalah. Pernyataan ini didukung oleh (Triani, 2015) yang menyatakan bahwa kekurangan model pembelajaran konvensional, yaitu sebagian siswa kurang paham menerima materi yang dijelaskan oleh guru dan siswa tidak bisa mencatat materi dengan baik, karena siswa bosan, kurang berpartisipasi dalam kegiatan pembelajaran, karena peran guru sebagai sumber belajar siswa sehingga keadaan kelas menjadi monoton.

Hasil perhitungan nilai rata-rata tes kreativitas siswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol memiliki perbedaan yang cukup jauh, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Perbedaan Nilai Rata-rata Kreativitas Siswa

Kelas eksperimen mendapatkan nilai rata-rata kreativitas 72% dan kelas kontrol mendapatkan rata-rata 42%. Kelas eksperimen masuk kategori kreatif dan kelas kontrol masuk kategori kurang kreatif. Dari hasil nilai rata-rata kreativitas tersebut, maka kesimpulannya yaitu kelas yang menggunakan model pembelajaran *Project Based Learning* lebih dapat meningkatkan kreativitas siswa dalam mengemukakan gagasan, mengemukakan pemecahan terhadap masalah, dan dapat mengemukakan gagasan dengan cara sendiri tanpa melihat karya orang lain dibandingkan dengan kelas yang menggunakan model pembelajaran konvensional yang hanya berpusat kepada guru. Hal ini serupa dengan penelitian Maula (2014) yang menyatakan bahwa penerapan model pembelajaran *Project Based Learning* sangan berpengaruh terhadap kreativitas siswa dibandingkan dengan model pembelajaran konvensional. Dewi (2017) juga menambahkan bahwa perbedaan model pembelajaran konvensional dan model pembelajaran *Project Based Learning*, yaitu pada model pembelajaran konvensional menghafal materi saja tanpa memikirkan bagaimana faktanya, berusaha dengan sendirinya agar mencapai target, siswa bergantung kepada guru, guru sebagai pemberi informasi. Sedangkan pada model pembelajaran *Project Based Learning*, siswa menginvestigasi dan menyimak isu yang ada pada dunia nyata, siswa bekerja sama dalam tim untuk mencapai target, tidak bergantung kepada guru sebagai pusat informasi, dan guru yaitu sebagai fasilitator dan menyediakan sumber daya. Hal inilah yang memungkinkan terdapat perbedaan nilai rata-rata tes yang diperoleh kelas eksperimen dan kelas kontrol.

Besarnya nilai Cohen's *d* yang diperoleh sebesar 3,40 dan hasil nilai *effect size r* yang diperoleh dari perhitungan, yaitu 0,86 dengan kriteria tinggi, menunjukkan bahwa model pembelajaran *Project Based Learning* berpengaruh tinggi dalam penelitian ini, sejalan dengan penelitian yang dilakukan Sugiarti (2017) menyatakan bahwa pembelajaran model *Project Based Learning* efektif untuk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

https://doi.org/10.30599/jti.v11i2.473

meningkatkan kreativitas siswa terbukti dengan adanya peningkatan persentase pada setiap siklusnya. Hal ini juga didukung oleh Widyastuti (2016) bahwa model pembelajaran *Project Based Learning* merupakan salah satu cara guru untuk menjadikan siswa aktif dan lebih memahami materi-materi pembelajaran, sehingga nilai *effect size* yang diperoleh juga tinggi. Hasil nilai *effect size* pada penelitian ini diperoleh dari perhitungan nilai rata-rata kreativitas kelas eksperimen, yaitu 72% dan nilai rata-rata kreativitas kelas kontrol 42% dengan menggunakan kalkulator cohen's *d* dan hasil yang diperoleh tinggi. Hal ini dikarenakan model pembelajaran *Project Based Learning* dengan sintaks yang sudah baik dalam memacu kreativitas siswa. Sebagaimana hasil uji hipotesis dan beberapa hasil penelitian yang berhubungan serta teori yang mendukung, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat ditemukan jawabannya, yaitu penerapan model pembelajaran *Project Based Learning* berpengaruh sangat baik dalam meningkatkan kreativitas siswa pada materi energi terbarukan.

PENUTUP

Terdapat pengaruh penerapan model pembelajaran *Project Based Learning* terhadap kreativitas siswa pada materi energi terbarukan: turbin angin *axis* horizontal dan kincir air, dibuktikan dengan terdapat perbedaan nilai rata-rata kreativitas antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kelas eksperimen termasuk ke dalam kategori kreatif, sedangkan kelas kontrol termasuk ke dalam kategori kurang kreatif, dengan nilai signifikansi sebesar 0,000. Besarnya pengaruh model pembelajaran *Project Based Learning* masuk ke dalam kriteria besar, dengan nilai *Cohen's d* sebesar 3,40 dan nilai *effect size r* sebesar 0,86.

Saran untuk peneliti lain yang akan menggunakan model *Project Based Learning* diharapkan dapat mengatur waktu dengan baik karena dalam menerapkan model pembelajaran *Project Based Learning* seluruh sintaks dapat diterapkan dengan sekurang-kurangnya dua kali pertemuan, serta memikirkan penentuan tema proyek yang akan digunakan ketika penelitian. Saran bagi guru yang akan menerapkan model pembelajaran *Project Based Learning* diharapkan menguasai sintaks pembelajaran dengan baik agar pembelajaran menjadi efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

Alawiyah, M., Sudarti, & Prihandono. (2015). Pengaruh model pembelajaran project based learning berbasis pemanfaatan bahan bekas terhadap sikap ilmiah dan hasil belajar mata pelajaran IPA di MTs Jenggawah. *Jurnal Education*, 2(1), 37-40.

Cawi, I., Marhaeni., Gede, R. (2014). Pengaruh pembelajaran berbasis proyek terhadap hasil belajar menggambar layout dengan kovariabel kecerdasan spasial dan kecerdasan logis Matematis. *Jurnal Universitas Pendidikan Ganesha Singaraja*, 4(1), 21-25.

Dewi, R. (2017). Penerapan model pembelajaran project based learning untuk meningkatkan hasil belajar fisika dan keterampilan proses sains peserta didik kelas X SMA N Banguntapan. *Jurnal Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta,* 2(1), 5-10.

Fikriyah. (2015). Model pembelajaran berbasis proyek (project based learning) disertai media audio-visual dalam pembelajaran fisika di SMAN 4 Jember. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 4(2), 181-186.

Griffin, P., McGaw, B. & Care, E. (2012). A*ssessment and Teaching of 21st Century Skills*. Springer, New York.

Kurniawati. (2017). Pembelajaran SAINS bermuatan karakter ilmiah dengan alat peraga barang bekas dan assesmen kerja. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 6(1), 49-59. http://dx.doi.org/10.23887/jpi-undiksha.v6i1.8866

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Maula. (2014). Pengaruh PjBL (project based learning) terhadap kemampuan berpikir kreatif dan hasil belajar siswa pada materi pengelolaan lingkungan. *Jurnal Universitas jawa barat*, 3(2), 12-16.

Novita, D., Darmawijoyo, D., & Aisyah, N. (2016). Pengembangan LKS berbasis Project Based Learning untuk pembelajaran materi segitiga di kelas VII. *Jurnal Pendidikan Matematika*, *10*(2), 1-12.. http://dx.doi.org/10.22342/jpm.10.2.3626.1-12

Surya, A. P., Relmasira, S. C., & Hardini, A. T. A. (2018). Penerapan Model Pembelajaran Project Based Learning (Pjbl) Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Dan Kreatifitas Siswa Kelas Iii Sd Negeri Sidorejo Lor 01 Salatiga. *Jurnal Pesona Dasar*, *6*(1), 41-54.

Sari, D. N., Sutikno, S., & Masturi, M. (2015). Pengaruh pembelajaran berbasis proyek terhadap kreativitas siswa melalui elektroskop sederhana. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)* , 4(1),19-24.

Scott, C.L. (2015). The Futures of Learning 2: What kind of learning for the 21st century?. *Jurnal Unesco Education Research and Foresight*, 14(2), 2-7.

Slameto. (2016). Peningkatan hasil belajar matematika melalui metode pembelajaran make a match berbantu media gambar siswa sekolah dasar. *Jurnal Pendidikan Dasar*, 4(2), 2-5.

Sopan, D. (2015). Upaya peningkatan kreativitas siswa pada mata pelajaran muatan lokal batik menggunakan metode Project based learning pada siswa Kelas VIII G SMPN 1 Trucuk Kab. Klaten. *Jurnal Universitas Negeri Yogyakarta*, 4(2), 18-21.

Subagia,. & I Wayan. (2014). Pengaruh model pembelajaran berbasis proyek terhadap hasil belajar IPA ditinjau dari self efficacy siswa. *Jurnal Program Pascasarjana Universitas Pendidikan Ganesha*, 6(1), 8-15.

Sugiarti, A. (2017). Penerapan model project based learning untuk meningkatkan kreativitas dan hasil belajar siswa kelas IV pada sub tema keberagaman budaya bangsaku. *Jurnal Universitas Negeri Pasundan Bandung*, 3(2), 15-24.

Titu, M. (2015). Penerapan model pembelajaran project based learning (PjBL) untuk meningkatkan kreativitas siswa pada materi konsep masalah ekonomi. *Jurnal refleksi Edukatika*, 6(1), 177-178.

Triani, W. (2015). Pengaruh model pembelajaran project based learning terhadap hasil belajar geografi. *Jurnal Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung*, 2(1), 8-9.

Widiyatmoko, A., & S. D. Pamelasari. (2012). Pembelajaran berbasis proyek untuk mengembangkan alat peraga IPA dengan memanfaatkan bahan bekas pakai. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 1(1), 51-56.

Widyastuti, I. (2016). Pengaruh model project based learning terhadap hasil belajar pendidikan kewarganegaraan di kelas IV SD. *Jurnal Pendidikan Dasar Universitas Tanjungpura Pontianak*. 3(1): 3-5.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JIAT
JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED TECHNOLOGY
http://jiat.ub.ac.

Article Number : 297-1059-1-SM
Received : 2020-11-16
Accepted : 2021-07-09
Published :
Volume : 07
Issue : 01
Mounth, Year
July 2021
pp.1178-1183

Pengembangan Desa Mandiri Energi (DME) Berbasis Energi Terbarukan (Biogas) di Desa Gunungsari Kota Batu

Sandra Malin Sutan*[1], Ruslan Wirosoedarmo[1], Riyanto[1], Annisa'u Choirun[1]

[1] *Universitas Brawijaya*

*Coresponding author :
sandra.msutan@ub.ac.id

ABSTRAK

Desa Gunungsari di Kota Batu menjadikan sektor pertanian dan peternakan sebagai usaha yang banyak dikembangkan oleh masyarakatnya. Produksi ternak khususnya sapi perah terus mengalami peningkatan dan memberi manfaat yang besar sebagai penyedia protein hewani. Namun, hasil samping peternakan berupa limbah kotoran ternak dalam skala besar akan menimbulkan masalah yang kompleks. Selain itu, kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) terus mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya proses industrialisasi. 83% masyarakat di Desa Gunungsari masih bergantung pada BBM dan Liquid Petroleum Gas (LPG) untuk memasak. Kedua sumber energi tersebut berasal dari minyak bumi yang diketahui tidak bisa terbaharukan. Oleh karena itu, diperlukan sumber energi alternatif berupa pemanfaatan kotoran ternak, khususnya kotoran sapi menjadi biogas sehingga dapat digunakan sebagai pengganti LPG dan penggerak generator. Sisa bahan organik dapat digunakan sebagai pupuk organik cair dan pakan ikan. Sehubungan dengan hal tersebut, kegiatan Doktor Mengabdi ini dapat meningkatkan pendapatan usaha tani melalui pengoptimalan sumber daya yang ada sehingga petani atau peternak mampu menghasilkan energi mandiri untuk memenuhi kebutuhan energi sehari-hari.

KEYWORDS

Biogas, energi, kotoran ternak, pupuk, fertilizer.

PENGANTAR

Desa Gunungsari merupakan salah satu dari 9 desa di wilayah Kecamatan Bumiaji Kota Batu. Desa Gunungsari memiliki potensi wisata alam yang indah, udara yang segar dan sejuk. Disamping itu, sektor peternakan mempunyai peranan penting dalam pembangunan ekonomi di Desa Gunungsari. Pada tahun 2017 jumlah populasi sapi perah di Desa Gunungsari tercatat 1.350 ekor [1]. Rata-rata tiap kepala keluarga (KK) memiliki lima ekor sapi perah. Peternak sapi di wilayah ini sangat diuntungkan dari segi geografis karena untuk memenuhi kebutuhan pakan ternak tidak menemui kesulitan. Rumput bisa tumbuh sangat baik dan subur sehingga sangat cocok untuk memelihara ternak.

Usaha peternakan sapi perah dapat memberikan dampak positif terhadap pembangunan masyarakat, seperti peningkatan pendapatan peternak, perluasan kesempatan kerja, peningkatan ketersediaan pangan terutama susu, serta peningkatan pendapatan asli daerah. Namun, isu lingkungan dan kesehatan terkait dengan peternakan sapi perah terkadang kurang diperhatikan. Peternakan intensif dapat mencemari lingkungan melalui pembuangan kotoran ternak ke tanah, air permukaan, serta emisi gas metana ke atmosfir [6]. Limbah ternak umumnya digunakan sebagai pupuk kompos [2,11] dan sedikit yang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

memanfaatkan sebagai biogas [4], padahal limbah ternak berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi pada saat bahan bakar energi terbatas.

Kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) untuk keperluan industri, transportasi, maupun rumah tangga dari tahun ke tahun semakin meningkat. Hasil survey menunjukkan bahwa 83% masyarakat di Desa Gunungsari masih bergantung pada *Liquid Petroleum Gas* (LPG) untuk memasak. Selama ini energi yang berupa LPG berasal dari minyak bumi yang notabene tidak bisa terbaharukan. Menurut Farahdiba et al. [4], persediaan minyak dan gas alam Indonesia diprediksi masing-masing akan habis dalam jangka waktu 15 dan 60 tahun. Cadangan BBM tersebut diprekdiksi akan habis dalam dua dekade mendatang jika terus dikonsumsi tanpa ditemukannya cadangan baru.

Biogas merupakan salah satu jenis energi yang dapat digunakan apabila ditinjau dari aspek teknis, sosial, maupun ekonomi, terutama untuk memenuhi kebutuhan energi di pedesaan [8,9]. Pemanfaatan energi biogas memberikan beberapa keuntungan, yakni mengurangi bau kotoran ternak yang tidak sedap, mencegah penyebaran penyakit, mengurangi efek gas rumah kaca, menghasilkan panas dan daya mekanis/listrik, serta memberikan hasil samping berupa pupuk padat dan cair [5]. Biogas dapat dimanfaatkan terutama untuk memasak, penerangan, dan bahan bakar untuk kendaraan [7].

Produksi kotoran satu ekor ternak rata-rata 15 kg/hari, jika populasi sapi perah di Desa Gunungsari sebanyak 1.350 ekor dan 1 kg menghasilkan 0,01 m^3 gas metane, maka jumlah kotoran itu bisa dikelola menjadi bahan baku biogas sebesar 202,5 m^3. Jumlah yang luar biasa ini cukup mencukupi kebutuhan memasak 202,5 KK karena rata-rata dalam 1 hari, 1 KK hanya membutuhkan 1 m^3 biogas. Peternak yang mempunyai 2 ekor ternak sudah mempunyai jaminan untuk mendapatkan energi untuk memasak setiap harinya. Desa Mandiri Energi ini diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan input sumberdaya seperti limbah ternak sebagai sumber energi sehingga menghasilkan output dengan biaya yang lebih rendah.

Pemanfaatan biogas sebagai sumber energi pada pedesaan dapat memberikan multiple effect dan dapat menjadi penggerak dinamika pembangunan pedesaan. Selain itu, merupakan komponen sentral sistem usaha tani yang mengkombinasikan pengolahan limbah, penghasil energi panas dan listrik, serta produksi pupuk. Pemanfaatan limbah menjadi biogas secara ekonomi akan sangat kompetitif untuk mengatasi peningkatan harga BBM dan pupuk anorganik. Dengan demikian, limbah peternakan yang dihasilkan tidak lagi menjadi beban biaya usaha, tetapi menjadi hasil ikutan yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan bila mungkin setara dengan nilai ekonomi produk utama.

Pengembangan Desa Mandiri Energi di Desa Gunungsari diwadahi dalam program Doktor Mengabdi LPPM Universitas Brawijaya yang melibatkan peran serta semua masyarakat, dari awal sampai akhir. Pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan pendapatan petani desa melalui pemanfaatan limbah ternak menjadi biogas serta meningkatkan nilai tambah limbah biogas baik padat maupun cair. Harapannya masyarakat desa mampu mengolah limbah ternak menjadi sumber energi sehingga mampu meningkatkan kebermanfaatan dari limbah dan mendatangkan keuntungan bagi masyarakat.

BAHAN DAN METODE

Kegiatan pengabdian ini dilakukan di Desa Gunungsari Kecamatan Bumiaji Kota Batu pada bulan Juni sampai November 2020. Kelompok pemberdayaan yang menjadi sasaran kegiatan ini adalah Kelompok Tani Mandiri Energi Jantur. Metode pemberdayaan yang dilaksanakan antara lain: (1) pelatihan pengolahan limbah ternak menjadi biogas; (2) introduksi Teknologi Tepat Guna (TTG); dan (3) pendampingan dengan pendekatan individu dan kelompok. Pelatihan dilakukan untuk meningkatkan pengetahuan dan pengalaman kepada mitra. Pelatihan meliputi pengolahan limbah ternak

PERPUSTAKAAN NASIONAL

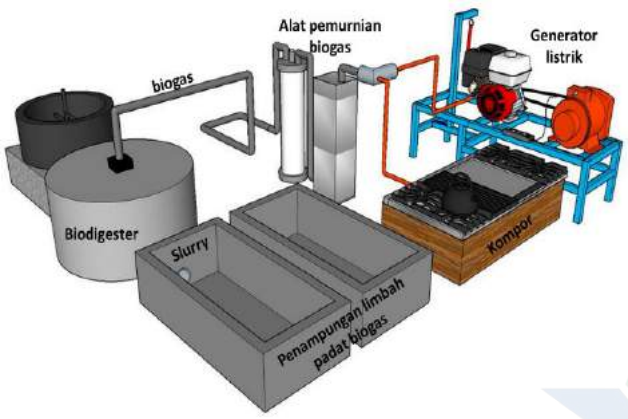
menjadi biogas, pengolahan limbah cair biogas menjadi pupuk organik, pengolahan limbah padat biogas menjadi media ternak cacing tanah dan pellet ikan. Introduksi TTG dimaksudkan sebagai insentif kepada mitra agar ada keberlanjutan program. Pendampingan intensif baik individu maupun kelompok dilakukan melalui komunikasi langsung atau tatap muka dan komunikasi tidak langsung atau melalui handphone.

HASIL DAN DISKUSI

Berdasar hasil kegiatan pengabdian yang telah dilakukan oleh Tim Doktor Mengabdi LPPM UB diperoleh beberapa kegiatan pemberdayaan untuk meningkatkan kesejahteraan Kelompok Tani Mandiri Energi Jantur.

Sistem Pertanian Terpadu

Sistem pertanian terpadu ini berangkat dari pengembangan peternakan sapi yang menghasilkan kotoran melimpah, lalu diolah dengan biodigester untuk menopang kebutuhan pertanian. Artinya, biodigester mampu menghasilkan energi bagi kebutuhan rumah tangga petani (pengganti LPG) dan olahannya (sumber listrik). Selain itu, efluen (sampah) biogas dapat digunakan sebagai sumber pupuk organik yang dapat dipakai untuk bercocok tanam dan nutrisi untuk hidroponik serta sebagai media ternak cacing dan pellet ikan. Alur pemanfaatan limbah ternak secara terpadu dapat dilihat pada **Gambar 1.**



Gambar 1. Alur Pemanfaatan Limbah Ternak Terpadu

Pengelolaan Limbah Ternak Menjadi Biogas

Biogas dari limbah kotoran hewan sangat potensial sebagai sumber energi pada DME. Kelompok Tani Mandiri Energi Jantur memiliki sembilan ekor sapi perah, yang akan menghasilkan kotoran kering 45 kg/hari dan biogas 1,88 m^3/hari (**Tabel 1**). Setiap kg kotoran sapi kering menghasilkan biogas rata-rata 0,0315 m^3. Jika produksi kotoran sapi per hari adalah 50 kg maka setiap ekor sapi perah dewasa dapat menghasilkan 0,0315 m^3 x 50 kg atau 1,5 m^3 biogas [9]. Setiap 1 m^3 biogas sebanding dengan 0,46 kg elpiji. Dengan asumsi tersebut, tabung gas 3 kg dapat diisi 6,5 m^3 biogas dari 4,3 ekor sapi, sedangkam tabung gas 12 kg dapat diisi 26 m^3 biogas dari 17,4 ekor sapi [12]. Dengan demikian, kotoran ternak perlu dimanfaatkan sebagai biogas untuk bahan bakar rumah tangga.

Tabel 1. Potensi kotoran ternak sebagai sumber energi

Uraian	Jumlah
Jumlah sapi (ekor)	9
Jumlah kotoran sapi (kg/ekor)	25
Total kotoran per hari (kg/hari)	225
Total bahan kering (kg.BK)	45
Volume hasil biogas (m^3)	1,8
Volume metana (m^3)	1,26
Massa metana (kg)	0,82656

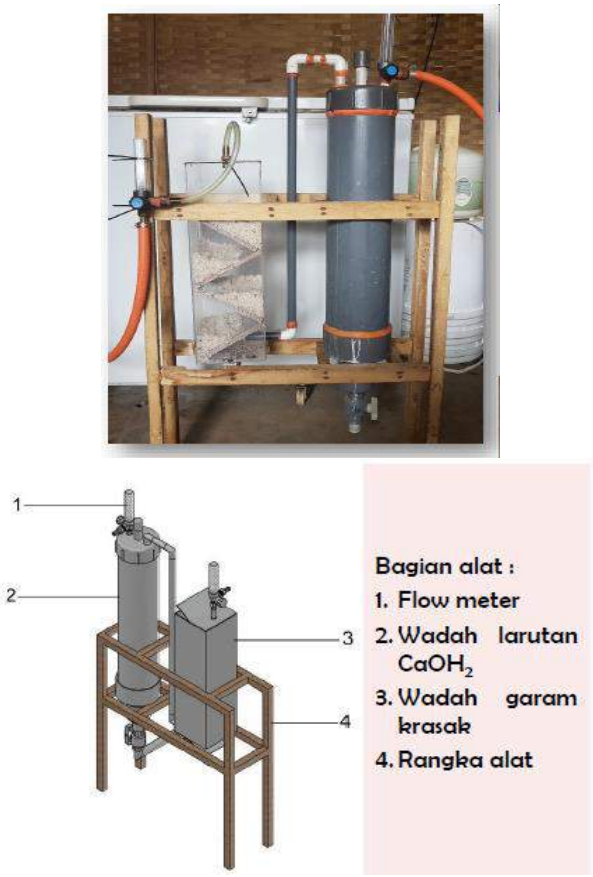
Sumber: Data Primer (2020)

Pemanfaatan Biogas sebagai Pengganti LPG dan Penggerak Mesin Generator

Biogas merupakan sumber energi alternatif potensial dari limbah pertanian dan peternakan untuk menggantikan energi tidak terbarukan. Energi dari 1 m^3 biogas sebanding dengan lampu 60 – 100 watt selama 6 jam, memasak tiga jenis makanan untuk 5-6 orang, sebanding dengan 0,7 kg bensin, menjalankan motor 1 PK selama 2 jam, atau sebanding dengan 1,25 kwh listrik [13]. Selain itu, energi yang terkandung dalam 1 m^3 sebersar 2.000 – 4.000 kkal atau dapat memenuhi kebutuhan memasak bagi satu keluarga (4-5 orang) selama 3 jam. Sebelum biogas dimanfaatkan sebagai pengganti LPG dan penggerak generator, tim Doktor Mengabdi

PERPUSTAKAAN NASIONAL

melalukan pemurnian biogas dari gas pengotor seperti karbondioksida, hydrogen sulfida, dan uap air. Proses pemurnian biogas dilakukan melalui proses adsorpsi dan absorpsi. Pada kegiatan ini, mahasiswa beserta mitra melakukan perakitan dan percobaan alat pemurnian biogas, yang nantinya biogas yang telah dimurnikan digunakan sebagai energi pengganti LPG dan penggerak mesin generator. Desain dan alat pemurnian biogas dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Gambar dan Spesifikasi Alat Pemurnian Biogas

Pembuatan mesin generator ini bertujuan untuk mengkonversi energi panas menjadi energi mekanik, lalu dari energi mekanik menjadi energi listrik. Bahan bakar motor yang digunakan adalah biogas dari kotoran sapi. Untuk pemanfaatan biogas sebagai generator listrik, yaitu dengan cara menyambungkan selang gas dari sistem pemurnian berisi biogas dengan selang gas yang menuju kompor dengan stop kran. Kemudian mempersiapkan motor diesel bensin dan dilakukan pemodifikasian karburator. Pengoperasiannya cukup mudah yaitu dengan hanya membuka stop kran biogas, kemudian tekan on pada motor diesel, selanjutnya atur choke motor bakar dalam kondisi tertutup, lalu tarik tuas engkol motor bakar hingga menyala. Setelah itu, buka *choke* perlahan hingga terjadi pencampuran dengan udara. Adapun listrik yang dihasilkan yaitu melalui putaran poros motor diesel yang disambungkan dengan poros generator, sehingga listrik akan menyala. Mesin generator dan penggunaan listrik dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Mesin Generator dan Penggunaan Listrik

Pengelolaan Limbah Padat Biogas menjadi Pellet Ikan melalui Proses Kascing

Kegiatan pengolahan limbah padat biogas menjadi media ternak cacing dan pellet ikan dilakukan tanggal 7 Juli 2020. Limbah biogas mengandung vitamin B12 sehingga berpotensi digunakan sebagai pakan. Kandungan vitamin B12 pada limbah biogas mencapai 3.000 mikrogram per kg limbah biogas kering. Sebagai perbandingan, tepung ikan dalam ransum pakan ternak hanya mengandung 200 mikrogram per kg, sedangkan tepung tulung sekitar 100 mikrogram per kg [3]. Dalam kegiatan pengabdian ini, proses pembuatan pellet ikan, kascing bertujuan untuk mendegradasi zat organik dengan ekonomis dan tanpa menimbulkan limbah sehingga sangat cocok untuk diterapkan. Adapun alat yang dibutuhkan dalam pembuatan pellet ikan ini sangat sederhana, yaitu mesin gilingan, timbangan, baskom plastik, sprayer, dan oven. Sedangkan bahan yang dibutuhkan meliputi cacing sebagai decomposer limbah biogas, limbah biogas sebagai media budidaya cacing, tepung tapioka sebagai perekat adonan, dan air sebagai media

PERPUSTAKAAN NASIONAL

pencampur. Produk pellet ikan yang dihasilkan dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Pellet Ikan dari Limbah Padat Biogas

Pemanfaatan Limbah Cair Biogas Sebagai Pupuk Organik Cair

Kegiatan ini dilakukan pada tanggal 16 Agustus 2020 yang bertujuan untuk mengolah limbah cair biogas menjadi pupuk organik cair. Kegiatan ini didampingi oleh mahasiswa dan di monitor oleh tim dosen UB. Pupuk cair organik ini nantinya akan digunakan sebagai nutrisi dalam pengembangan hidroponik selada. Proses pengolahan limbah cair biogas menjadi pupuk cair merupakan proses yang simple yaitu dengan langkah-langkah sebagai berikut: (1) ambil limbah digester biogas kemudian saring menggunakan kain saring, (2) aerasi air dari hasil proses penyaringan menggunakan aerator selama 2 minggu dan, (2) pupuk organik cair siap di aplikasikan. Kandungan unsur hara yang dimiliki limbah cair organik terdiri dari 1,45 % nitrogen, 1,1% pospor, dan 1,1% kalium [10]. Pengaplikasian pupuk cair sebagai nutrisi budidaya selada organik dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Pengaplikasian Pupuk Cair sebagai Nutrisi pada Budidaya Selada Organik

KESIMPULAN dan SARAN

Biogas memiliki manfaat sebagai sumber energi alternatif, pupuk organik padat maupun cair, pellet ikan, dan untuk memperbaiki sanitasi lingkungan. Oleh karena itu, biogas perlu dimasyarakatkan terutama di daerah sentra peternakan dengan memanfaatkan secara langsung limbah ternak menjadi bahan biogas. Biogas dapat menjadi alternatif energi yang murah dibandingkan dengan sumber energi lain yang semakin terbatas. Perbaikan teknologi biogas, integrasi sistem biogas dengan produksi pupuk organik, serta sosialisasi dan bimbingan teknis dapat memperluas pengebangan biogas di masyarakat. Oleh karena itu, perlu adanya dukungan beberapa pihak seperti pemerintah, universitas dan masyarakat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Universitas Brawijaya atas bantuan dana melalui kegiatan Doktor Mengabdi tahun 2020. Ucapan terimakasih juga penulis berikan kepada semua kolega, tim pelaksana teknis dan tim mahasiswa TA dan PKL Mandiri Energi yang membantu dalam pengumpulan data serta pendampingan kegiatan.

REFERENCES

[1] *BPS. 2018. Kota Batu Dalam Angka 2018.* https://batukota.bps.go.id/publication/2018/08/16/0359f1ad025252a858315ad1/kota-batu-dalam-angka-2018.html

[2] *Budiyanto, K. 2011. Tipologi pendayagunaan kotoran sapi dalam upaya mendukung pertanian organik di Desa Sumbersari, Kecamatan Poncokusumo, Kabupaten Malang. J. GAMMA 7(1): 42-49.*

[3] *Elizabeth, R. dan S. Rosdiana. 2011. Efektivitas pemanfaatan biogas sebagai sumber bahan bakar dalam mengatasi biaya ekonomi rumah tangga di pedesaan. Prosiding Seminar Nasional Era*

PERPUSTAKAAN NASIONAL

Baru Pembangunan Pertanian: Strategi Mengatasi Masalah Pangan, Bioenergi dan Perubahan Iklim. hlm. 220-234.

[4] *Farahdiba, A.A., A. Ramdhaniati, dan E.S. Soedjono. 2014. Teknologi dan manajemen program biogas sebagai salah satu energi alternatif yang berkelanjutan di Kabupaten Malang. J. Inovasi dan Kewirausahaan 3(2): 145-159.*

[5] *Insam, H., M. Gomez-Brandon, and J. Ascher. 2015. Manure-based biogas fermentation residues: Friend or foe of soil fertility? Soil Biol. Biochem. 84: 1-14.*

[6] *Kasworo, A., M. Izzati, dan Kismartini. 2013. Daur ulang kotoran ternak sebagai upaya mendukung peternakan sapi potong yang berkelanjutan di Desa Jogonayan Kecamatan Ngablak Kabupaten Magelang. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan. 306-311.*

[7] *Minde, G.P., S.S. Magdum, and V. Kalyanraman. 2013. Biogas as a sustainable alternative for current energy need of India. J. Sust.Energy Environ. 4: 121-132.*

[8] *Rajendran, K., S. Aslanzadeh, and M.J. Taherzadeh. 2012. Household biogas digesters-A review. Energies 5: 2911-2942.*

[9] *Rustijarno, S. 2009. Pemanfaatan biogas sebagai sumber energi alternatif terbarukan di lokasi Prima Tani Kabupaten Kulon Progo. Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan, Bogor. hlm. 831-835.*

[10] *Sudiarto, B. 2008. Pengelolaan limbah peternakan terpadu dan agribisnis yang berwawasan lingkungan. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Universitas Padjajaran, Bandung*

[11] *Syamsuddin, A.R. Mappangaja, dan A. Natsir. 2012. Analisis manfaat program biogas asal ternak bersama masyarakat (BATAMAS) Kota Palopo (Studi Kasus Kelompok Tani Kampulang Kecamatan Wara Selatan Kota Palopo): 18 hlm.*

[12] *Wahyuni, S. 2008. Analisa kelayakan pengembangan biogas sebagai energi alternatif berbasis individu dan kelompok. Tesis Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor*

[13] *Widodo, T.W., A. Nurhasanah, A. Asari, dan R. Elita. 2009. Pemanfaatan limbah industri pertanian untuk energi biogas. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Serpong, Tangerang. 12 hlm.*

PERPUSTAKAAN NASIONAL

© 2016 Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana UNDIP
JURNAL ILMU LINGKUNGAN
Volume 14 Issue 2 (2016): 96-102 *ISSN 1829-8907*

Pengembangan Potensi Energi Alternatif Dengan Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan Di Kabupaten Kotawaringin Timur

Yulian Mara Alkusma[1], Hermawan[1,2], Hadiyanto[1,3]

[1] Magister Ilmu Lingkungan Universtias Diponegoro
[2]Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
[3] Departemen Teknik Kima Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

ABSTRAK
Energi memiliki peranan penting dalam proses pembangunan yang pada akhirnya untuk mencapai tujuan sosial, ekonomi dan lingkungan untuk serta merupakan pendukung bagi kegiatan ekonomi nasional. Sumber energi terbarukan yang berasal dari pemanfaatan biogas limbah cair kelapa sawit dapat menghasilkan energi listrik yang saat ini banyak bergantung pada generator diesel dengan biaya yang mahal.Limbah cair kelapa sawit (Palm Oil Mill Effluent atau POME) adalah limbah cair yang berminyak dan tidak beracun, berasal dari proses pengolahan minyak kelapa sawit, namun limbah cair tersebut dapat menyebabkan bencana lingkungan apabila tidak dimanfaatkan dan dibuang di kolam terbuka karena akan melepaskan sejumlah besar gas metana dan gas berbahaya lainnya ke udara yang menyebabkan terjadinya emisi gas rumah kaca. Tingginya kandungan Chemical Oxygen Demand (COD) sebesar 50.000-70.000 mg/l dalam limbah cair kelapa sawit memberikan potensi untuk dapat di konversi menjadi listrik dengan menangkap biogas (gas metana) yang dihasilkan melalui serangkaian tahapan proses pemurnian. Di Kabupaten Kotawaringin Timur terdapat 36 Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit yang total kapasitas pabriknya adalah sebesar 2.115 TBS/jam, menghasilkan limbah cair sebesar 1.269 ton limbah cari/jam dan mampu menghasilkan 42.300 m3 biogas.

Kata kunci*:* Renewable Energy, Plam Oil Mill Effluent, Chemical Oxygen Demand, Biogass, Methane.

ABSTRACT
Energy has an important role in the development process and ultimately to achieve the objectives of social, economic and environment for as well as an environmental support for national economic activity. Renewable energy source derived from wastewater biogas utilization of oil palm can produce electrical energy which is currently heavily dependent on diesel generators at a cost that mahal.Limbah liquid palm oil (Palm Oil Mill Effluent, or POME) is the wastewater that is greasy and non-toxic, derived from the processing of palm oil, but the liquid waste could cause environmental disaster if not used and disposed of in open ponds because it will release large amounts of methane and other harmful gases into the air that cause greenhouse gas emissions. The high content of Chemical Oxygen Demand (COD) of 50000-70000 mg / l in the liquid waste palm oil provides the potential to be converted into electricity by capturing the biogas (methane gas) produced through a series of stages of the purification process. In East Kotawaringin there are 36 palm oil processing factory that total factory capacity is of 2,115 TBS / hour, producing 1,269 tons of liquid waste wastewater / h and is capable of producing 42,300 m3 of biogas.

Keywords*:* Renewable Energy, Plam Oil Mill Effluent, Chemical Oxygen Demand, Biogass, Methane

Cara sitasi: Alkusma, Y.M., Hermawan, dan Hadiyanto. (2016). Pengembangan Potensi Energi Alternatif dengan Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan di Kabupaten Kotawaringin Timur. Jurnal Ilmu Lingkungan,14(2),96-102, doi:10.14710/jil.14.2.96-102

1. PENDAHULUAN

Hutan bakau atau disebut juga hutan mangrove adalah hutan yang tumbuh di rawa-rawa berair payau yang terletak pada garis pantai dan dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Hutan mangrove ini bertumbuh pesat memenuhi tempat dimana terjadi pelumpuran dan akumulasi bahan organik. Baik di daerah yang terlindung dari gempuran ombak, maupun di sekitar muara sungai dimana arus laut lemah dan mengendapkan lumpur yang dibawa dari hulu sungai.

Energi mempunyai peranan penting dalam pencapaian tujuan sosial, ekonomi dan lingkungan untuk pembangunan berkelanjutan serta merupakan pendukung bagi kegiatan ekonomi nasional. Penggunaan energi di Indonesia meningkat pesat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Sedangkan akses ke energi yang andal dan terjangkau merupakan prasyarat utama untuk meningkatkan standar hidup masyarakat.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Keterbatasan akses ke energi komersial telah menyebabkan pemakaian energi per kapita masih rendah dibandingkan dengan negara lainnya. Konsumsi per kapita pada saat ini sekitar 3 SBM yang setara dengan kurang lebih sepertiga konsumsi per kapita rata-rata negara ASEAN. Dua pertiga dari total kebutuhan energi nasional berasal dari energi komersial dan sisanya berasal dari biomassa yang digunakan secara tradisional (non-komersial). Sekitar separuh dari keseluruhan rumah tangga belum terjangkau dengan sistem elektrifikasi Nasional.

Penggunaan BBM meningkat pesat, terutama untuk transportasi, yang sulit digantikan oleh jenis energi lainnya. Ketergantungan kepada BBM masih tinggi, lebih dari 60 persen dari konsumsi energi final. Pembangkitan tenaga listrik di beberapa lokasi tertentu masih mengandalkan BBM karena pada waktu yang lalu harga BBM masih relatif murah (karena di subsidi), jauh dari sumber batubara, jaringan pipa gas bumi masih terbatas, lokasi potensi tenaga air yang jauh dari konsumen dan pengembangan panas bumi serta energi terbarukan lain yang relatif masih lebih mahal.

Kebutuhan energi dalam negeri selama ini dipasok dari produksi dalam negeri dan sebagian dari impor, yang pangsanya cenderung meningkat. Komponen terbesar dari impor energi adalah minyak bumi dan BBM. Kemampuan produksi lapangan minyak bumi semakin menurun sehingga membatasi tingkat produksinya. Dalam satu dekade terakhir, kapasitas produksi kilang BBM dalam negeri tidak bertambah, sedangkan permintaan BBM di dalam negeri meningkat dengan cepat. Pada tahun 2005 peranan minyak bumi impor untuk kebutuhan bahan baku kilang BBM sudah mencapai 40 persen sedangkan peranan BBM impor untuk pemakaian dalam negeri mencapai 32 persen.

Mengapa energi terbarukan? Energi Terbarukan harus segera dikembangkan secara nasional bila tetap tergantungan energi fosil, ini akan menimbulkan setidaknya tiga ancaman serius yakni:

1) Menipisnya cadangan minyak bumi yang diketahui (bila tanpa temuan sumur minyak baru)
2) Kenaikan/ketidakstabilan harga akibat laju permintaan yang lebih besar dari produksi minyak, dan
3) Polusi gas rumah kaca (terutama CO) akibat pembakaran bahan bakar fosil.

Kadar CO saat ini disebut sebagai yang tertinggi selama 125 tahun belakangan [2]. Bila ilmuwan masih memperdebatkan besarnya cadangan minyak yang masih bisa dieksplorasi, efek buruk CO terhadap pemanasan global telah disepakati hampir oleh semua kalangan. Hal ini menimbulkan ancaman serius bagi kehidupan makhluk hidup di muka bumi. Oleh karena itu, pengembangan dan implementasi bahan bakar terbarukan yang ramah lingkungan perlu mendapatkan perhatian serius

Perkembangan bisnis dan investasi kelapa sawit dalam beberapa tahun terakhir mengalami pertumbuhan yang sangat pesat. Permintaan atas minyak nabati dan penyediaan biofuel telah mendorong peningkatan permintaan minyak nabati yang bersumber dari crude palm oil (CPO) yang berasal dari kelapa sawit. Hal ini disebabkan tanaman kelapa sawit memiliki potensi menghasilkan minyak sekitar 7 ton/hektar lebih tinggi dibandingkan dengan kedelai yang hanya 3 ton/hektar. Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam pengembangan perkebunan dan industri kelapa sawit karena memiliki potensi cadangan lahan yang cukup luas, ketersediaan tenaga kerja, dan kesesuaian agroklimat. Luas perkebunan kelapa sawit pada tahun 2007 sekitar 6,8 juta hektar (Heriyadi, 2009). Dari luas tersebut sekitar 60 % diusahakan oleh perkebunan besar dan sisanya diusahakan oleh perkebunan rakyat (Soetrisno, 2008).

Kabupaten Kotawaringin Timur memiliki potensi perkebunan dengan jumlah perusahaan perkebunan besar swasta hampir 60 perusahaan besar swasta dan hampir 50% dari jumlah tersebut telah memiliki pabrik pengolahan kelapa sawit. Pada kenyataannya limbah kelapa sawit yang ada masih belum dapat dimanfaatkan secara optimal, diantaranya sebagai sumber pembangkit energi alternatif, terutama sebagai sumber energi alternatif bagi daerah-daerah perdesaan yang belum terjangkau jaringan listrik yang dikelola oleh pemerintah (PLN) selama ini. Tulisan ini merupakan gagasan dari melimpahnya limbah cair yang ada di Kabupaten Kotawarngin Timur yang belum di maksimalkan penggunaannya berkaitan dengan kemandirian energi dari sumber energi baru terbarukan.

2. Perkebunan Kelapa Sawit dan Biogas

Salah satu potensi perkebunan yang cukup besar didapatkan dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS), yang mengolah Tandan Buah Segar (TBS) Kelapa Sawit menjadi *Crude Palm Oil (CPO)*. Dalam proses pengolahannya, PKS menghasilkan limbah biomassa dengan jumlah yang cukup besar dalam bentuk limbah organik berupa tandan kosong kelapa sawit (Tankos), cangkang dan sabut, serta limbah cair (*palm oil mill effluent*/POME).

Seperti peta konversi di atas, pada umumnya cangkang dan sabut dikonversi menjadi energi panas dengan dibakar di dalam boiler untuk menghasilkan uap (*steam*) bertekanan. Uap tersebut selanjutnya dikonversi kembali menjadi energi listrik melalui turbin generator dan sisanya digunakan untuk proses pengolahan kelapa sawit. Limbah biomassa yang lain, yaitu tankos dan POME sebenarnya juga memiliki potensi energi yang tinggi, namun pada umumnya belum dimanfaatkan secara optimal. POME diurai di kolam limbah sedangkan tankos biasanya disebarkan ke lahan dan dibiarkan membusuk secara alami. Proses pembusukan biomassa ini akan menghasilkan biogas dengan kandungan utama (62%) gas methana (CH_4). Gas ini muncul sebagai akibat dari proses perombakan senyawa-senyawa organik secara anaerobik.

© 2016, Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana UNDIP

Gas methana tersebut ternyata juga memiliki tingkat emisi yang tinggi. UNFCCC, badan PBB yang menangani perubahan iklim, mencatat gas methana memiliki tingkat emisi 24 kali jika dibandingkan dengan gas karbon (CO_2). Di sisi lain, gas methana ini juga memiliki tingkat energi yang cukup tinggi. Gas methana ini memiliki nilai kalor 50,1 MJ/kg. Jika densitas methana 0,717 kg/m^3 maka 1 m^3 gas methana akan memiliki energi setara dengan 35,9 MJ atau sekitar 10 kWh. Jika kandungan gas methana adalah 62% dalam biogas, maka 1 m^3 biogas akan memiliki tingkat energi sebesar 6,2 kWh. Melihat potensi tersebut sangat disayangkan jika gas-gas yang dihasilkan dari penguraian biomassa tersebut dibiarkan begitu saja. Untuk dapat memanfaatkan potensi biogas tersebut, terdapat beberapa teknologi yang dapat diterapkan.

3. Palm Oil Mill Effluent (POME)

Teknologi yang telah banyak digunakan untuk mengambil biogas dari POME adalah *Covered Lagoon*. Teknologi ini dilakukan dengan menutup kolam limbah konvensional dengan bahan *reinforced polypropylene* sehingga berfungsi sebagai *anaerobic digester*. Biogas akan tertangkap dan terkumpul di dalam cover.

Dengan teknologi ini, akan dihasilkan biogas sebanyak ±20 m^3/ton TBS. Jadi jika kapasitas PKS sebesar 30 ton TBS/jam akan menghasilkan biogas ±600 m^3/jam, atau setara dengan energi sebesar 3.720 kWh. Jika energi tersebut digunakan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan gas engine (efisiensi 35%) maka akan dapat dibangkitkan listrik sebesar 1.303 kWh atau 1,3 MW.

Jika dihitung secara ekonomi, dengan asumsi pembangkit beroperasi selama 300 hari/tahun dan 24 jam/hari dan harga ditetapkan Rp. 975/kWh, sesuai permen ESDM (04/2012) untuk pulau Jawa, maka terdapat potensi pendapatan sebesar Rp. 9,15 M/tahun.

Teknologi yang berbeda adalah dengan menggunakan *anaerobic digester*. Teknologi ini lebih efektif baik dalam pengolahan limbah POME sehingga akan dihasilkan biogas dalam jumlah yang lebih besar. Pengolahan POME dilakukan dengan membuat instalasi anaerobic digester seperti yang terlihat pada skema gambar 4. Komponen utama teknologi ini adalah sebuah reaktor yang senantiasa terkontrol. Dengan demikian proses penguraian senyawa organik secara anaerobic dapat diatur, baik komposisi, mikrobia maupun termperaturnya untuk mendapatkan hasil yang maksimal dengan tingkat BOD yang lebih rendah dari 100 mg/l.

Biogas yang dihasilkan ±28 m3/ton TBS. Jadi jika kapasitas PKS sebesar 30 ton TBS/jam akan dihasilkan biogas ±840 m^3/jam, atau setara dengan energi sebesar 5.208 kWh. Energi listrik yang dapat dibangkitkan dengan gas engine (efisiensi 35%) adalah sebesar 1.822 kWh, atau 1,8 MW. Dengan asumsi yang sama, maka potensi pendapatan adalah sebesar Rp. 12,8 M/tahun.

Dengan potensi yang cukup besar tersebut diharapkan sektor perkebunan mulai tertarik untuk berkontribusi dalam kemandirian energi. Maka menjadi penting bahwa sektor energi menjadi salah satu aksi korporasi yang cukup strategis untuk diterapkan di industri perkebunan Indonesia.

4. Operasional Unit Pemanfaatan Biogas

Metode pengolahan limbah dapat dilakukan secara fisika, kimia, dan biologi. Pengolahan limbah secara kimia dilakukan dengan proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan flotasi. Proses kimia sering kurang efektif *karena* pembelian bahan kimianya yang cukup tinggi dan menghasilkan sludge dengan volume yang cukup besar. Sedangkan pengolahan limbah secara biologis dapat dilakukan dengan proses aerob dan anaerob.

Secara konvensional pengolahan limbah cair PMKS dilakukan secara biologis dengan menggunakan kolam, yaitu limbah cair diproses dalam kolam aerobik dan anaerobik dengan memanfaatkan mikrobia sebagai perombak BOD dan menetralisir keasaman cairan limbah.

Pengolahan limbah cair PMKS secara konvesional banyak dilakukan oleh pabrik karena teknik tersebut cukup sederhana dan biayanya lebih murah. Namun pengolahan dengan cara tersebut membutuhkan lahan yang luas untuk pengolahan limbah. Dengan kapasitas 30 ton TBS/jam, maka dibutuhkan sekitar 7 hektar lahan untuk pengolahan limbah. Selain itu efisiensi perombakan limbah cair PMKS hanya 60-70 % dengan waktu retensi yang cukup lama yaitu 120-140 hari. Kolam-kolam limbah konvensional akan mengeluarkan gas methan (CH4) dan karbon dioksida (CO2) yang membahayakan karena merupakan emisi penyebab efek rumah kaca yang berbahaya bagi lingkungan. Disamping itu kolam-kolam pengolahan limbah sering mengalami pendangkalan, sehingga baku mutu limbah tidak tercapai.

Pengolahan limbah cair PMKS dengan menggunakan digester anaerob dilakukan dengan mensubtitusi proses yang terjadi di kolam anaerobik pada sistem konvensional kedalam tangki digester. Tangki digester berfungsi menggantikan kolam anaerobik yang dibantu dengan pemakaian bakteri mesophilic dan thermophilic (Naibaho, 1996). Kedua bakteri ini termasuk bakteri methanogen yang merubah substrat dan menghasilkan gas methan.

Fermentasi anaerobik dalam proses perombakan bahan organik yang dilakukan oleh sekelompok mikrobia anaerobik fakultatif maupun obligat dalam satu tangki digester (reaktor tertutup) pada suhu 35-55 0C. Metabolisme anaerobik selulose melibatkan banyak reaksi kompleks dan prosesnya lebih sulit daripada reaksi-reaksi anaerobik bahan-bahan organik lain seperti karbohidrat, protein, dan lemak. Bidegradasi tersebut melalui beberapa tahapan yaitu proses hidrolisis, proses asidogenesis, proses asetogenesis, dan proses methanogenesis. Proses hidrolisis berupa proses dekomposisi

© 2016, Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana UNDIP

biomassa kompleks menjadi gkukosa sederhana memakia enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme sebagai katalis. Hasilnya biomassa menjadi dapat larut dalam air dan mempunyai bentuk yang lebih sederhana. Proses asidogenesis merupakan proses perombakan monomer dan oligomer menjadi asam asetat, CO2, dan asam lemak rantai pendek, serta alkohol. Proses asidogenesis atau fase non methanogenesis menghasilkan asam asetat, CO2, dan H2. Sementara proses methanogensesis merupakan perubahan senyawa-senyawa menjadi gas methan yang dilakukan oleh bakteri methanogenik. Salah satu bakteri methanogeneik yang populer dalam Methanobachillus omelianskii.

Proses biokonversi methanogenik merupakan proses biologis yang sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan baik lingkungan biotik maupun abiotik. Faktor biotik meliputi mikroba dan jasad aktif. Faktor jenis dan konsentrasi inokulum sangat berperan dalam proses perombakan dan produksi biogas. Hasil penelitian Mahajoeno, dkk (2008) mengungkapkan inokulum LKLM II-20% (b/v) dengan substrat 15 L, diperoleh produksi biogas paling baik dibandingkan konsentrasi lainnya dimana produksi biogasnya mencapai 121 liter.

Sedangkan faktor abiotik meliputi pengadukan (agitasi), suhu, tingkat keasaman (pH), kadar substrat, kadar air, rasio C/N, dan kadar P dalam substrat, serta kehadiran bahan toksik (Mahajoeno, dkk, 2008). Diantara faktor abiotik di atas, faktor pengendali utama produksi biogas adalah suhu, pH, dan senyawa beracun.

Kehidupan mikroba dalam cairan memerlukan keadaan lingkungan yang cocok antara lain pH, suhu, dan nutrisi. Derajat keasaman pada mikroba yaitu antara pH 5-9. Oleh karena itu limbah cair PMKS yang bersifat asam (pH 4-5) merupakan media yang tidak cocok untuk pertumbuhan bakteri, maka untuk mengaktifkan bakteri cairan limbah PMKS tersebut harus di netralisasi. Penambahan bahan penetral pH dapat meningkatkan produksi biogas. Namun keasaman nya dibatasi agar tidak melebihi pH 9, karena pada pH 5 dan pH 9 dapat menyebabkan terganggunya enzim bakteri (enzim teridir dari protein yang dapat mengkoagulasi pada pH tertentu). Peningkatan pH optimum akan memacu proses pembusukan sehingga meningkatkan efektifitas bakteri methanogenik dan dapat meningkatkan produksi biogas. Mahajoeno, dkk (2008) menyatakan menunjukkan bahwa pH substrat awal 7 memberikan peningkatan laju produksi biogas lebih baik dibandingkan dengan perlakuan pH yang lain

Peningkatan suhu juga dapat meningkatkan laju produksi biogas. Mikroba menghendaki suhu cairan sesuai dengan jenis mikroba yang dikembangkan. Berdasarkan sifat adaptasi bakteri terhadap suhu dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) bagian (Naibaho, 1996) yaitu :

- Phsycrophill, yaitu bakteri yang dapat hidup aktif pada suhu rendah yaitu 10 ^{0}C, bakteri ini ditemukan pada daerah-daerah sub tropis.
- Mesophill, yaitu bakteri yang hidup pada suhu 10-50 ^{0}C dan merupakan jenis bakteri yang paling banyak dijumpai pada daerah tropis.
- Thermophill, yaitu bakteri yang tahan panas pada suhu 50-80 0C. bakteri ini banyak dijumpai pada tambang minyak yang berasal dari perut bumi.

Perombakan limbah dapat berjalan lebih cepat pada penggunaan bakteri thermophill. Suhu yang tinggi dapat memacu perombakan secara kimiawi, perombakan yang cepat akan dimanfaatkan oleh bakteri metahonogenik untuk menghasilkan gas methan, sehingga dapat produksi biogas. Peningkatan suhu sebesar 40 0C dapat menghasilkan 68,5 liter biogas (Mahajoeno, dkk, 2008).

Limbah cair mengandung karbohidrat, protein, lemak, dan mineral yang dibutuhkan oleh mikroba. Komposisi limbah perlu diperbaiki dengan penambahan nutrisi seperti untur P dan N yang diberkan dalam bentuk pupuk TSP dan urea. Jumlah kandungan bahan makanan dalam limbah harus dipertahankan agar bakteri tetap berkembang dengan baik. Jumlah lemak yang terdapat dalam limbah akan mempengaruhi aktivitas perombak limbah karbohidrat dan protein. Selain kontinuitas makanan juga kontak antara makanan dan bakteri perlu berlangsung dengan baik yang dapat dicapai dengan melakukan agitasi (pengadukan). agitasi juga berpengaruh terhadap produksi biogas. Pemberian agitasi berpengaruh lebih baik dibandingkan tanpa agitasi dalam peningkatan laju produksi gas. Dengan agitasi substrat akan menjadi homogen, inokulum kontak langsung dengan substrat dan merata, sehingga proses perombakan akan lebih efektif. Agitasi dimaksudkan agar kontak antara limbah cair PMKS dan bakteri perombak lebih baik dan menghindari padatan terbang atau mengendap. Agitasi pada 100 rpm dapat meningkatkan produksi biogas.

Reaksi perombakan anaerobik tidak menginginkan kehadiran oksigen, karena oksigen akan menonaktifkan bakteri. Kehadiran oksigen pada limbah cair dapat berupa kontak limbah dengan udara. Kedalaman reaktor akan mempengaruhi reaksi perombakan. Semakin dalam reaktor akan semakin baik hasil perombakan.

Kehadiran bahan toksik juga menghambat proses produksi biogas. Kehadiran bahan toksik ini akan menghambat aktivitas mikroorganisme untuk melakukan perombakan. Maka untuk memperoleh produksi biogas yang baik, kehadiran bahan toksik harus dicegah.

Hasil produksi biogas juga ditentukan oleh faktor waktu fermentasi. Hal ini disebabkan untuk melakukan perombakan anaerob terdiri atas 4 (empat) tahapan. Untuk itu setiap proses membutuhkan waktu yang cukup. Pengaruh waktu fermentasi memberikan hasil yang berbeda pada produksi biogas. Semakin lama proses fermentasi, maka akan semakin tinggi produksi biogas.

© 2016, Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana UNDIP

Ahmad (2003) menyatakan parameter kinetik merupakan dasar penting dalam desain bioreaktor terutama konstanta laju pertumbuhan mikroba maksimum dan menentukan waktu tinggal biomassa minimum. Parameter kinetik biodegradasi anerob limbah cair PMKS optimum diperoleh pada konstanta setengah jenuh (Ks) 1,06 g/L, laju pertumbuhan spesifik maksimum (µm) 0,187 / hari, perolan biomassa (Y) 0,395 gVSS/gCOD, konstanta laju kematian mikroorganisme (Kd) 0,027 / hari, dan konstanta pemanfaatan substat maksimum (k) 0,474 / hari.

Potensi biogas yang dihasilkan dari 600-700 kg limbah cair PMKS dapat diproduksi sekitar 20 m3 biogas (Goenadi, 2006) dan setiap m3 gas methan dapat diubah menjadi energi sebesar 4.700 – 6.000 kkal atau 20-24 MJ (Isroi, 2008). Sebuah PMKS dengan kapasitas 30 ton TBS/jam dapat menghasilkan tenaga biogas untuk energi setara 237 KwH (Naibaho, 1996).

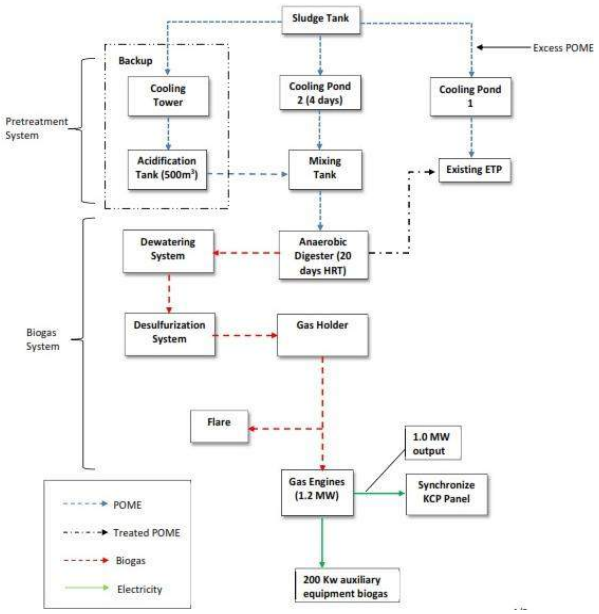
Selain menghasilkan biogas, pengolahan limbah cair dengan proses digester anaerobik dapat dilakukan pada lahan yang sempit dan memberi keuntungan berupa penurunan jumlah padatan organik, jumlah mikroba pembusuk yang tidak diinginkan, serta kandungan racun dalam limbah. Di samping itu juga membantu peningkatan kualitas pupuk dari sludge yang dihasilkan, karena sludge yang dihasilkan berbeda dari sludge limbah cair PMKS biasa yang dilakukan melalui proses konvensional (Tobing, 1997). Kelebihan tersebut adalah :

- Penurunan kadar BOD bisa mencapai 80-90 %.
- Baunya berkurang sehingga toidak disukai lalat.
- Berwarna coklat kehitam-hitaman.
- Kualitas sludge sebagai pupuk lebih baik, yaitu :
  - Memperbaiki struktur fisik tanah
  - Meningkatkan aerasi, peresapan, retensi, dan kelembaban
  - Meningkatkan perkembangbiakan dan perkembangan akar
  - Meningkatkan kandungan organik tanah, pH, dan kapasitas tukar kation tanah, dan
  - Meningkatkan populasi mikroflora dan mikrofauna tanah maupun aktivitasnya.

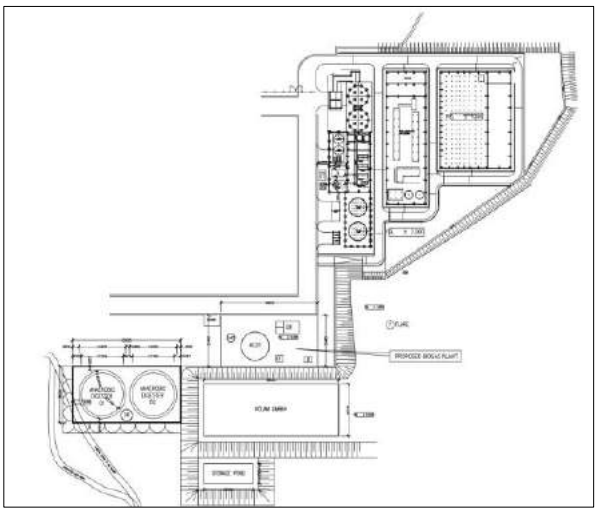
Secara umum diagram alir proses pemanfaatan limbah cair kelapa sawit yang di ambil gas methane untuk menjadi biogas dan menghasilkan energi listrik digambarkan pada Gambar 1.

5. Operasional Genset Berbahan Bakar Biogas

Biogas mengandung beberapa komponen yaitu CO2, sekitar 25% sampai 50% per volume, akibat yang ditimbulkan kandungan CO2 yaitu menurunkan nilai kalori, meningkatkan jumlah methane dan anti knock pada engine, menyebabkan korosi (kurangnya kandungan karbon acid)jika gas dalam keadaan basah, serta merusak alkali dalam baan bakar biogas ini. H2S, sekitar 0 sampai 0,5%, akibat yang ditimbulkan kandungan H2S yaitu : mengakibatkan korosi pada peralatan dan system perpipaan (stress corrosion) oleh karena itu banyak produsen mesin menetapkan batas maksimal H2S yang terkandung hanya 0,05% saja. NH3, sekitar 0-0,05%, emisi NOx setelah pembakaran merusak kandungan bahan bakar biogas ini, dan meningkatkan sifat anti-knock pada engine. Uap air, sekitar 1-5%, dapat menyebabkan korosi, risiko pembekuan, pada peralatan, instrument, plant dan system perpipaan.



Gambar 1. Contoh Salah Satu Diagram alir Unit Pengolahan biogas



Gambar 2. Contoh Layout Unit Pengolahan Biogas PT. Laguna Mandiri.

Debu / Dust, sekitar >5µm, mengakibatkan terhalangnya nozzle, dan kandungan biogas. N2, sekitar 0-5%, akibat yang ditimbulkan yaitu mengurangi kandungan nilai kalori, dan meningkatkan anti-knock pada engine. Siloxanes, sekitar 0-5mg m-3 , mengakibatkan terjadinya abrasive dan kerusakan pada mesin.

Perubahan biogas menjadi energi listrik dilakukan dengan memasukkan gas dalam tabung penampungan kemudian masuk ke conversion kit yang berfungsi menurunkan tekanan gas dari tabung

© 2016, Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana UNDIP

sesuai dengan tekanan operasional mesin dan mengatur debit gas yang bercampur dengan udara di dalam mixer, dari mixer bahan bakar bersama dengan udara masuk kedalam mesin dan terjadilah pembakaran yang akan menghasilkan daya untuk menggerakkan generator yang menghasilkan energi listrik. Karakteristik pembakaran yang terjadi pada mesin diesel berbeda dengan pembakaran pada mesin bensin.

- Karakteristik pembakaran biogas di dalam mesin diesel

Bahan bakar biogas membutuhkan rasio kompresi yang tinggi untuk proses pembakaran sebab biogas mempunyai titik nyala yang tinggi 645° C – 750°C dibandingkan titik nyala solar 220°C, maka mesin diesel umumnya digunakan secara dualfuel dengan rasio kompresi sekitar 15 – 18. Proses pembakaran pada mesin dualfuel, bahan bakar biogas dan udara masuk ke ruang bakar pada saat langkah hisap dan kemudian dikompresikan di dalam silinder seperti halnya udara dalam mesin diesel biasa. Bahan bakar solar dimasukkan lewat nosel pada saat mendekati akhir langkah kompresi, dekat titik mati atas (TMA) sehingga terjadi pembakaran.

Temperatur awal kompresi tidak boleh lebih dari 80 °C karena akan menyebabkan terjadinya knocking dan peristiwa knocking yang terjadi pada mesin dualfuel hampir sama dengan yang terjadi pada mesin bensin, yaitu terjadinya pembakaran yang lebih awal akibat tekanan yang tinggi dari mesin diesel. Hal ini disebabkan karena bahan bakar biogas masuk bersama-sama dengan udara ke ruang bakar, sehingga yang dikompresikan tidak hanya udara tapi juga biogas

- Karakteristik pembakaran biogas di dalam mesin bensin

Mesin bensin dengan rasio kompresi yang hanya berkisar antara 6 – 9,5 tidak cukup untuk melakukan pembakaran biogas karena titik nyala biogas yang tinggi 645°C - 750 °C, untuk itu dilakukan penambahan rasio kompresi mesin menjadi 10 – 12. Proses pembakaran biogas sama seperti pada mesin bensin normal, yaitu biogas dan udara masuk ke ruang bakar dan pada akhir langkah kompresi terjadi pembakaran, pembakaran ini terjadi karena bantuan loncatan bunga api dari busi.

6. Perkebunan di Kabupaten Kotawaringin Timur

Kabupaten Kotawaringin Timur merupakan salah satu dari 13 kabupaten/kota yang ada di Propinsi Kalimantan Tengah. Secara geografis berkedudukan pada 112°7’ 29” - 113° 14’ 22” Bujur Timur dan 1° 11’ 504” - 3° 18’ 51” Lintang Selatan, dengan luas wilayah 16.496 Km

Potensi sektor tanaman perkebunan di Kabupaten Kotawaringin Timur meliputi karet, kelapa dalam, kopi, lada dan kelapa sawit. Untuk tanaman perkebunan rakyat, karet dan kelapa dalam merupakan komoditas yang memiliki luas terbesar. Kelapa dalam terkonsentrasi di wilayah pesisir Kabupaten Kotawaringin Timur dengan Kecamatan Mentaya Hilir Selatan mempunyai luas terbesar diikuti Kecamatan Pulau Hanaut. Untuk perkebunan karet terutama berkembang di wilayah tengah sampai utara Kabupaten Kotawaringin Timur dengan luas terbesar di Kecamatan Mentaya Hulu. Untuk perkebunan kelapa sawit diusahakan oleh perkebunan besar swasta dengan pola inti atau plasma dengan kelompok tani atau Koperasi Unit Desa (KUD). Di Kabupaten Kotawaringin Timur Terdapat 60 PBS kelapa sawit dengan luas lahan pencadangan total mencapai 681.415,16 Ha dan luas lahan penanaman total mencapai 461.237,3 Ha, yang terdiri atas inti seluas 404.360,7 Ha dan plasma seluas 56.876,6 Ha. Dari 60 PBS yang telah beroperasi tersebut, terdapat 25 PBS yang telah memiliki pabrik pengolahan kelapa sawit, dimana 10 diantaranya berada di lintas kabupaten dengan total kapasitas produksi mencapai 1.490 ton TBS/jam.

Tabel 1. Perusahaan PBS yang Memiliki Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit di Kabuopaten Kotawaringin Timur per Deember 2014

No	Nama Perusahaan	Kapasitas Pabrik PKS (ton TBS/jam)
1.	PT. Karya Makmur Bahagia	75
2.	PT. Karya Makmur Bahagia (II)	45
3.	PT. Katingan Indah Utama	90
4.	PT. Uni Primacom	20
5.	PT. Suka Jadi Sawit Mekar (I)	90
6.	PT. Sukajadi Sawit Mekar (II)	45
7.	PT. Tunas Agro Subur Kencana	120
8.	PT. Windu Nabatindo Lestari	90
9.	PT. Swadaya Sapta Putra	45
10.	PT. Sapta Karya Damai	30
11.	PT. Bangkit Giat Usaha Mandiri	45
12.	PT. Maju Aneka Sawit	45
13.	PT. Sarana Prima Multi Niaga	45
14.	PT. Agro Bukit	90
15.	PT. Bumi Sawit Kencana	45
16.	PT. Surya Inti Sawit Kahuripan	60
17.	PT. Mentaya Sawit Mas	45
18.	PT. Hutan Sawit Lestari	90
19.	PT. Unggul Lestari	45
20.	PT. Windu Nabatindo Abadi	60
21.	PT. Adhyaksa Dharmasatya	30
22.	PT. Agro Wana Lestari	90
23.	PT. Karunia Kencana Permaisejati	45
24.	PT. Mulia Agro Permai	60
25	PT. Intiga Prabhakara Kahuripan	45
	TOTAL KOTIM	**1.490**
1.	PT. Agro Indomas (I) *)	90
2.	PT. Agro Indomas (II) *)	90
3.	PT. Kridatama Lancar *)	60
4.	PT. Bisma Dharma Kencana *)	30
5.	PT. Mustika Sembuluh (I) *)	60
6.	PT. Mustika Sembuluh (II) *)	45
7.	PT. Teguh Sempurna *)	30
8.	PT. Bumi Hutani Lestari *)	60
9.	PT. Tapian Nadenggan (Unit Semilar) *)	80
10.	PT. Agrokarya Primalestari (Unit Kuayan) *)	80
	TOTAL LINTAS KABUPATEN	**625**

*) : Lintas Kabupaten

Sumber : Dinas Perkebunan Provinsi Kalimantan Tengah, tahun 2014

© 2016, Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana UNDIP

Sebanyak 25 perusahaan yang telah memiliki pabrik pengolahan kelapa sawit dengan kapasitas olah Tandan Buash Segar mencapai 1.490 ton TBS/jam dan 10 pabrik pengolahan kelapa sawit berada di lintas kabupaten Kotawaringin Timur dengan total kapasitas olah pabrik sebesar 625 ton TBS /jam, dengan asumsi material balance selama proses produksi tandan buah segar kelapa sawit secara umum dimana limbah cair yang dihasilkan adalah sebesar 60% dari total proses produksi. Dengan demikian jumlah kapasitas pabrik total di Kabupaten Kotawaringin Timur sebesar 2.115 ton TBS/jam, maka limbah cair yang dihasilkan adalah sebesar 1.269 ton limbah cair/jam dihasilkan selam proses produksi berlangusng. Dengan potensi limbah cair kelapa sawit yang bisa menghasilkan biogas sangat besar. Dimana beradasarkan asumsi bahwa setiap 600 – 700 kg limbah cair yang dihasilkan dapat di produksi sekitar 20 m^3 biogas (Goenadi, 2006) maka potensi biogas yang ada di Kabupaten Kotawaringin Timur adalah sebesar 42.300 m^3 biogas. Dengan besarnya potensi biogas yang dihasilkan tersebut pemerintah kabupaten Kotawaringin Timur berpeluang besar untuk melakukan pengembangan penggunaan energi baru terbarukan yang berasal dari Limbah Cair Kelapa Sawit. Yang pada akhirnya akan meningkatkan rasio eletrifikasi yang saat ini hanya sebesar 60%.

7. Penutup

Dengan meningkatnya kebutuhan energi di Kabupaten Kotawaringin Timur, dengan berkembang pesatnya potensi ekonomi dari sektor pertanian subsektor perkebunan, maka penggunaan energi baru terbarukan sangat penting untuk dikembangkan. Mengingat kondisi pembangunan energi listrik yang belum merata, maka kebutuhan pasokan energi listrik bagi daerah terpencil dan tersebar di Kabupaten Kotawaringin Timur, hendaknya pemerintah Daerah mendorong pihak perusahaan besar swasta yang bergerak di bidang perkebunan kelapa sawit untuk bisa memanfaatkan energi yang berasal dari limbah cair kelapa sawit yang melimah keberadaanya.

Dengan Total kapasitas pabrik di Kabupaten Kotawaringin Timur sebesar 2.115 ton TBS/jam, maka limbah cair yang bisa di manfaatkan adalah sebsar 1.269 ton limbah cari/jam dan mampu menghasilkan biogas sebesar 1.269.000 m^3.

Diperlukan adanya perhitungan dan kajian yang lebih mendalam berapa besar potensi limbah cair kelapa sawit yang dapat di manfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi di Kabupaten Kotawaringin Timur.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. (2015) Dokumen Addendum AMDAL Pemanfaatan Biogas PT. Laguna Mandiri Kab. Kotabaru, Provinsi Kalimantan Selatan

Anonim. (2012). Materi Teknik RTRW Kabupaten Kotawaringin Timur Tahun 2012-2032. Bappeda Kab. Kotim

Brojonegoro, B., & Permadi, B. (1992). "AHP" Pusat Antar Universitas, Studi Ekonomi. Jakarta : UI

Budiati, Lilin. (2014). *Good Governance dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup.* Ghalia Indonesia. Bandung

Danim, S. (2002).Menjadi Peneliti Kualitatif. Pustaka Setia. Bandung.

Ginting, Perdana (2007). *Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri.* CV. Yrama Widya. Bandung.

Hariyadi. 2009. Dampak Ekologi Pengembangan Kelapa Sawit untuk Bioenergi. http:/energi.infogue.com/dampak_ekologi_pengembangan_kelapa_sawit _untuk_bioenergi. (17 Maret 2009).

Isroi. 2008. Energi Terbarukan dari Limbah Pabrik Kelapa Sawit. isroi.wordpress.com/2008/02/2005energi_dari_limbah_sawit/-70-k. (17 Maret 2009).

Keputusan Menteri KLH Nomor KEP 51/MEN KLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri.

Mahajoeno, Edwi, Lay, Bibiana Widiati, Sutjahjo, Suryo Hadi, dan Siswanto. 2008. Potensi Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit untuk Produksi Biogas. Jurnal Bioversitas Volume 9 No. 1.

Mutu'ali, L. ((2012). *Daya Dukung Lingkungan untuk Perencanaan Pengembangan Wilayah*. Badan Penerbit Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Naibaho, Ponten M. 1996. Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit, Medan : Pusat Penelitian Kelapa Sawit.

Naibaho, Ponten M. 1999. Aplikasi Biologi dalam Pembangunan Industri Berwawasan Lingkungan, Jurnal Visi 7.

Nazir, Moh. 2005. *Metode Penelitian*. Penerbit Ghalia Indonesia. Bogor

Sastrosayono, S., 2003. Budidaya Kelapa Sawit. Agromedia Pustaka, Jakarta.

Setyamidjaja, D. 2006. Budidaya Kelapa Sawit. Kanisius. Yogyakarta. 62 Hal.

Soerjani, Muhamad, Yowono, Arief, dan Fardiaz, Dedi. 2007. Lingkungan : Pendidikan, Pengelolaan Lingkungan, dan Keberlanjutan Pembangunan, Jakarta; Yayasan Institut Pendidikan dan Pelatihan Lingkungan Jakarta

Sunarko, 2008. Petunjuk Praktis Budidaya dan Pengolahan Kelapa Sawit. Agromedia Pustaka, Jakarta

Wahyuni, Sri. (2013). *Panduan Praktis Biogas.* Penebar Swadaya. Jakarta

© 2016, Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana UNDIP

PENGEMBANGAN TEKNIK KULTIVASI *Spirulina* sp. SEBAGAI SUMBER BIOMASSA ENERGI TERBARUKAN DALAM FOTOBIOREAKTOR *AIRLIFT*

The Development of Spirulina Sp. Cultivation Technique as A Renewable Energy Biomass Source in The Airlift Fotobioreactor

Fifin Hindarti dan Endah Ayuningtyas
Institut Teknologi Yogyakarta
Email: viendarti@ity.ac.id, EndahA25@gmail.com

Diterima: 28 April 2020; Diperiksa: 5 Mei 2020; Revisi: 22 Mei 2020; Disetujui: 9 Juni 2020

Abstract
The development of technology for the use of natural resources as fuel is increasing. One of them is the research of third generation biodisel. This technology utilizes microalgae as an environmentally friendly raw material which is also a renewable energy source for oil. Biodiesel from microalgae especially Spirulina sp. is one of the energy sources that can replace conventional diesel fuel which has potential for high lipid content. This study aims to develop a microalgae cultivation technology in an airlift photobioreactor by adjusting the light intensity of the LED lamp to obtain an optimal growth rate and increase the biomass production of Spirulina sp. The research was conducted on an intermediate scale using an airlift type photobioreactor with varying light intensity, namely 1600 lux, 2200 lux, and 3200 lux. Each treatment was carried out three times for 14 days. Measurement of biomass weight was calculated using the gravimetric method, by taking samples every 7 days. Based on the data obtained, the application of different light intensities to the spirulina sp. cultivation system will have an effect on the final result in harvesting day 14th, specifically the weight of the biomass produced. The average yield of biomass on day 14th with the best results was obtained at light intensity of 1600 as much as 623 mg / 100 ml.

Keywords: *biodisel, light intensity, microalgae, Spirulina* sp.

Abstrak
Pengembangan teknologi pemanfaatan sumber daya alam sebagai bahan bakar semakin meningkat. Salah satunya adalah penelitian biodisel generasi ketiga. Teknologi tersebut memanfaatkan mikroalga sebagai bahan baku minyak yang ramah lingkungan dan merupakan sumber energi yang bisa diperbaharui. Biodisel dari mikroalga menjadi salah satu sumber energi yang mampu menggantikan bahan bakar diesel konvensional Mikrolaga yang memiliki potensi kandungan lipid yang tinggi salah satunya adalah *Spirulina* sp. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi kultivasi mikroalga di dalam fotobioreaktor *airlift* dengan pengaturan intensitas cahaya dari lampu LED untuk memperoleh laju pertumbuhan yang optimal dan peningkatan hasil produksi biomassa *Spirulina* sp. Penelitian dilakukan pada skala intermediate menggunakan fotobioreaktor tipe *airlift* dengan memvariasi intensitas cahaya, yaitu 1600 lux, 2200 lux, dan 3200 lux. Setiap perlakuan dilakukan tiga kali pengulangan selama 14 hari. Pengukuran bobot biomassa dihitung menggunakan metode gravimetri, dengan mengambil sampel setiap 7 hari sekali. Berdasarkan data yang diperoleh bahwa pemberian intensitas cahaya yang berbeda pada sistem kultivasi spirulina sp akan memberikan pengaruh terhadap hasil akhir (pemanenan hari ke-14) yaitu berupa bobot biomassa yang dihasilkan. Hasil rata-rata perolehan biomassa pada hari ke-14 dengan hasil terbaik diperoleh pada intensitas cahaya 1600, sebanyak 623 mg/ 100 ml.

Kata kunci: biodisel, intensitas cahaya, mikroalga, *Spirulina* sp.

1. PENDAHULUAN

Sebagain besar aktifitas manusia mengandalkan bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang tak terbarukan (non-renewable energy). Tiga bahan bakar fosil yang dimaksud adalah minyak bumi, batu bara dan gas alam. Penggunaan minyak bumi, batu bara dan gas alam sebagai sumber energi masih menjadi prioritas utama di berbagai negara di dunia termasuk Indonesia. Dalam keterangan pada buku Outlook Energi Indonesia 2018, yang disusun oleh BPPT menyatakan bahwa Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan urutan kelima di Asia

PERPUSTAKAAN NASIONAL

Pasifik dalam konsumsi energi primer, setelah China, India, Jepang dan Korea Selatan.

Cadangan energi fosil kita semakin hari semakin berkurang sedangkan kebutuhannya terus meningkat. Perkiraan ekstrim menyebutkan, minyak bumi di Indonesia dengan tingkat konsumsi seperti saat ini akan habis dalam waktu 10 – 15 tahun lagi. Setiap hari jutaan barel minyak mentah bernilai jutaan dolar dieksploitasi tanpa memikirkan bahwa minyak tersebut merupakan hasil evolusi alam yang berlangsung selama ribuan, bahkan jutaan tahun yang tidak dapat terulang lagi pada masa mendatang (Sulaksono B., 2005).

Hingga saat ini masih terus dilakukan penelitian untuk dapat mengatasi permasalahan krisis energi, di antaranya adalah dengan mengembangkan penelitian di bidang energi terbarukan khususnya di bidang teknologi pengolahan biomassa menjadi sumber energi alternatif. Penelitian di bidang bioteknologi terus dikembangkan.

Beberapa tahun terakhir telah banyak dilakukan penelitian untuk mendapatkan sumber energi bahan bakar terbarukan pengganti bahan bakar yang berasal dari minyak bumi, Salah satunya adalah pengembangan mikroalga. Banyak hasil penelitian yang menunjukkan bahwa mikroalga memiliki potensi yang besar sebagai sumber bahan bakar terbarukan karena memiliki kandungan minyak yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar biodisel. Selain kandungan minyak yang dimiliki, mikroalga juga dikenal sebagai tumbuhan akuatik yang memiliki keunggulan dibandingkan sumber bahan bakar lainnya, antara lain: tidak membutuhkan lahan yang luas, mampu menghasilkan biomassa dengan sangat cepat, serta mampu memanfaatkan CO_2 dalam pertumbuhannya sehingga mengurangi pencemaran udara (Gultom, SO, 2018).

Biodisel adalah sebuah bahan bakar cair yang berasal dari minyak nabati dan lemak yang memiliki sifat pembakaran yang mirip dengan bahan bakar minyak diesel biasa (dari minyak bumi). Biodisel dapat diproduksi langsung dari minyak nabati, minyak atau lemak hewan dan minyak jelantah. Biodisel bersifat biodegradable, tidak beracun, dan memiliki emisi yang lebih sedikit daripada dari minyak diesel yang berbasis minyak bumi ketika dibakar. Biodisel merupakan bahan bakar alternatif yang mirip dengan minyak diesel (fosil) konvensional (Mahfud, 2018).

Biodisel adalah monoalkil ester dari minyak nabati atau lemak hewan. Keuntungan paling baik dari biodisel bila dibandingkan dengan petrodisel adalah biodisel merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan. Dengan karakteristik terbakar hampir sama dengan petrodisel, emisi yang dihasilkan dari pembakaran biodisel lebih sedikit dibanding petrodisel (Budiman, dkk, 2014).

Keuntungan dari biodisel adalah: (1) mempunyai efisien yang tinggi, mempunyai sifat fisik dan kimia sama dengan petrodisel, (2) biodisel merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (dengan sumber dari tumbuhan, hewan dan mikroalga maka akan sangat mudah untuk diperoleh kembali), (3) dapat digunakan untuk mengurangi sumber polusi udara, misal untuk penyerapan CO_2. Standar mutu biodisel sesuai peraturan dirjen migas No. 002/P/DM/MIGAS/1979 tanggal 25 Mei 1979 tentang spesifikasi bahan bakar minyak dan gas dan standar pengujian SNI (Standar Nasional Indonesia).

Produksi mikroalga bagi energi memberi lebih banyak manfaat dibandingkan dengan kelapa sawit yang jadi penghasil biodisel. Riset terbaru menunjukkan spesies tertentu dari mikroalga mampu menghasilkan 30 kali lebih banyak daripada kelapa sawit per hektar per tahun (LIPI, 2019). Pada mikroalga, biodisel diproduksi dari turunan minyak (lipid) yang dihasilkan oleh mikrolaga. Selain itu, produksi biodisel dari mikroalga lebih menjanjikan apabila dibandingkan dengan biodisel yang diproduksi dari tanaman pangan. Mikroalga memiliki laju pertumbuhan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan tanaman pangan (Budiman, dkk, 2019).

Mikroalga merupakan organisme yang memiliki ukuran renik yang dapat hidup pada perairan tawar maupun perairan asin (Kawaroe *et al.*, 2010). Mikroalga merupakan organisme fotoautotrof yang mampu memproduksi zat makanannya sendiri melalui proses fotosintesis (Janssen, 2002). Saat ini, mikroalga telah banyak dikaji untuk menghasilkan energi alternatif sepeti *biofue*l, *bioethanol*, *biohydrogen*, dan *biomethane* (Kawaroe *et al.*, 2010). Mikroalga disarankan sebagai sumber energi karena berbagai alasan, seperti tinggi kandungan minyak untuk beberapa *strain*, rendah konsumsi air dan bahkan dapat diproduksi pada tanah yang tidak subur sekalipun (Mascarelli, 2009). Selain menjadi sumber energi alternatif, mikroalga juga dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku pada industri farmasi, kosmetik, makanan, dan pakan hewan.

Mikroalga merupakan kelompok tumbuhan berukuran renik yang termasuk dalam kelas alga, diameternya antara 3-30 µm, baik sel tunggal maupun koloni yang hidup di seluruh wilayah perairan tawar maupun laut, yang lazim disebut fitoplankton. Mikroalga sendiri merupakan organisme autotrof yang tumbuh melalui proses fotosintesis. Struktur uniseluler mikroalga memungkinkan mengubah energi matahari menjadi energi kimia dengan mudah (Spolaore, P, et al. 2006). Mikroalga pun menjadi sebuah tanaman yang paling efisien dalam menangkap dan memanfaatkan energi matahari dan CO_2. Di dunia mikrobia, mikroalga termasuk eukariotik, umumnya bersifat fotosintetik dengan pigmen fotosintetik hijau (klorofil), coklat (fikosantin), biru kehijauan (fikobilin), dan merah (fikoeritrin) (Chen, C.Y. *et al.*, 2011). Morfologi mikroalga berbentuk uniseluler atau multiseluler tetapi belum ada pembagian tugas yang jelas pada sel-sel komponennya. Hal itulah yang membedakan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mikroalga dari tumbuhan tingkat tinggi (Harun dkk, 2010).

Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga, diantaranya faktor abiotik (cahaya matahari, temperatur, nutrisi, O_2, CO_2, pH, salinitas), faktor biotik (bakteri, jamur, virus, dan kompetisi dengan mikroalga lain), serta faktor teknik (cara pemanenan, dll). Mikroalga dapat tumbuh dengan sangat cepat pada kondisi iklim yang tepat. Umumnya, mikroalga menduplikasikan diri dalam jangka waktu 24 jam atau bahkan 3,5 jam selama fasa pertumbuhan eksponensial. Pertumbuhan mikroalga pun sangat dipengaruhi oleh konsentrasi gas CO_2 di dalam gas pencemar (Hadiyanto, 2014).

Keunggulan dari biomassa mikroalga adalah merupakan bahan bakar energi yang dapat diperbarui dan mempunyai kemampuan dalam pengurangan emisi gas CO_2 (Jorquera, O. Dkk, 2010). Mikroalga mempunyai produktivitas mengubah CO_2 menjadi karbohidrat, lemak dan protein yang jauh lebih efisien dibanding dengan tanaman darat (Scott, S.A. dkk, 2010). Pertumbuhannya relatif cepat dengan waktu pembelahan selnya sekitar 3,5 jam, memerlukan air lebih sedikit dan menghasilkan bahan baku biodisel 15-300 kali lebih cepat dibanding dengan tanaman darat (Chisti Y. 2007). Tingginya produktifitas mikroalga untuk menjadi sumber bahan biofuel yang ekonomis dan ramah lingkungan telah menarik perhatian kalangan pebisnis dan peneliti. Penelitian dalam skala laboratorium dan skala pilot plant tentang pemanfaatan mikroalga sebagai bahan baku biofuel telah banyak dilakukan (Batan, L. Dkk, 2010 dan Lardon L dkk, 2009).

Keuntungan mikroalga jika dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif telah diuraikan oleh Verma *et al.,* (2010) diantaranya yaitu: a) memiliki struktur sel yang sederhana dan kemampuan untuk mengendalikan sel tanpa mengurangi produktifitasnya, b) kemampuan berfotosintesis sangat tinggi, sekitar 3–8% sinar matahari mampu dikonversikan menjadi energi dibanding tanaman tingkat tinggi lainnya yang hanya sekitar 0,5%, c) memiliki siklus hidup yang pendek (±1–10 hari), d) kemampuan untuk mensintesis lemak sangat tinggi (± 40 – 86% berat kering biomassa), e) kemampuan bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrim (salinitas tinggi atau lingkungan yang tercemar), f) tidak banyak membutuhkan pupuk dan nutrisi, g) tidak bersaing dengan produk pangan.

Salah satu mikroalga yang saat ini telah dikembangkan dan terus diteliti untuk digunakan sebagai bahan baku biodisel adalah *Spirulina* sp. *Spirulina* sp. merupakan jenis mikroalga dengan kandungan minyak yang tinggi sehingga dapat dijadikan sebagai sumber bahan baku biodisel. Selain itu *Spirulina* sp. mudah untuk dibudidayakan dan mudah untuk dipanen karena ukuran selnya yang relatif lebih besar daripada mikrolaga lainnya sehingga dapat menjadi sumber alternatif energi terbarukan.

Strain Spirulina umum ditemukan secara alami di perairan beralkalinitas tinggi, yang mengandung karbonat atau bikarbonat. Sampai saat ini sudah diidentifikasi 35 spesies Spirulina. Ciri-ciri sel Spirulina ialah sebagai berikut: sel berbentuk silinder dan bersepta, berwarna biru kehijauan, diameter 6–8 µm (*S. platensis*), 4–6 µm (*S. maxima*), memunyai granula sitoplasma berisi gas. Sel membentuk filamen tidak bercabang berbentuk heliks, dengan ukuran 3–5 mm. Filamen motil, meluncur sepanjang aksisnya dan tidak ditemui heterosista. Kondisi pertumbuhan tertentu dapat menyebabkan perubahan pada bentuk spiralnya, diameter sel, maupun kandungan selnya. Menurut Kilic dkk (dalam Pramono, IA dkk, 2018), *Spirulina* sp merupakan salah satu jenis *cyanobacteria*/ alga hijau biru yang mudah dikembangbiakkan dibandingkan jenis mikroalga lainnya karena reproduksinya mudah dan memiliki produktifitas yang tinggi. Selain itu, menurut Adam dkk (dalam Pramono, IA dkk, 2018), mikroalga jenis ini mampu menghasilkan lipid yang lebih banyak pada kondisi lingkungan yang ekstrim sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biodisel. Untuk mendapatkan lipid tersebut maka diperlukan metode ekstraksi yang bermanfaat terhadap aspek lingkungan dan biaya yaitu dengan prinsip tekanan osmotik.

Produksi minyak dari alga yang mencapai 80.000 liter/ hektar kultur/ tahun merupakan jumlah yang lebih tinggi dari produksi minyak sawit. Minyak alga selanjutnya diolah menjadi biodisel (ITB, 2015).

Teknologi produksi mikroalga secara umum dibagi menjadi dua, yaitu sistem tertutup dan sistem terbuka. Sistem terbuka (*open raceway pond*) dioperasikan di luar ruangan dan bergantung pada cahaya matahari alami untuk penyinarannya. Sistem tertutup (fotobioreaktor) dapat dioperasikan di dalam atau di luar ruangan, namun biasanya diletakkan di luar ruangan, agar dapat memanfaatkan cahaya matahari (Ojamae, 2011).

Fotobioreaktor merupakan bioreaktor yang digabungkan dengan sumber cahaya tertentu untuk asupan energi cahaya ke dalam reaktor. Fotobioreaktor merupakan sistem tertutup yang lebih mudah dikontrol dan disesuaikan desainnya dengan lokasi pemasangan, dan lebih bisa mencegah kontaminasi, mencegah penguapan air dan CO_2, dan tidak memerlukan area yang luas. Dengan fotobioreaktor, produktifitas biomassa yang tinggi bisa 15 dicapai dan kontaminasi lebih mudah dihindari (Daniyati dkk, 2012).

Fotobioreaktor umumnya bersifat tertutup sehingga sistem tersebut dimaksudkan untuk mengatasi densitas sel yang rendah, isu kontaminasi, kehilangan air akibat penguapan, dan kebutuhan lahan yang luas. Fotobioreaktor sangat fleksibel dengan meletakkan di dalam ruangan dengan bantuan cahaya buatan atau di luar ruangan dengan bantuan cahaya matahari (Budiman, dkk, 2019).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan fotobioreaktor *airlift* sebagai tempat kultivasi

PERPUSTAKAAN NASIONAL

mikroalga *Spirulina* sp. dan selanjutnya melakukan kultivasi dengan fotobioreaktor *airlift* dengan pengaturan intensitas pencahayaan.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian dengan judul "Pengembangan Teknik Kultivasi *Spirulina* sp. Sebagai Sumber Biomassa Energi Terbarukan dalam Fotobioreaktor *Airlift*" dilaksanakan di Jetis Prenggan RT 04/ RW 19 Sidokarto Godean Sleman Yogyakarta. Proses kultivasi dan pengambilan data berlangsung selama 2 bulan, yaitu pada bulan Juli dan Agustus 2019. Bibit mikroalga berasal dari Nogotirto Algapark yang berlokasi di Nogotirto Gamping Sleman Yogyakarta.

Mikrolaga *Spirulina* sp. dikembangbiakkan di dalam fotobioreaktor tipe *airlift* skala intermediate sistem *batch*. Metode yang digunakan adalah eksperimental dengan kultur tiap intensitas cahaya yang berbeda dilakukan sebanyak 3 kali ulangan.

2.1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain mikroalga *Spirulina* sp., air, aquades, Alkohol 70%, pupuk SP, Urea, ZA, $NaHCO_3$, NaCl, kaporit dan natrium thiosulfat.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi fotobioreaktor *airlift*, tabung erlenmeyer, gelas beaker, gelas ukur, Mortir diameter 8 cm, aerator dan selang, lampu LED 8 watt, luxmeter, dan timbangan digital ketelitian 0,001.

2.2. Metode Penelitian

Penelitian ini meliputi beberapa tahap, yaitu :

2.2.1.Perbanyakan bibit mikroalga *Spirulina* sp.

Bibit mikroalga yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari Nogotirto Algapark yang berlokasi di Nogotirto Gamping Sleman Yogyakarta, untuk selanjutnya bibit diperbanyak. Cara memperbanyak bibit mikroalga tahap awal dilakukan dalam skala laboratorium, dalam tabung erlenmeyer 1000 ml. Mikroalga yang dikultivasi pada tahapan ini, diberikan nutrisi dan diberikan cahaya buatan dengan menggunakan lampu tipe LED tube 8 watt dengan intensitas cahaya sebesar 2200 lux. Selanjutnya dilakukan dalam skala lebih besar, dengan mengunakan ember volume 20 liter. Pada langkah ini telah diperoleh bibit mikroalga yang cukup dan siap untuk dibudidayakan dalam fotobioreaktor.

2.2.2. Kultivasi Semi Massal dalam Fotobioreaktor *Airlift* Skala *Intermediate*

Kultivasi dalam fotobioreaktor *airlift* menggunakan bibit dengan perbandingan 1 : 5, 1 untuk bibit dan 5 untuk air. Air yang dicampurkan merupakan air sumur yang nantinya dicampur dengan nutrisi. Air yang digunakan disterilisasi terlebih dahulu dengan menggunakan kaporit. Sterilisasi dilakukan dengan cara memasukan campuran air dan kaporit dimasukkan ke dalam fotobioreaktor kemudian aerator dihidupkan selama 24 jam.

Setelah proses sterilisasi air selesai, selanjutnya bibit mikrolaga s*pirulina* sp. dan nutrisi dimasukkan. Masa kultivasi dalam fotobioreaktor *airlift* dilakukan selama 14 hari, nutrisi diberikan pada hari pertama dan hari ketujuh selama masa kultivasi. Nutrisi yang diberikan berupa campuran pupuk, nutrisi yang digunakan pada tahapan ini, menggunakan pupuk teknis, yaitu pupuk SP, Urea, ZA, $NaHCO_3$ serta NaCl untuk menjaga salinitas sesuai dengan habitat aslinya.

Kultivasi S*pirulina* sp. dilakukan secara *batch* di dalam fotobioreaktor *airlift* dengan volume 27 liter. Aerasi dilakukan selama 24 jam menggunakan aerator, dan untuk pencahayaan menggunakan lampu LED tube 8 watt selama 16 jam yang diatur dengan menggunakan *timer*.

Setiap perlakuan dengan pemberian intensitas cahaya yang berbeda pada proses kultivasi *Spirulin*a sp yaitu dengan intensitas cahaya sebesar 1600 lux, 2200 lux dan 3200 lux, masing-masing dilakukan sebanyak tiga kali ulangan.

2.2.3. Pengambilan Data

Penelitian ini bertujuan untuk menguji fotobioreaktor yang telah disiapkan untuk mengkultivasi mikroalga dan untuk mengetahui seberapa kwantitas biomassa yang dihasilkan dengan memvariasi intensitas cahaya. Data yang diperlukan adalah besar intensitas cahaya sebagai variabel bebas, dan kwantitas/ bobot biomassa mikrolaga *Spirulina* sp. hasil kultivasi sebagai variabel terikat. Pengambilan sampel dilakukan pada awal kultivasi (hari ke-0), hari ke-7 dan hari ke 14, dan sampel tersebut dilakukan uji gravimetri untuk diketahui bobot massanya.

2.2.4. Analisis Data

Analisis data dilakukan terhadap sampel *Spirulina* sp. Produktivitas mikroalga didapatkan dengan metode analisis gravimetri/ berat kering. Data produktifitas mikroalga berdasarkan hasil penelitian kemudian diolah menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan perangkat lunak *Excel*. Analisis dilakukan untuk mendapatkan kondisi optimal kinerja fotobioreaktor. Dari data hasil penelitian akan diketahui bobot biomassa *Spirulina* sp. yang paling banyak diperoleh pada perlakuan dengan intensitas cahaya berapa lux.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dengan judul "Pengembangan Teknik Kultivasi *Spirulina* sp. Sebagai Sumber Biomassa Terbarukan Dalam Fotobioreaktor *Airlift*" merupakan metode kultivasi untuk mikroalga *Spirulina* sp. dalam fotobioreaktor tipe *airlift* dengan pengaturan intensitas cahaya menggunakan sumber cahaya dari lampu LED. Berikut ini merupakan hasil penelitian yang telah dilaksanakan.

3.1. Tahap Kultivasi Skala Laboratorium

Kultivasi pada skala laboratorium diperlukan untuk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

menyediakan bibit mikroalga yang secara kuantitas mencukupi untuk dilanjutkan ke dalam tahapan berikutnya. Dari bibit sebanyak 1 liter berhasil dikembangbiakan menjadi 4 liter mikroalga *Spirulina* sp. yang siap dibiakkan lagi.



Gambar 1. Kultivasi Skala Laboratorium

3.2. Kultivasi Semi Massal (*Intermediate*)

Tahapan kultvasi ini dilakukan dengan volume 20 liter. Kultivasi ini dilakukan dengan menggunakan ember. Kultivan pada tahapan ini juga diberikan pupuk sebagai nutrisi agar menjamin mikroalga dapat tumbuh dengan baik. *Nutrient* adalah faktor penting dalam produksi biomassa alga.



Gambar 2. Kultivasi Mikroalga Semi massal

Sebagian besar mikroalga membutuhkan makronutrien seperti karbon, (C), nitrogen (N), hidrogen (H), sulfur (S), kalium (K), magnesium (Mg), dan fosfor (P) Sedangkan mikronutrien digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan sel dan metabolisme. Keberadaan mikronutrien tidak bisa diganti oleh zat lain. Kebutuhan mikronutrien juga berbeda-beda berdasarkan habitat mikroalga (air laut, payau, tawar). Beberapa unsur mikronutrien di antaranya, zat besi (Fe), boron (B), mangan (Mn), vanadium (Va), silikon (Si), selenium (Se), cuprum (Cu), nikel (Ni), dan molybdinum (Mo). (Hadiyanto dan Azim.M, 2012)

Kultivasi mikroalga yang dilakukan pada tahapan ini yang kemudian digunakan sebagai bibit pada alat kultivasi yang dirancang, yaitu fotobioreaktor *airlift*. Pupuk yang digunakan pada tahapan ini, merupakan pupuk teknis, yaitu pupuk SP, Urea, ZA, $NaHCO_3$ serta NaCl untuk menjaga salinitas sesuai dengan habitat aslinya.

3.3. Tahap Kultivasi Semi Massal dalam Fotobioreaktor *Airlift* (*Intermediate*)

Tahapan kultivasi semi massal dilakukan dalam fotobioreaktor *airlift* yang telah dirancang dan dibuat dengan mengatur intensitas cahaya, yaitu dengan intensitas cahaya sebesar 1600 lux, 2200 lux dan 3200 lux, setiap perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali. Setiap perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali.



Gambar 3. Kultivasi dalam Fotobioreaktor

Untuk intensitas cahaya yang berbeda didapatkan biomassa yang semakin hari semakin meningkat, untuk intensitas cahaya 1600 menunjukkan perolehan paling tinggi. Hal ini terjadi

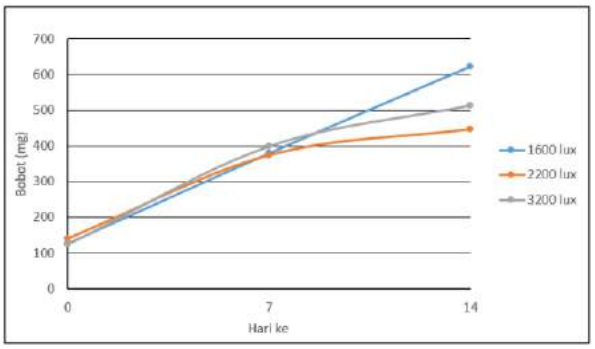
PERPUSTAKAAN NASIONAL

karena semakin tinggi intensitas cahaya maka suhu juga akan semakin meningkat. Suhu yang tinggi dapat mempengaruhi metabolisme sel dan mempengaruhi kinerja enzim, semakin tinggi suhu akan menyebabkan reaksi enzim menurun yang pada akhirnya akan berpengaruh pada pertumbuhan sel mikroalga.

Nilai ulangan dari setiap perlakukan dirata-rata sehingga didapat nilai rata-rata bobot biomassa *Spirulin*a sp. untuk setiap intensitas cahaya yang berbeda, yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3 berikut ini.

Tabel 1. Hasil Rata-Rata Perolehan Biomassa Pada Intensitas Cahaya Yang berbeda

Intensitas Cahaya	Bobot Rata-Rata *Spirulina* sp. (mg) dalam 100 ml sampel		
	Hari ke-0	Hari ke-7	Hari ke-14
1600 lux	127,7	380	623
2200 lux	141,7	374	446,3
3200 lux	124	398,3	513



Gambar 4. Grafik Perolehan Biomassa pada Intensitas Cahaya yang Berbeda

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa pertumbuhan mikrolaga diawal kultivasi semakin hari mengalami peningkatan, kemudian mengalami penurunan. Menurut Kawaroe et al., (2010) pola pertumbuhan mikroalga pada sistem kultivasi terbagi menjadi 5 tahapan yaitu, fase adaptasi (*lag phase*), fase eksponensial (*log phase*) mikroalga mengalami pertumbuhan cepat, fase penurunan pertumbuhan (*declining growth*), fase stasioner, fase kematian (*death phase*).

Tabel 2. Tabel Uji Anova

SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
1600	3	1869	623	2587		
2200	3	1339	446,3333	4262,333		
3200	3	1539	513	2149		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	47755,56	2	23877,78	7,960733	0,020504	5,143253
Within Groups	17996,67	6	2999,444			
Total	65752,22	8				

Dari data Tabel 2 dapat diketahui bahwa pertumbuhan pada kultivasi dengan intensitas cahaya yang berbeda akan menghasilkan bobot biomassa yang berbeda. Dan berdasarkan uji ANOVA satu arah P-Value hasilnya lebih kecil dari 0,05 yang berarti terdapat perbedaan yang bermakna pada perlakuan yaitu untuk pemberian intensitas cahaya yang berbeda pada sistem kultivasi *Spirulin*a sp. akan memberikan pengaruh terhadap hasil akhir (pemanenan hari ke-14) yaitu berupa bobot biomassa yang dihasilkan.

Dari hasil pengambilan data diketahui bahwa untuk intensitas cahaya yang berbeda didapatkan biomassa yang semakin hari semakin meingkat, namun peningkatan pertumbuhan tersebut tidak sama, untuk intensitas cahaya 1600 perolehan justru paling tinggi. Semakin tinggi intensitas cahaya maka suhu juga akan semakin meningkat, karena cahaya sebagai gelombang elektromagnetik memiliki energi yang dilepaskan bisa menimbulkan panas. Dalam penelitian ini, panjang gelombang dianggap sama, namun karena intensitas cahayanya berbeda menyebab-kan besarnya fluks per unit area juga berbeda, hal ini yang mengakibatkan adanya perbedaan suhu. Suhu yang tinggi dapat mempengaruhi metabolisme sel dan mempengaruhi kinerja enzim, semakin tinggi suhu akan menyebabkan reaksi enzim menurun yang pada akhirnya akan berpengaruh pada pertumbuhan sel mikroalga.

4. KESIMPULAN

Fotobioreaktor tipe *airlift* yang terbuat dari bahan kaca dengan ketebalan 5 mm dan menggunakan lampu LED sebagai sumber pencahayaan selama proses kultivasi adalah baik untuk kutivasi mikroalga *Spirulina* sp.

Intensitas cahaya dapat berpengaruh terhadap bobot biomassa mikrolaga *Spirulina* sp. yang dikultivasi pada fotobioreaktor *airlift*.

DAFTAR PUSTAKA

Batan, L., Quinn, J., Willson, B., Bradley, T., (2010). Net Energy and Greenhouse Gas Emission Evaluation of Biodisel Derived from Microalgae. Environ. Sci. Technol, 44.

BPPT, (2018). "Outlook Energi Indonesia 2018, Energi Berkelanjutan untuk Transportasi Darat"

Budiman, A. dkk, (2019). Mikroalga : Kultivasi Pemanenan, Ekstraksi dan Konversi Energi, Gadjah Mada University Press.

Budiman, A., dkk, (2014). Biodisel : Bahan Baku, Proses dan Teknologi, Gadjah Mada University Press.

Chen, C.Y., Yeh, K.L., Aisyah, R., Lee, D.J, dan Chang, J.S., (2011), "Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodisel production: A critical review", *Bioresource Technology*.

Chisti Y., (2007). Biodisel from Microalgae. Biotechnol Adv., 25.

Daniyati, Rizqa, Gatut Yudoyono dan Agus Rubiyanto, (2012). Desain Closed Photobioreaktor *Chorella vulgaris* sebagai Mitigasi Emisi CO_2. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. Vol. 1, ISSN: 2301-928X.

Gultom, SO, (2018). Mikrolaga : Sumber Energi Terbarukan Masa Depan. Jurnal Kelautan Volume 11, No.1,2018

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

ISSN:1907-9931 (print), 2476-9991 (online). http://journal.trunojoyo.ac.id/jurnalkelautan.

Hadiyanto, (2014). *Biofiksasi CO_2 Oleh Mikroalga Chlamydomonas sp dalam Photobioreaktor Tubular*. Ejurnal undip. http://ejournal.undip.ac.id/index.php/reaktor/article/view/8390.

Harun, R., Singh, M., Forde, G.M., dan Danquah, M.K., (2010), Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products", *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*

ITB, (2019) Pengolahan Biomassa Mikroalga Sebagai Langkah Awal Indonesia Mandiri Energi. https://www.itb.ac.id/news/4743.xhtml

Jorquera, O., Kiperstok, A., Sales, E.A., Embirucu, M., Ghirardi, M.L., (2010). Comparative Energy Life-Cycle Analyses of Microalgal Biomasa Production in Open Ponds and Photobioreactors. Bioresour Technol, 101.

Kawaroe M., Prartono T., Sunuddin A., Wulan Sari D., dan Augustine D., (2010). *Mikroalga Potensi dan Pemanfaatannya untuk Produksi Bio Bahan Bakar*. Bogor: IPB Press.

Lardon, L., Helias, A., Sialve, B., Steyer, J.P., Bernard, O., (2009). Life Cycle Assessment of Biodisel Production from Microalgae. Environmental science and technology, 43.

LIPI,(2019).http://lipi.go.id/berita/single/Pengembangan-Mikroalga-Masih -Lamban/10550.

Mahfud, (2018). Biodisel Perkembangan Bahan Baku dan Teknologi, CV. Putra Media (PM). Nusantara NGriya Kebraon Tengah XVII Blok FI/10, Surabaya.

Ojamae K., (2011). *Growth physiology and photosynthetic performance of green microalgae mass culture grown in a thin-layer cascade*. [Tesis]. University of Tartu Faculty of Science and Technology Institute of Ecology and Earth Sciences Department of Botany.

Pramono, IA, dkk, (2018). Optimasi Ekstraksi Lipid dari Spirulina platensis Menggunakan Tekanan Osmotik dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik dan Produksi Metil Esternya Secara Enzimatis, Jurnal Berkala MIPA.

Scott, S.A., Davey, M.P., Dennis, J.S., Horst, I., Howe, C.J., Lea-Smith, D J., and Smith, A.G. (2010). Biodisel from Algae: Challenges and Prospects. Current Opinion in Biotecnology, 21.

Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., dan Isambert, A., (2006), "Commercial Applications of Microalgae", Journal of Bioscience and Bioengineering

Sulaksono, B., (2005). Perencanaan Alat Filter Press Minyak Jarak, Jurnal Mekanika Teknik Mesin FTUP Vol. 1, No. 1, Januari 2005

Verma, N.H., Mehrotra, S., Amitesh Shukla, A., and Mishra, B.N., (2010). Prospective of biodisel production utilizing microalgae as the cell factories: A compre-hensive discussion. African Journal of Biotechnol-ogy.

PERPUSTAKAAN NASIONAL

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

J-Dinamika
JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT

Vol. 7, No. 2, Agustus 2022
E-ISSN : 2503-1112 | P-ISSN : 2503-1031
DOI : 10.25047/j-dinamika.v7i2.3309

Pengembangan Teknologi Energi Terbarukan Terpadu Melalui Pemanfaatan Mikrohidro dan Biogas Komunal Pada Kawasan Tertinggal Desa Gelang Kabupaten Jember

Development of Integrated Renewable Energy Technology through the Utilization of Micro-hydro and Communal Biogas in Disadvantaged Areas in Gelang Village, Jember Regency

I Putu Dody Lesmana [1*], Beni Widiawan [2], Rosa Tri Hertamawati [3]

[1,2] Department of Information Technology, Politeknik Negeri Jember
[3] Department of Animal Husbandry, Politeknik Negeri Jember
** dody@polije.ac.id*

ABSTRAK

Desa Gelang merupakan salah satu desa yang terletak di lereng Gunung Argopuro, Kabupaten Jember. Kondisi geografis Desa Gelang khususnya Dusun Lanasan memiliki perkebunan teh dan kopi seluas ±5.205,245 Ha. Walaupun Dusun Lanasan memiliki agrowisata menarik, tetapi tidak adanya listrik mengganggu aktivitas perekonomian dan mobilitas warganya. Selain itu, warga Dusun Lanasan yang memiliki 32 sapi dan 60 kambing menghasilkan limbah kotoran ±800 Kg per-hari dimana limbah kotoran hanya ditumpuk sehingga terlihat kotor dan menyebarkan bau tidak sedap. Melalui pengabdian masyarakat ini diterapkan solusi mikrohidro dengan memanfaatkan aliran sungai di Dusun Lanasan dan pembuatan biogas komunal. Pelaksanaan kegiatan dimulai dari pengukuran potensi mikrohidro, konstruksi bangunan sipil, pembuatan mikrohidro dengan turbin *cross-flow*, pembuatan saluran inlet-outlet dan digester biogas, serta instalasi listrik dan biogas. Hasil kegiatan ini dibangun PLTMH Dusun Lanasan yang menghasilkan daya listrik 2800 Watt untuk kebutuhan listrik dari 20 KK dan biogas komunal dari pengolahan limbah ternak mampu menghasilkan 16 m^3 biogas per-hari yang telah disalurkan ke dapur-dapur warga Dusun Lanasan dimana mampu menghemat pembelian 2-3 elpiji per-bulannya.

Kata kunci — mikrohidro, konstruksi bangunan mikrohidro, *cross-flow*, biogas

ABSTRACT

Gelang Village is one of the villages located on the slopes of Mount Argopuro, Jember Regency. The geographical condition of Bracelet Village, especially Lanasan District, has tea and coffee plantations covering an area of ±5,205,245 Ha. Although Lanasan District has interesting agro-tourism, the absence of electricity interferes with economic activity and the mobility of its citizens. In addition, the residents of Lanasan District who have 32 cows and 60 goats produce ±800 kg of waste per day where the waste is simply piled up so that it looks dirty and spreads an unpleasant odor. Through this community service, micro-hydro solutions are applied by utilizing the river flow in Lanasan District and making communal biogas. The implementation of activities starts from measuring the potential of micro-hydro, construction of civil buildings, manufacture of micro-hydro with a cross-flow turbine, the manufacture of inlet-outlet channels and biogas digesters, as well as electricity and biogas installations. As a result of this activity, a micro-hydro power plant was built that produces 2800 Watts of electricity for the electricity needs of 20 families and communal biogas from livestock waste processing is able to produce 16 m^3 of biogas per day which has been distributed to the kitchens of the residents of Lanasan District which is able to save on the purchase of 2- 3 LPG per month.

Keywords — *micro hydro, micro hydro building construction, cross-flow, biogas*

OPEN ACCESS

© 2021. I Putu Dody Lesmana, Beni Widiawan, Rosa Tri Hertamawati

Creative Commons
Attribution 4.0 International License

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

1. Pendahuluan

Desa Gelang yang terletak di Kecamatan Sumberbaru, Kabupaten Jember merupakan salah satu desa yang terletak di dataran tinggi di lereng Gunung Argopuro yang berjarak ±60 km dari pusat kota Jember dan terletak pada ketinggian 900 m di atas permukaan laut. Kondisi geografis Desa Gelang khususnya pada Dusun Lanasan memiliki sumber daya alam yang eksotis berupa perkebunan teh dan kopi seluas ±5.205,245 Ha yang disebut Kawasan Gunung Gambir dan menjadi salah satu agrowisata unggulan di Jember. Selain itu, Dusun Lanasan juga dilewati aliran sungai Rengganis yang mengalir di sepanjang pinggir rumah warga dengan aliran air cukup deras. Walaupun Dusun Lanasan memiliki potensi agrowisata menarik, tetapi belum mampu menopang perekonomian warganya yang sebagian besar hanya lulusan SD dimana pendapatan utamanya bergantung dari upah sebagai pemetik teh dan kopi serta usaha sampingan berternak sapi dan kambing. Berdasarkan [1], Desa Gelang khususnya Dusun Lanasan merupakan salah satu wilayah Jember yang menerima bantuan program Raskin (beras untuk keluarga miskin) terbesar di Kabupaten Jember. Rendahnya perekonomian dan kurang berkembangnya agrowisata di Dusun Lanasan disebabkan wilayah ini belum memiliki aliran listrik sehingga mengganggu aktivitas perekonomian dan mobilitas warganya ketika hari mulai gelap sehingga Dusun Lanasan menjadi kawasan terisolasi pada malam hari.

Walaupun penerangan listrik sudah dilakukan secara swadaya menggunakan satu mesin generator listrik 1000 Watt, tetapi belum mampu penerangan yang cukup pada 20 KK (Kepala Keluarga) seperti ditunjukkan Gambar 1(a). Tidak meratanya pasokan listrik di Dusun Lanasan menimbulkan beberapa permasalahan, yaitu: 1) setiap KK dibatasi hanya sampai penggunaan dua lampu; 2) pemakaian listrik di luar kesepakatan menurunkan daya listrik warga lain; 3) menimbulkan konflik sosial akibat pemakaian listrik; dan 4) usaha lokal memiliki jam terbatas dan jalan akses Dusun Lanasan gelap gulita di malam hari. Selain itu, warga Dusun Lanasan yang memiliki 32 sapi dan 60 kambing menghasilkan limbah kotoran ±800 Kg per-hari dimana limbah kotoran hanya ditumpuk atau dibiarkan saja di pekarangan rumah atau ditempatkan di lubang galian sehingga pekarangan atau kandang sapi terlihat kotor, mengundang vektor penyakit (lalat, nyamuk), menimbulkan bau gas amonia dan menyebarkan bau tidak sedap seperti ditunjukkan Gambar 1(b). Pendapatan warga yang bergantung dari upah memetik teh dan pembagian sisa hasil tiket masuk agrowisata Gunung Gambir yang berbagi dengan PTPN XII sebagai pemilik lahan tidak sepadan dengan pemenuhan kebutuhan rumah tangga sehari-hari seperti memasak yang masih menggunakan kayu bakar, pemakaian elpiji mahal dan sulit mendapat pasokan.



(a) (b)

Gambar 1. Lingkungan Dusun Lanasan: a) rumah tanpa aliran listrik; b) penumpukan limbah kotoran ternak

Dengan melihat permasalahan warga Dusun Lanasan dalam menciptakan kemandirian energi dan peningkatan perekonomian dan melihat potensi aliran sungai dengan tinggi jatuh air (*head*) antara 1.5-2.5 m seperti ditunjukkan Gambar 2, maka dapat dilakukan penerapan teknologi mikrohidro sebagai pembangkit listrik dan penerapan biogas untuk mengolah limbah kotoran ternak. Teknologi mikrohidro yang diterapkan menggunakan turbin *cross-flow* sesuai karakteristik sungai di Dusun Lanasan yang memiliki tinggi jatuh air rendah atau *low-head* [2]-[5].



Gambar 2. Potensi aliran sungai Dusun Lanasan sebagai pembangkit listrik mikrohidro

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2. Target dan Luaran

Melalui kegiatan Produk Teknologi yang Didesiminasikan ke Masyarakat (PTDM) diberikan dua solusi, yaitu 1) pemanfaatan aliran sungai melalui penerapan teknologi mikrohidro untuk pemenuhan listrik bagi 20 KK; 2) pemanfaatan limbah kotoran ternak yang berlimpah sebagai biogas dan pupuk organik. Khalayak sasaran dalam pelaksanaan PTDM ini adalah warga RT 001 dan RT 003, RW 023 Dusun Lanasan, Desa Gelang.

3. Metodologi

Metodologi kegiatan PTDM melibatkan tim pelaksana yang terdiri dari kolaborasi dosen dan mahasiswa, Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Jember sebagai perpanjangan BRIN (Badan Riset Inovasi Nasional) Republik Indonesia, dan mitra pengabdian yang diwakili oleh warga RW 023 Dusun Lanasan, Desa Gelang. Tahapan pelaksanaan ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir kegiatan PTDM

4. Pembahasan

Pelaksanaan kegiatan PTDM di Dusun Lanasan dibagi menjadi dua tahapan, yaitu pembuatan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dan biogas komunal di Dusun Lanasan dimana keluaran yang dicapai dijelaskan sebagai berikut:

4.1 Pembuatan PLTMH Dusun Lanasan

Koordinasi dan Pengukuran Potensi Mikrohidro

Kegiatan PTDM diawali dengan diskusi antara tim pelaksana PTDM dan perwakilan kelompok warga Dusun Lanasan. Pembahasan FGD meliputi pemaparan metode pelaksanaan kegiatan, rentang waktu pengerjaan, pengukuran potensi mikrohidro dan lokasi PLTMH, konstruksi bangunan sipil, pembuatan perangkat mikrohidro dan *power-house*, dan instalasi listrik. Untuk pengukuran potensi mikrohidro dilakukan survei lapangan di sepanjang aliran sungai Dusun Lanasan dan dilakukan dua kali pengukuran potensi mikrohidro saat debit aliran sungai tinggi dan sebaliknya. Pengukuran potensi mikrohidro dilakukan di lokasi rencana bendungan dan saluran penyalur air ke mikrohidro menggunakan *current meter flow* merek Mini-Air 20 seperti ditunjukkan Gambar 4, dimana pengukuran dilakukan secara melintang lebar sungai dengan kontur homogen sepanjang 0,8 m yang dibagi menjadi empat segmen per 0,2 meter. Hasil pengukuran dicatat pada lembar pencatat data seperti ditunjukkan Tabel 1 yang berisi jarak antar bagian (S) dalam satuan meter, kedalaman kincir (K) dari *current meter flow* dalam satuan meter yang diukur pada separuh kedalaman air sungai, luas permukaan per tahap (L) dalam satuan m^2, kecepatan rata-rata debit aliran air (V) dalam satuan m/s dari tiga kali pengukuran per tahap, dan debit aliran sungai (D) per tahap dalam satuan m^3/s. Dari hasil pengukuran didapatkan total debit aliran air sebesar 0,0707 m^3/s yang digunakan sebagai parameter penentu lebar dan *runner* turbin *cross-flow* untuk menghasilkan luaran daya listrik yang maksimal.



Gambar 4. Pengukuran debit aliran air

Tabel 1. Perhitungan debit aliran air

	S	K	L=S*K	V	D=V*L
I	0,2	0,260	0,052	0,323	0,0168
II	0,2	0,270	0,054	0,334	0,0180
III	0,2	0,280	0,056	0,329	0,0184
IV	0,2	0,265	0,053	0,324	0,0172
			Total Debit Aliran Air (D)		0,0707

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Konstruksi Bangunan Sipil

Konstruksi bangunan sipil PLTMH Dusun Lanasan melibatkan beberapa tahapan, yaitu pertama, pembersihan lokasi dan pembukaan lahan untuk pembuatan bendungan, akses jalan, dan saluran pembawa (*head-race*) ke tiga lokasi penempatan mikrohidro yang direncanakan. Pada tahap kedua, dilakukan pembuatan bendungan untuk mengatur tinggi muka air dengan kombinasi batu alam dan 4 skot balok ukuran 20 cm x 10 cm dan dipasang secara melintang setinggi 0,7 m diantara bebatuan alam yang berukuran besar sebagai pemecah aliran sungai. Air dari bendungan kemudian dialirkan menuju saluran *intake* untuk mempermudah mengatur debit andalan sesuai perencanaan setinggi 0,5 m. Saluran *intake* yang dibuat dari bendungan sampai pintu pengambilan air atau pintu intake sepanjang 15 m dengan lebar ±60 cm dan kedalaman 0,8 m. Pada tahap ketiga, dilakukan pemasangan pintu pengambilan air (pintu *intake*) untuk memasukkan debit rencana dari saluran intake dan pemasangan pintu limpahan air. Tahap keempat, dilakukan pembuatan tiga saluran pembawa yang menghubungkan pintu *intake* dengan bak penenang (*forebay*) dari masing-masing mikrohidro seperti ditunjukkan Gambar 5. Setiap saluran pembawa memiliki lebar ±50 cm dengan kedalaman 0,6 m yang memiliki panjang 30 m untuk saluran pembawa satu, 15 m untuk saluran pembawa dua, dan 20 m untuk saluran pembawa ketiga.



(a) (b)

Gambar 5. a) head-race; dan b) forebay dari PLTMH Dusun Lanasan

Tahap kelima adalah pemasangan pipa pesat (*penstock*) menggunakan PVC 5 dim yang menghubungkan forebay menuju turbin mikrohidro. Tahapan keenam adalah pembuatan saluran pembuangan (*trail-race*) untuk mengalirkan debit air yang keluar dari turbin air untuk kemudian dibuang ke sungai atau saluran pembawa yang lain.

Pembuatan Mikrohidro dengan Turbin *Cross Flow*

Pada tahap ini, pembuatan perangkat mikrohidro yang harus dilakukan lebih dahulu yaitu membuat generator mikrohidro dengan pengadaan rotor generator magnet permanen dan dirakit menjadi rotor dengan jumlah 6 (enam) buah kutub magnet permanen kemudian dipasang poros. Selanjutnya membuat rumah stator generator dari pipa besi ukuran diameter 5 dim dipotong disesuaikan dengan panjang rotor generator. Rumah stator generator adalah tempat meletakkan lilitan kumparan kawat yang terdiri dari 6 (enam) buah kumparan disesuaikan dengan besar diameter pipa besi. Agar generator tidak kena percikan air dari turbin air waktu berputar, maka didesain diberi tutup disisi depan dan disisi belakang generator kemudian dirapatkan dengan 3 (tiga) buah mur baut panjang seperti ditunjukkan Gambar 6. Selanjutnya dilakukan pengujian laboratorium untuk mengetahui kinerja dari generator DC magnet permanen sebelum dirakit dengan turbin air mikrohidro dan diterapkan di sungai yang berada pada lokasi mitra, tujuannya untuk mengetahui besar tegangan terendah sampai tertinggi apabila diputar menggunakan motor yang diputar dengan kecepatan (rpm) yang bervariasi tanpa dibebani, kemudian diuji lagi dengan variasi kecepatan yang sama dengan dibebani lampu penerangan LED.



Gambar 6. Pembuatan generator mikrohidro dan turbin cross-flow

Berikutnya dilakukan pembuatan turbin air *cross flow*, turbin air adalah sebuah alat berbentuk lingkaran bagian dari sistem pembangkit listrik yang berfungsi untuk mengubah energi yang ada pada air menjadi energi gerak putar dan memutar poros yang dihubungkan pada generator DC magnet

permanen sehingga menghasilkan energi listrik. Turbin air cross flow dibuat dari bahan plat besi yang terdiri dari 12 (dua belas) sudut dengan diameter 60 cm, poros turbin diletakkan pada rangka pipa besi yang didesain secara portabel dan menyatu dengan generator DC magnet pernanen seperti ditunjukkan Gambar 6. Selanjutnya dilakukan perakitan turbin air *cross flow* dan generator DC magnet permanen yang ditempatkan pada rangka pipa besi yang didesain portable kemudian dipasang *pulley*, sedangkan untuk menghubungkan turbin air *cross flow* dan generator dipasang vanbelt seperti ditunjukkan Gambar 7.



Gambar 7. Mikrohidro dengan turbin cross-flow



Gambar 8. Pemasangan mikrohidro dan sinkronisasi aliran listrik dari tiga mikrohidro

Pemasangan Mikrohidro dan Rumah Pembangkit Listrik (*Power-House*)

Pada tahap ini dilakukan pemasangan tiga perangkat mikrohidro pada tiga lokasi PLTMH Dusun Lanasan yang telah dibuat dan dilakukan penyambungan kabel listrik dari masing-masing perangkat mikrohidro ke rumah pembangkit (*power-house*). Pada rumah pembangkit, ketiga aliran listrik yang dihasilkan oleh ketiga perangkat mikrohidro disinkronkan menjadi satu dan dilakukan perubahan tegangan dari DC menjadi AC menggunakan rangkaian inverter. Kelebihan daya listrik yang tidak digunakan disimpan pada baterai sehingga jika terjadi gangguan pada mikrohidro maka dapat menggunakan energi listrik cadangan yang tersimpan pada baterai seperti ditunjukkan Gambar 8.

Instalasi Saluran Listrik Perumahan Warga Dusun Lanasan

Pada tahap awal ini dilakukan pemasangan saluran listrik ke tujuh rumah warga Dusun Lanasan dengan memasang tiang-tiang penyangga listrik, pemasangan MCB (*miniature circuit breaker*), dan dilakukan uji coba dengan menghidupkan semua lampu, lemari pendingin, dan televisi seperti ditunjukkan Gambar 9.



Gambar 9. Hasil instalasi listrik Dusun Lanasan

4.2 Pembuatan Biogas Komunal

Konstruksi biogas komunal pada Dusun Lanasan memiliki beberapa tahapan, meliputi tahap kesatu adalah pembuatan bak penampungan slurry dan saluran pemasukan (*inlet*). Bak penampungan slurry dibuat dari buis beton dengan ukuran diameter 70 cm dengan tinggi 160 cm yang dilengkapi dengan alat pengaduk kotoran sapi (*mixing*) dan saluran inlet yang terbuat dari pipa PVC 4 dim yang di bor ke dalam tanah untuk dihubungkan dengan lubang pemasukan yang sudah ada pada digester balon biogas. Tahap kedua merupakan pembuatan digester balon berukuran panjang 10 m, lebar dan tinggi sebesar 2 m dan daya tampung 1500 liter. Digester ini ditanam dalam tanah dengan membuat rumah galian berbahan batu bata. Hal ini dimaksutkan agar kelihatan tidak terlalu mengambil ruang serta lebih mudah dalam pemasukkan slurry ke dalam digester. Tahap ketiga adalah pembuatan saluran pengeluaran (*outlet*) dan bak penampungan hasil fermentasi. Bak penampungan ini berfungsi untuk menampung limpahan slurry yang sudah tidak mengandung biogas.

Agar biogas dalam digester tersedia setiap saat maka setiap hari sebelum digunakan sebaiknya memasukkan kotoran sapi yang dicampur air (2 kg kotoran sapi dan 4 liter air).

Tahap kelima yaitu instalasi saluran gas pada dapur rumah warga Dusun Lanasan. Pemasangan saluran gas pada kompor gas dilengkapi dengan pompa pendorong untuk memperkuat aliran gas yang masuk karena bertekanan rendah dan dilengkapi switch pengaman untuk buka tutup gas seperti ditunjukkan Gambar 10.



Gambar 10. Biogas komunal Dusun Lanasan

5. Manfaat Yang Diperoleh (*Outcome*)

Sebelum dilakukannya pelaksanaan kegiatan PTDM ini, penerangan listrik untuk 20 KK Dusun Lanasan hanya bertumpu pada satu genset bensin 1000 Watt yang hanya dapat digunakan 2-3 lampu per-KK, disamping itu warga tidak bisa mengoperasikan peralatan elektronik karena daya tidak mencukupi dan tegangan tidak stabil sehingga mudah merusak peralatan elektronik. Dalam satu bulan dibutuhkan biaya operasional satu genset bensin Rp 325.000,- sampai dengan Rp 380.000,- yang menghabiskan 40-45 liter bensin/bulan, sehingga dibutuhkan iuran pengguna listrik sebesar Rp 15.000,-, tetapi fakta di lapangan menunjukkan distribusi listrik tidak merata sehingga sering terjadi perselisihan akibat pemakaian listrik yang berlebih utamanya di malam hari. Setelah terbentuknya PLTMH Dusun Lanasan yang menghasilkan tambahan daya 2800 Watt dapat memenuhi secara merata kebutuhan listrik warga Dusun Lanasan dengan 100-200 Watt per-KK dan menurunkan biaya operasional per-KK menjadi Rp. 5000,- per bulan. Selain itu kerawanan kondisi kerawanan sosial akibat peningkatan kebutuhan listrik antar warga utamanya di malam hari dapat diatasi dengan tetap meningkatkan kedisiplinan dalam pemakaian listrik secara bersama.

Sedangkan dari adanya biogas komunal yang dapat menghasilkan biogas 16 m^3 per-hari, dapat menggantikan kebutuhan warga Dusun Lanasan yang biasanya menghabiskan 2-3 elpiji per bulan, saat ini tidak perlu lagi membeli elpiji atau mencari kayu bakar untuk memenuhi kebutuhan memasak sehari-hari dan menurunkan polusi bau akibat limbah ternak yang berceceran sebelumnya.

6. Kesimpulan

Dari pelaksanaan kegiatan PTDM ini telah berhasil dibangun PLTMH Dusun Lanasan yang mampu menghasilkan daya listrik 2800 Watt untuk memenuhi kebutuhan listrik dari 20 KK di Dusun Lanasan secara merata, begitu pula pemakaian biogas komunal dari pengolahan limbah ternak mampu menghasilkan 16 m^3 biogas per-hari yang telah disalurkan ke dapur-dapur warga Dusun Lanasan dimana mampu menghemat pembelian 2-3 elpiji per-bulannya.

7. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Republik Indonesia yang mendanai pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat dengan nomor kontrak: 006/SP2H/DPTM/DRPM/2021.

8. Daftar Pustaka

[1] Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember. 2021. Kabupaten Jember Dalam Angka (Jember Regency in Figure) 2021. Diakses dari https://jemberkab.bps.go.id/publication/2021/02/26/df808e032bdf8dc201c7ba9f/kabupaten-jember-dalam-angka-2021.html

[2] H. Hoghooghi, M. Durali, and A. Kashef, "A new low-cost swirler for axial micro hydro turbines of low head potential," Renew. Energy, vol. 128, pp. 375–390, 2018, doi: 10.1016/j.renene.2018.05.086.

[3] R. Marliansyah, D. N. Putri, A. Khootama, and H. Hermansyah, "Optimization potential analysis of micro-hydro power plant (MHPP) from river with low head," Energy Procedia, vol. 153, pp. 74–79, 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.10.021.

[4] M. Tirono, "Pemodelan Turbin Cross-Flow Untuk Diaplikasikan Pada Sumber Air Dengan Tinggi Jatuh Dan Debit Kecil," J. Neutrino, 2012, doi: 10.18860/neu.v0i0.1939.

[5] J. Zhao, N. Chen, C. Chen, Y. Cui, and H. Ma, "Modeling and simulation of micro-grid based on small-hydro," POWERCON 2014 - 2014 Int. Conf. Power Syst. Technol. Towar. Green, Effic. Smart Power Syst. Proc., no. Powercon, pp. 3257–3264, 2014, doi: 10.1109/POWERCON.2014.6993812.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Daur Lingkungan, 3(2), Agustus 2020, 58-
Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi
Website: http://daurling.unbari.ac.id, **Online ISSN** 2615-1626
DOI 10.33087/daurling.v3i2.55

Pengolahan Sampah Organik Menjadi Biobriket Sebagai Energi Terbarukan

G.M Saragih[1*], Marhadi[2], dan Yulia Defriati[3]
[1,2,3]Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Batanghari
Jalan Slamet Riyadi, Kota Jambi
*correspondence e-mail: saragihguntar@gmail.com

Abstract
One of the uses of organic waste is processing it into biomass briquettes which can later be used as energy. Organic waste received is dry organic waste such as dry leaves, dry twigs, inorganic waste such as plastic waste which can be used as an adhesive in making waste biobriquettes. The purpose of processing organic and inorganic waste into energy is to benefit from the waste in the city of Jambi. The benefit obtained is to reduce waste which can be used as energy. The kerosene to LPG conversion program has resulted in a rapid increase in LPG consumption which domestic production cannot meet. This causes LPG imports to increase rapidly, so that if in 2007 the volume of LPG imports was still at 137 thousand tons, in 2011 it increased to 1,992 thousand tons or an increase of almost 15 times (Outlook Energi Indonesia 2013). The highest calorific value with the optimum composition is found in biobriquette sample 3 with a variation of the composition of 75% organic waste: 5% inorganic waste: 10% water: 10% glue, which is 19361 J / gr. The lowest ash content with the optimum composition was found in sample 3 with a variation of the composition of 75% organic waste: 5% inorganic waste: 10% water: 10% glue, namely 5.06%. The lowest water content with the optimum composition is found in sample 1 and sample 2 with a water content of 0.92%, this is already in accordance with SNI for biobriquettes. The lowest CO content with the optimum composition is found in the biobriquette sample 1 with a variation of the organic composition of 85%: 5% inorganic: 5% water: 5% glue, which is 60.33 µg/Nm^3.

Keywords: *Organic waste, biomass briquettes, and waste energy.*

1. Pendahuluan

Sampah merupakan masalah yang dihadapi oleh negara-negara maju maupun berkembang dan hingga saat ini penanganan serta pengelolaan sampah masih terus dikembangkan. Kota Jambi juga tidak terlepas dari permasalahan sampah, yang akan mencemari lingkungan bila tidak dikelola. Upaya dalam pengelolaan sampah kota Jambi adalah dengan cara memanfaatkan sampah.

Salah satu pemanfaatan sampah organik adalah dengan mengolahnya menjadi briket biomassa yang nanti bisa digunakan sebagai energi. Sampah organik yang diterima adalah sampah organik kering seperti daun kering, ranting kering, sampah anorganik seperti sampah plastik dapat digunakan sebagai perekat dalam pembuatan biobriket sampah. Tujuan pengolahan sampah organik dan anorganik menjadi energi adalah untuk mendapatkan manfaat dari sampah yang ada di kota Jambi. Manfaat yang diperoleh adalah mengurangi sampah yang bisa dimanfaatkan menjadi energi. Program konversi minyak tanah ke LPG menyebabkan peningkatan konsumsi LPG dengan cepat yang tidak dapat dipenuhi oleh produksi dalam negeri. Hal ini menyebabkan impor LPG meningkat dengan cepat, sehingga bila pada tahun 2007 volume impor LPG masih sebesar 137 ribu ton, pada tahun 2011 meningkat menjadi 1.992 ribu ton atau meningkat hampir 15 kali lipat (*Outlook* Energi Indonesia, 2013).

2. Metode Penelitian

2.1 Tempat dan Waktu

Pembuatan biobriket sampah organik dilakukan di Bank Sampah Bangkitku, pencampuran media, perekat dan pencetakan sampah organik dan anorganik dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Batanghari. Pengujian kadar air dan kadar karbon terikat di Laboratorium Teknik Universitas Batanghari, dan pengujian nilai kalor, kadar abu, dilakukan di Laboratorium Dasar dan Terpadu Universitas Jambi. Penelitan dilaksanakan pada bulan November 2019 – Febuari 2020. Lokasi alamat Bank Sampah Bangkitku di : Jln. Jend. Basuki Rahmat, Pall Lima, Kec. Kota Baru, Kota Jambi.

2.2 Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sampah organik kering :
   - Daun bambu kering
   - Kayu dan serbuk gergaji (kayu punak dan kayu bulian)
   - Ranting ketapang
2. Sampah anorganik kantong plastik bekas belanja berwarna hitam sebagai perekat.

2.3 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Karung beras untuk mengumpulkan sampah organik (daun kering, serbuk gergaji, ranting)
2. Tungku pirolisis untuk mengarangkan sampah organik (daun kering, serbuk gergaji, ranting);
3. Alat penumbuk (lumpang dan alu) digunakan untuk menumbuk bahan baku yang sudah diarangkan;
4. Cawan digunakan untuk tempat bubuk arang sampah organik (daun kering, serbuk gergaji, ranting);
5. Ayakan mesh 35 digunakan untuk mengayak bubuk sampah organik kering agar diperoleh ukuran partikel yang seragam;
6. Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat bahan baku biobriket dengan berbagai variasi komposisi dan untuk menimbang berat sampah anorganik plastik (kantong bekas belanjaan) air dan lem;
7. Kantong plastik digunakan untuk tempat/wadah bahan baku biobriket yang sudah ditimbang berdasarkan variasi komposisinya;

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

8. Label nama digunakan untuk menandai bahan baku biobriket berdasrkan variasi komposisinya;
9. Cawan digunakan untuk tempat melarutkan sampah plastik sebagai perekat
10. Kompor digunakan untuk memanaskan sampah anorganik
11. Pengaduk digunakan untuk mengaduk larutan sampah anorganik ketika dipanaskan agar tidak menggumpal serta untuk mengaduk adonan biobriket agar campuran merata;
12. Cetakan biobriket digunakan untuk mencetak adonan biobriket;
13. Nampan digunakan untuk meletakan biobriket yang telah dicetak;
14. Alat tulis digunakan untuk mencatat label biobriket dengan berbagai variasi;
15. Gelas ukur digunakan untuk mengukur banyaknya air yang digunakan untuk membuat larutan lem sebagai perekat
16. *Oven* digunakan untuk mengeringkan biobriket.

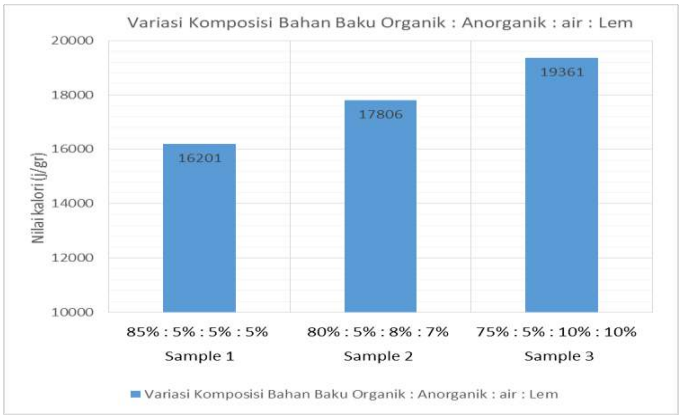
2.4 Proses Pembuatan Briket

1. Penyiapan bahan baku;
2. Pengarangan;
3. Penumbukan;
4. Pengayakan;
5. Pencampuran media;
6. Tahap pencetakan;
7. Pengeringan;
8. Tahap uji karakteristik

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Nilai Kalor Biobriket Komposisi Optimum

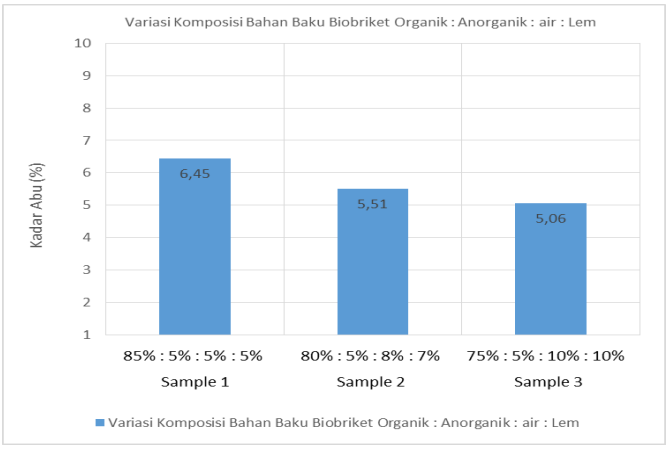
Nilai kalor merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas briket. Hasil pengukuran nilai kalor biobriket sampah organik dan anorganik plastic berwarna hitam (kantong plastik bekas belanjaan)



Gambar 1. Grafik pengaruh variasi komposisi bahan baku biobriket sampah organik terhadap nilai kalori

Kadar Abu Biobriket Komposisi Optimum

Abu merupakan bagian yang tersisa dari hasil pembakaran biobriket. Menurut Hendra dan Darmawan (2000), salah satu unsur kadar abu adalah silika dan pengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Kandungan abu yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor briket arang sehingga kualitas briket arang tersebut menurun (Masturin A, 2002). Kadar abu yang dihasilkan juga sangat erat hubungannya dengan jenis bahan penyusun briket tersebut [illegible]n cara penggabungannya, serta mineral yang terkandung didalamnya. Hal ini sesuai dengan literatur Sudarmadji, dkk (2002), bahwa kandungan abu dan komposisinya tergantung pada macam bahan dan cara penggabungannya. Nilai kadar abu biobriket sampah organik dan anorganik plastik berwarna hitam (kantong bekas belanjaan).



Gambar 2. Grafik pengaruh variasi komposisi bahan baku biobriket sampah organik terhadap kadar abu.

Kadar Air Biobriket Komposisi Optimum

Kadar air dalam briket dilakukan pengujiannya saat pengeringan briket dilakukan dengan metode pengeringan oven dengan suhu 105^0C dan dengan melakukan penimbangan berulang kali sampai briket terlihat mengering dengan waktu yang tidak ditentukan dimana dengan rumus pengukuran kadar air untuk berat di lakukan perumusan (Jung and Wells,1997), dan dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Batanghari, dengan perumusan :

$$\frac{m1 - m2}{m1} \; x \; 100\% = \%$$

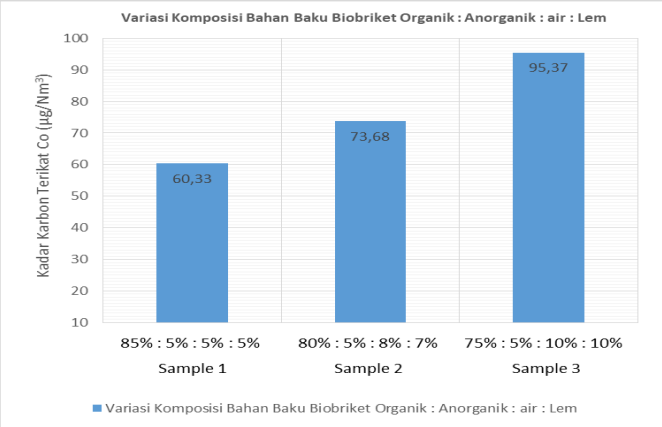
berat awal – berat ahkir setelah dioven , berikut penimbangan tiap sample :

1. Sample 1
   Berat awal (m1) : 1102 gr
   Berat ahkir (m2) : 86,2 gr
   $$\frac{1102 - 86,2}{1102} \; x \; 100\% = 0,92\,\%$$
2. Sample 2
   Berat awal (m1) : 1203 gr
   Berat ahkir (m2) : 88,01 gr
   $$\frac{1203 - 88,01}{1203} \; x \; 100\% = 0,92\,\%$$
3. Sample 3
   Berat awal (m1) : 1352 gr
   Berat ahkir (m2) : 92,8 gr
   $$\frac{1352 - 92,8}{1352} \; x \; 100\,\% = 0,93\,\%$$

Kadar Karbon Terikat (CO) Komposisi Optimum

Karbon Monoksida (CO) adalah suatu gas tidak berwarna, tidak berbau yang dihasilkan oleh pembakaran tidak sempurna material yang mengandung zat arang atau bahan organik. Nilai kadar karbon terikat CO biobriket sampah organik dan anorganik plastik berwarna hitam (kantong bekas belanjaan).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 3. Grafik pengaruh variasi komposisi bahan baku biobriket sampah organik terhadap kadar karbon terikat CO

Gambar diatas menunjukkan hasil optimum dari sampel biobriket sampah organik dan anorganik . Data hasil pengukuran nilai kalor, kadar abu, kadar air dan kadar karbon terikat CO dapat dijelaskan bahwa:

1. Hasil nilai kalor optimum terdapat pada sampel 3 dengan nilai kalor yaitu sebesar 19631 kal/gr. Dari sample 3 terdapat kandungan organik sebesar 75% sebanding dengan nilai perekat agar dapat mempermudah saat pencetakan biobriket, dan agar nilai pembakaran biobriket sebanding dengan LPG ukuran 3 kg, maka dipilihlah sampel 3, karena sampel 3 memiliki nilai kalor tertingi dikategorikan sebanding dengan LPG ukuran 3kg sebagai alternatif LPG sebagai energi terbarukan. Selain itu sampel 3 mempunyai kekurangan dimana banyak kandungan lem sebesar 10% yang bisa mempengaruhi biaya pembuatan briket.
2. Hasil nilai kadar abu pada sampel 3 yaitu sebesar 5,06% tergolong tinggi sehingga dapat mencemari lingkungan. Jadi, sampel 3 dikategorikan optimum, karena agar mengurangi pencemaran lingkungan.
3. Hasil nilai kadar air pada sampel 1 dan 2 yaitu sebesar 0,92% tergolong rendah sehingga dikategorigakan optimum dan sudah sesuai standar SNI biobriket..
4. Hasil nilai kadar karbon terikat pada sample 1 yaitu sebesar 60,33 $\mu g/Nm^3$ dikategorikan optimum karena pada sample 1 terendah sehingga mengurangi pencemaran lingkungan.

Nilai Kalor Biobriket Komposisi Optimum

Berdasarkan tabel 4.1 data hasil pengukuran nilai kalor biobriket sampah organik dan anorganik, menunjukkan bahwa nilai kalor tertinggi terdapat pada biobriket sample 3 dengan variasi komposisi organik 75% : anorganik 5% : air 10% : lem 10% yaitu sebesar 19361 kal/gr. Sementara nilai kalor terendah terdapat pada biobriket sample 1 dengan variasi komposisi organik 85% : anorganik 5% : air 5% : lem 5% yaitu sebesar 16201 J/gr.

Biobriket dengan komposisi optimum terdapat pada biobriket sample 3 variasi komposisi organik 75% : anorganik 5% : air 10% : lem 10% yaitu sebesar 19361 J/gr. Biobriket dengan komposisi optimum terdapat pada biobriket sample 3 sebagai pengganti LPG sebagai energi terbarukan biobriket harus memiliki nilai kalor tinggi untuk pembakaran yang tahan lama. LPG ukuran 3kg memiliki nilai kalori sebesar 11.254,61 Kcal/Kg (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, 2007), sedangkan sample 3 memiliki nilai kalor 19361 J/gr dengan bahan baku 75% organik : 5% anorganik : 10 % air : 10 % lem yang menghasilkan 1kg briket berarti menghasilkan setara dengan LPG ukuran 5 kg, maka dari itu briket bisa dikategorikan bisa digunakan untuk pengganti LPG sebagai energi terbarukan. Sementara nilai kalor terendah terdapat pada biobriket sampe 1 dengan variasi komposisi sampah organik 85% : sampah anorganik 5% : air 5% : lem 5% yaitu sebesar 16201 J/gr. Komposisi optimum dari nilai kalor terdapat pada sample 3.

Kadar Air Biobriket Komposisi Optimum

Setelah melakukan pengujian kadar air menggunakan metode pengeringan di oven dengan suhu 105^0 C. Kadar air tertinggi terdapat pada biobriket sample 3 dengan variasi komposisi sampah organik 75% : sampah anorganik 5% : air 10% : lem 10% yaitu sebesar 0,93 %, sedangkan kadar air terendah dengan sample 1 dan sample 2 dengan kadar air 0,92 %. Ini udah sesuai dengan SNI biobriket. Pengujian kadar air ini dilakukan secara manual dengan metode pengeringan dengan menggunakan *oven* yang dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Batanghari.

Kadar Karbon Terikat (CO) Komposisi Optimum

Berdasarkan hasil tabel 4.3 data hasil pengukuran kadar karbon terikat CO biobriket sampah organik dan anorganik di atas, menunjukan bahwa nilai CO tertinggi terdapat pada biobriket sample 3 dengan variasi komposisi organik 75% : anorganik 5% : air 10% : lem 10% yaitu sebesar 95,37 $\mu g/Nm^3$. Sedangkan terendah terdapat pada biobriket sample 1 dengan variasi komposisi organik 85% : anorganik 5% : air 5% : lem 5% yaitu sebesar 60,33 $\mu g/Nm^3$.

Biobriket dengan komposisi optimum terdapat pada yang kadar CO nya terendah dengan biobriket sample sample 1 dengan variasi komposisi organik 85% : anorganik 5% : air 5% : lem 5% yaitu sebesar 60,33 $\mu g/Nm^3$. Semakin banyak organik semakin tinggi kandungan CO nya, tetapi kandungan lem mempengaruhi nilai kadar CO nya sehingga sample 3 tidak dikategorikan yang optimum.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kalor tertinggi dengan komposisi optimum terdapat pada biobriket sample 3 dengan variasi komposisi sampah organik 75% : sampah anorganik 5% : air 10% : lem 10% yaitu sebesar 19361 J/gr.
2. Kadar abu terendah dengan komposisi optimum terdapat pada sample 3 dengan variasi komposisi sampah organik 75% : sampah anorganik 5% : air 10% : lem 10% yaitu sebesar 5.06%.
3. Kadar air terendah dengan komposisi optimum terdapat pada sample 1 dan sample 2 dengan kadar air 0,92 %, ini udah sesuai dengan SNI biobriket.
4. Kadar CO terendah dengan komposisi optimum terdapat pada biobriket sample 1 dengan variasi komposisi organik 85% : anorganik 5% : air 5% : lem 5% yaitu sebesar 60,33 $\mu g/Nm^3$.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Daftar Pustaka

Andry, H. U. (2000). *Aneka Tungku Sederhana***.** Yogyakarta : Penebar Swadaya.

Badan Standarisasi Nasional. (2000). *Standar Nasional Indonesia Briket Arang Kayu (SNI 1-6235-2000)***.** Jakarta.

Hendra dan Darmawan. (2000). *Pengaruh Bahan Baku, Jenis Perekat dan Tekanan Kempa Terhadap Kualitas Briket Arang*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.

Husada, T. I. (2008). *Arang Briket Tongkol Jagung Sebagai Energi Alternatif*. Laporan Penelitian/Artikel Ilmiah Program Penelitian Inovasi Mahasiswa Provinsi Jaw Tengah. Semarang.

Kementrian Lingkungan Hidup. (2009). *Undang-Undang No. 32 Tahun 2009. Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup***.** Jakarta.

Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia No.231/Mpp/kep/7/1997 Pasal 1. *Prosedur Impor Limbah.* Jakarta.

Lubis, H.A. (2011). *Uji Variasi Komposisi Bahan Pembuat Briket Kotoran Sapi dan Limbah Pertanian.* Universitas Sumatera Utara. Medan

Kusuma, Hendra. 2000. *Perencanaan dan Pengendalian Produksi.* Andi, Yogyakarta.

Masturin, A. (2002). *Sifat Fisika dan Kimia Briket Arang dari Campuran Arang Limbah Gergajian Kayu* [skripsi]. Bogor. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.

Patabang, D. (2012). Karakteristik Termal Briket Arang Sekam Padi dengan Variasi Bahan Perekat. *Jurnal Mekanikal*. Vol. 3, No.2.

Puspita, D. (2015). Analisis Nilai Kalor Dan Kadar Abu Briket Bioarang Cangkang Kelapa Sawit dan Sekam Padi. Universitas Batanghari. Jambi.

Tarsito, T., et al. (2013). Pengaruh Variasi Komposisi Briket Organik Terhadap Temperatur Dan Waktu Pembakaran. Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika FSM Universitas Diponegoro. Vol. 16, No. 1.

Triana, D. (2011). Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Briket Terhadap Laju Pembakaran. Universitas Batanghari. Jambi.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pengujian Sistem Konversi Energi Suara menjadi Energi Listrik menggunakan Piezoelektrik

Eddy Wijanto[1], Budi Harsono[2], Rendy Renandy[3], Ade Septian[4], Kevin Sutanto[5]

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Kristen Krida Wacana – Jakarta
[1]eddy.wiyanto@ukrida.ac.id, [2]budi.harsono@ukrida.ac.id,
[3]rendy.2015te002@civitas.ukrida.ac.id, [4]ade.2015te007@civitas.ukrida.ac.id,
[5]kevin.2015te008@civitas.ukrida.ac.id

Ringkasan

Beberapa penelitian terkait energi terbarukan, seperti energi air, angin, dan bahkan nuklir telah dilakukan. Namun, suara sebagai energi mekanik, ternyata juga memiliki potensi untuk menjadi salah satu alternatif energi. Sebagai konsekuensi dari Hukum Kekekalan Energi, energi suara dapat diubah menjadi energi listrik. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian sistem konversi energi suara menjadi energi listrik, dengan memanfaatkan komponen piezoelektrik. Berdasarkan data *baseline* dari beberapa area jalan dan pabrik, dilakukan pengukuran dengan menggunakan *signal generator* sebagai sumber suara dan *piezoelectric* sebagai *transducer* yang mengkonversi energi suara menjadi energi listrik. Nilai frekuensi yang dihasilkan berada pada kisaran tertentu, dan nilai tertinggi berkisar diantara 760-780 Hz. Semakin dekat sumber suara, resonansi semakin sering terjadi dan tegangan yang dihasilkan *Piezoelectric Transducer* semakin besar.

Kata kunci: energi terbarukan, energi suara, konversi energi, piezoelektrik

1. Pendahuluan

Berdasarkan data dari *Statistical Review of World Energy*, Indonesia dengan jumlah penduduk terbesar keempat di dunia setelah Cina, India, dan Amerika Serikat, berada pada posisi ke 20 pada tingkat konsumsi energi dunia dengan total konsumsi sebesar 1,1% dari total energi dunia. Data yang dikeluarkan oleh kementerian ESDM dalam *Blue Print* Pengelolaan Energi Nasional menunjukkan bahwa dengan kondisi produksi minyak saat ini dan perjanjian bagi hasil yang sedang berlaku, Indonesia harus mengimpor minyak mentah sebesar 487 ribu barel per hari dan produk minyak sebesar 212 ribu barel per hari, melebihi besar ekspor minyak mentahnya sebesar 514 ribu barel per hari [1].

Kebutuhan akan energi di Indonesia makin berkembang seiring dengan pesatnya peningkatan pembangunan di bidang teknologi, industri, dan informasi. Dengan tingginya konsumsi energi di Indonesia dan semakin berkurangnya cadangan energi fosil, maka Indonesia sudah saatnya untuk secara serius mengembangkan energi non fosil, diantaranya dengan energi terbarukan. Berbagai bentuk energi terbaru telah dikembangkan, diantaranya tenaga angin, tenaga uap, biomassa, dan sebagainya [1].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1. Ketersediaan Energi

No.	Jenis Energi	Ketersediaan Energi (MW)
1.	Batubara	28.050
2.	Gas	14.760
3.	Minyak	320
4.	Solar	4.060
5.	Panas Bumi	430
6.	Air	10.310
7.	*Biomass*	460
8.	Lain-lain	370

Hukum Kekekalan Energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, energi hanya dapat berubah bentuk. Dengan hukum tersebut, pada dasarnya energi suara juga dapat diubah bentuknya menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan manusia. Lokasi-lokasi dengan tingkat kebisingan yang tinggi, seperti di jalan raya, dimana arus lalu lintas cukup padat di Indonesia, khususnya di kota-kota besar; di pabrik, juga memiliki tingkat kebisingan yang tinggi. Melihat adanya peluang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan sebuah sistem konversi energi suara kebisingan menjadi energi listrik [1].

2. Konsep Dasar

2.1 Energi Terbarukan

Konsep energi terbarukan mulai dikenal pada tahun 1970. Ide pengembangan energi terbarukan muncul seiring dengan semakin terbatasnya energi fosil yang merupakan energi tak terbarukan. Pada dasarnya, energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat dengan cepat dipulihkan kembali secara alami dan prosesnya berkelanjutan. Energi terbarukan senantiasa tersedia di alam dalam waktu yang relatif sangat panjang [1].



Gambar 1. Energi Terbarukan [1]

Energi terbarukan bersifat ramah lingkungan, aman, dan terjangkau masyarakat. Penggunaan energi terbarukan lebih ramah lingkungan karena mampu mengurangi pencemaran lingkungan dan kerusakan lingkungan dibandingkan dengan energi tak terbarukan. Adapun contoh dari energi terbarukan adalah sebagai berikut:

1. Angin

   Angin merupakan salah satu sumber energi yang terbarukan. Selama bumi ini masih ada, maka angin akan tetap ada selamanya karena ketersediaannya tidak

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

terbatas. Angin seringkali dimanfaatkan dalam teknologi kincir angin, khususnya di negara dengan intensitas angin yang tinggi. Angin ini akan mendorong turbin dari kincir angin yang dapat menghasilkan energi listrik.

2. Matahari
   Matahari merupakan sumber energi paling penting dalam kehidupan manusia. Sumber energi panas dari matahari juga banyak digunakan untuk berbagai macam aktivitas, seperti fotosintesis buatan, listrik tenaga surya, dan sebagainya.
3. Panas Bumi
   Sumber energi panas bumi atau geothermal merupakan energi panas dari kerak bumi. Energi geothermal diperoleh akibat peluruhan radioaktif dan juga pelepasan kalor atau panas secara terus-menerus di dalam bumi.
4. *Biofuel*
   Biofuel merupakan bahan bakar yang dihasilkan dari bahan-bahan organik. Sumber dari energi terbarukan ini adalah tanaman yang memiliki kandungan gula tinggi, seperti tebu dan sorgum, serta tanaman yang memiliki kandungan minyak nabati tinggi, seperti kelapa sawit, ganggang, dan jarak.
5. Air
   Energi air juga merupakan energi alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Sumber energi ini didapatkan dengan memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik yang dimiliki oleh air.
6. Biomassa
   Biomassa merupakan energi terbarukan yang mengacu pada bahan biologis yang berasal dari organisme yang masih hidup ataupun yang belum lama mati.

2.2. Suara dan Energi Suara

Suara atau kebisingan merupakan salah satu sumber energi yang tersedia secara luas. Suara pada dasarnya merupakan gelombang mekanik yang dihasilkan dari osilasi tekanan melalui beberapa media. Suara yang dapat didengar oleh indera pendengaran manusia memiliki frekuensi dari sekitar 20 Hz sampai 20.000 Hz. Di udara pada suhu dan tekanan standar, panjang gelombang suara berkisar dari 17 m sampai 17 mm.

Energi suara adalah energi yang dihasilkan oleh getaran suara saat melakukan perjalanan melalui udara, air, atau ruang lainnya. Frekuensi dari sumber energi suara yang pertama adalah infrasonik. Infrasonik adalah suara yang sangat lemah karena jumlah getaran yang dihasilkan pada gelombang infrasonik kurang dari 20 getaran per detik. Audiosonik adalah jenis suara yang dapat didengar oleh manusia. Gelombang Ultrasonik adalah gelombang dengan jumlah getaran suara lebih dari 20.000 getaran per detik.

Kebisingan adalah polusi suara yang pada umumnya terjadi pada daerah-daerah pemukiman yang padat, kawasan industri, dan lain-lain. Oleh karena itu, kebisingan yang merupakan energi suara yang terbuang, biasanya diminimalisasi. Efek psikologis dan kesehatan yang ditimbulkan oleh kebisingan, antara lain tuli, merasa tertekan, hipertensi, dan lain-lain. Untuk mencegah hal-hal tersebut, pekerja yang berada di daerah dengan tingkat kebisingan tinggi pada umumnya diwajibkan memakai pelindung [2].

Sebagai salah satu bentuk energi, kebisingan dapat dimanfaatkan. Hambatan dalam penggunaan energi kebisingan ini, antara lain kekonsistenan dari sumber energi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

kebisingan. Untuk kawasan industri yang mengoperasikan mesin-mesin secara terus-menerus, kebisingan relatif konstan. Solusi untuk permasalahan ini antara lain dengan mengefektifkan komponen penyimpanan energi.

Salah satu pemanfaatan energi kebisingan adalah pada *Sound-Driven Piezoelectric Nanowire*. Penelitian ini dilakukan oleh beberapa peneliti asal Korea Selatan dimana dalam penelitian ini sumber energi telepon akan diperoleh dari energi suara pembicaraan dan suara lain yang ada di sekitarnya, seperti suara kebisingan yang dihasilkan oleh kendaraan yang melintas [3]. Adapun kelemahan dari penelitian ini adalah tingkat energi yang dihasilkan masih cukup kecil dan belum ada mekanisme optimalisasi dan penyimpanan energi.

Penelitian lain mengenai pemanfaatan energi suara dilakukan oleh Orest Symko yang memanfaatkan energi suara yang berasal dari udara untuk mengubahnya menjadi energi listrik. Prosesnya dilakukan dengan sebuah silinder yang ditempatkan di antara *hot heat exchanger* dan *cold heat exchanger*. Selanjutnya panas diberikan sehingga udara akan mengalir dan akan mengeluarkan suara dengan frekeunsi tertentu. Adanya frekeunsi ini akan mengakibatkan terjadinya fenomena resonansi. Frekuensi ini akan mengakibatkan silinder bergerak dan menekan piezoelektrik sehingga menghasilkan energi listrik. Penelitian ini lebih berfokus kepada perancangan sensor suara.

Berdasarkan dua penelitian sebelumnya, pada penelitian ini akan dirancang sebuah sistem konversi energi suara menjadi energi listrik, sebagai konsekuensi dari Hukum Kekekalan Energi, dimana suara sebagai energi mekanik dapat diubah menjadi energi listrik [4]. Penelitian ini diawali dengan pengambilan data *baseline* di beberapa lokasi dengan tingkat kebisingan suara yang cukup tinggi, seperti pabrik dan jalan raya. Berdasarkan hasil data awal tersebut, *signal generator* digunakan sebagai pengganti sumber suara. Suara yang dihasilkan dari *signal generator* kemudian difokuskan dengaan memanfaatkan tabung resonansi untuk selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik dengan piezoelektrik.

2.3. Piezoelektrisitas

Piezoelektrisitas adalah sebuah fenomena saat sebuah gaya yang diterapkan pada suatu bahan menimbulkan muatan listrik pada permukaan bahan tersebut yang disebabkan oleh adanya distribusi muatan listrik pada sel-sel kristal. Nilai koefisien muatan piezoelektrik berada pada rentang 1–100 pico coloumb/Newton.

Piezoelectric berasal dari bahasa Yunani, yaitu *piezo* yang berarti tekanan dan *electric* yang berarti listrik. Material *Piezoelectric* pertama kali ditemukan pada tahun 1880 oleh Jacques dan Pierre Curie. Jacques dan Pierre Curie mengombinasikan pengetahuan akan piroelektrisitas (kemampuan bahan-bahan tertentu untuk menghasilkan sebuah potensial listrik saat bahan-bahan itu dipanaskan atau didinginkan) dengan pemahaman akan struktur dan perilaku sebuah kristal pada kristal turmalin, kuarsa, dan garam rossel. Dari uji coba tersebut diketahui bahwa kristal kuarsa dan garam rossel memperlihatkan kemampuan piezoelektrisitas paling besar saat itu [5]. Bahan piezoelektrik adalah suatu bahan yang apabila diberikan tekanan mekanik akan menghasilkan medan listrik, sebaliknya apabila medan listrik diterapkan pada bahan *piezoelectric* akan terjadi deformasi mekanik. Sifat yang *reversible* ini membuat material *Piezoelectric* dapat berfungsi sebagai transduser dan aktuator [6].

Adapun kelebihan dari *piezoelectric* adalah *piezoelectric* tidak memerlukan daya dari luar dan dapat digunakan pada perangkat yang berukuran kecil, sedangkan kelemahan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dari *piezoelectric* adalah adanya kebocoran muatan pada material *piezoelectric*, sehingga ada suatu konstanta waktu penyimpanan tegangan setelah diberikan gaya [7].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data *Baseline*

Untuk merancang sistem konversi energi suara kebisingan menjadi energi listrik, dilakukan pengambilan data *baseline* di beberapa area jalan dan pabrik. Adapun hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Ruas Jalan: Kawasan Perumahan Banjar Wijaya Tangerang
   Hasil yang diperoleh:
   a. Rata-Rata Kebisingan Suara sekitar 87 dB
   b. Frekuensi berkisar antara 50-500 Hz
   c. Lokasi jalan jarang dilalui kendaraan bermotor.
   Jalan Daan Mogot
   Hasil yang diperoleh:
   a. Rata-Rata Kebisingan Suara sekitar 90 dB
   b. Frekuensi berkisar antara 50-100 Hz
   c. Lokasi jalan cukup banyak dilalui kendaraan bermotor sebagai jalan utama
2. Pabrik: PT Karilla Berkat Abadi, Berlokasi di Jl. Quary D. No. 38 RT. 05 RW. 01 Kp. Lulut, Desa Lulut, Kec. Klapanunggal, Kab. Bogor. Konsentrasi Produk: Katup Tabung LPG dan Katup Tabung Baja LPG
   Kesimpulan dari hasil pengambilan data di PT Karilla Berkat Abadi:
   a. Rata-rata kebisingan suara sekitar 100 dB
   b. Frekuensi berkisar antara 5-10 kHz
   PT Indodaya Cipta Lestari; Lokasi: Jl. Nusa Indah No. 62/63, Kapuk, Cengkareng, Kota Jakarta Barat, DKI Jakarta. Konsentrasi Produk: Trafo (*Transformator*) dan *Power Supply*

3.2 Hasil Pengamatan

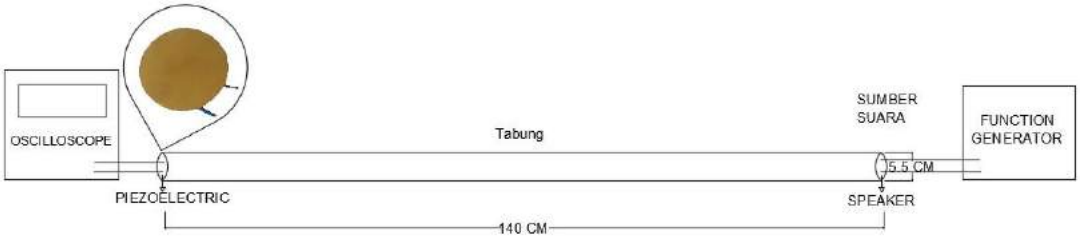
Berdasarkan data *baseline* yang telah diperoleh, dilakukan pengukuran dengan menggunakan *signal generator* sebagai sumber suara, tabung resonansi untuk memfokuskan suara yang akan dikonversi, piezoelektrik sebagai *transducer* pengubah energi getaran suara menjadi energi listrik. Adapun pengukuran dilakukan dengan beberapa kondisi yang berbeda.

1. Kondisi I: Sumber suara sejauh 2,5 cm dari ujung tabung yang diamati, Panjang tabung 0,99 m dengan diameter 5,5 cm
2. Kondisi II: Sumber suara sejauh 2 cm dari ujung tabung yang diamati, Panjang tabung 1,40 m dengan diameter 4 cm
3. Kondisi III: Sumber suara sejauh 14 cm dari ujung tabung yang diamati, Panjang tabung 0,99 m dengan diameter 5,5 cm
4. Kondisi IV: Sumber suara diletakkan 14 cm dari ujung tabung yang diamati, Panjang tabung adalah 1,40 m dan mempunyai diameter 4 cm

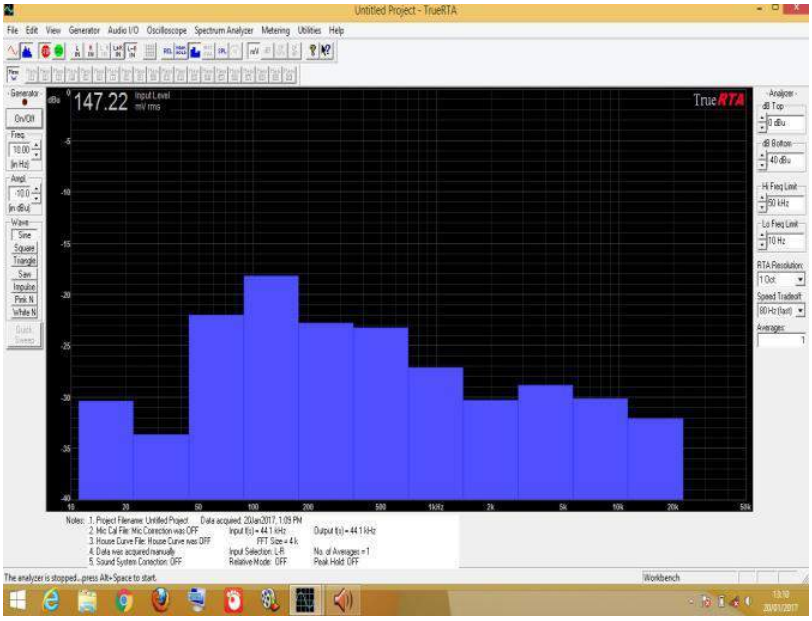
Berdasarkan hasil pengukuran yang sudah dilakukan, dapat dirangkum dalam Gambar 7 – 10. Dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa nilai frekuensi yang dihasilkan akan berada pada kisaran tertentu, dan nilai tertinggi selalu berkisar diantara

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

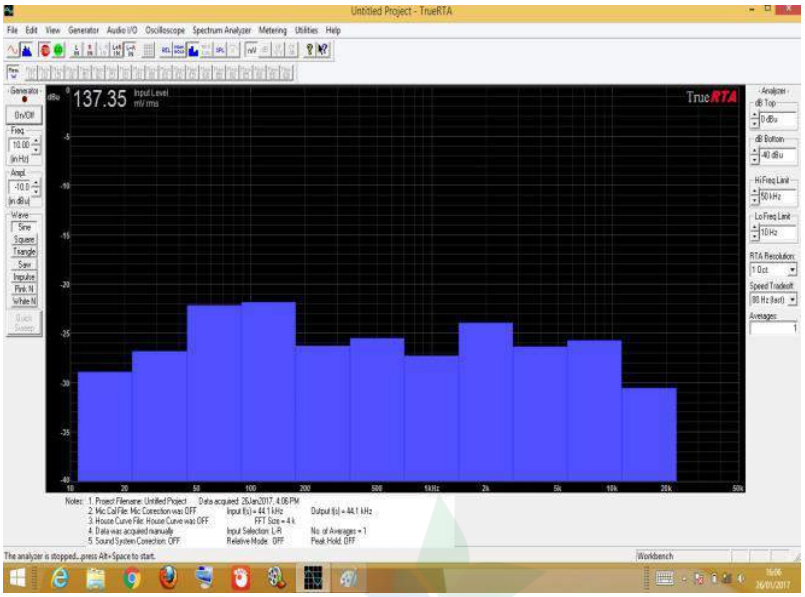
760-780 Hz. Semakin dekat sumber suara, resonansi semakin sering terjadi dan tegangan yang dihasilkan *Piezoelectric Transducers* semakin besar. Semakin panjang tabung yang digunakan, semakin rendah frekuensi yang dihasilkan



Gambar 2. Rancang bangun *Piezoelectric*

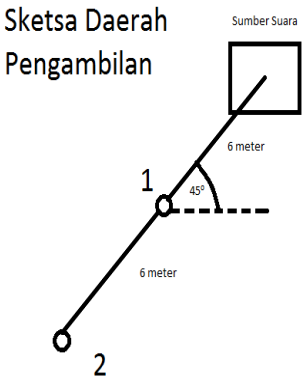


Gambar 3. Hasil pengukuran di Kawasan Perumahan Banjar Wijaya, Tangerang



Gambar 4. Hasil pengukuran di Jalan Daan Mogot

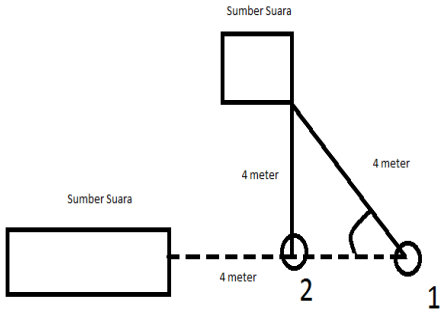
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 5. Titik pengambilan data

Tabel 2. Hasil pengamatan di PT Karilla Berkat Abadi

Pengamatan ke-	Hasil Posisi 1	Hasil Posisi 2
Satu	101,9 dB	97,7 dB
Dua	101,9 dB	98,1 dB
Tiga	101,5 dB	102,3 dB
Empat	102,0 dB	101,2 dB
Lima	102,2 dB	101,1 dB



Gambar 6. Titik pengambilan data

Tabel 3. Hasil pengamatan di PT Indodaya Cipta Lestari

Pengamatan ke-	Hasil Posisi 1	Hasil Posisi 2
Satu	97,9 dB	99,7 dB
Dua	98,3 dB	100,4 dB
Tiga	99,0 dB	99,9 dB
Empat	98,6 dB	100,1 dB
Lima	99,1 dB	100,0 dB

Tabel 4. Hasil pengamatan untuk Kondisi I

	Frekuensi									
	254,1 Hz	323,8 Hz	432,1 Hz	608,2 Hz	768,3 Hz	934,3 Hz	1,10 kHz	1,42 kHz	1,77 kHz	2,57 kHz
Vpeak to peak	14,2 mV	16,8 mV	32,8 mV	22,4 mV	272 mV	89,6 mV	42,4 mV	24,0 mV	21,2 mV	40,6 mV

Tabel 5. Hasil pengamatan untuk Kondisi II

	Frekuensi									
	227,3 Hz	426,4 Hz	561,6 Hz	783,1 Hz	906,3 Hz	1,02 kHz	1,14 kHz	1,56 kHz	2,42 kHz	2,65 kHz
Vpeak to peak	12,8 mV	29,2 mV	36,4 mV	230,4 mV	62,4 mV	24,0 mV	17,6 mV	12,0 mV	17,2 mV	38,4 mV

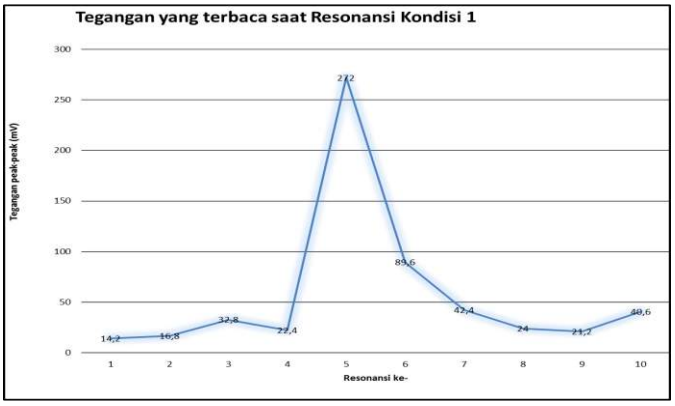
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 6. Hasil pengamatan untuk Kondisi III

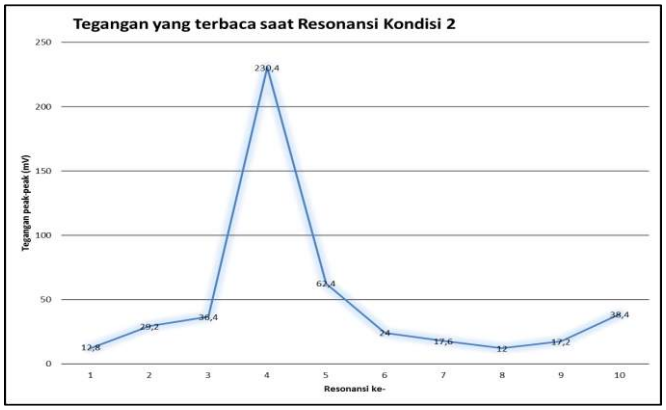
	Frekuensi				
	618,3 Hz	785,8 Hz	954,2 Hz	1,12 kHz	1,41 kHz
Vpeak to peak	9,0 mV	40 mV	18,4 mV	17,0 mV	8,8 mV

Tabel 7. Hasil pengamatan untuk Kondisi IV

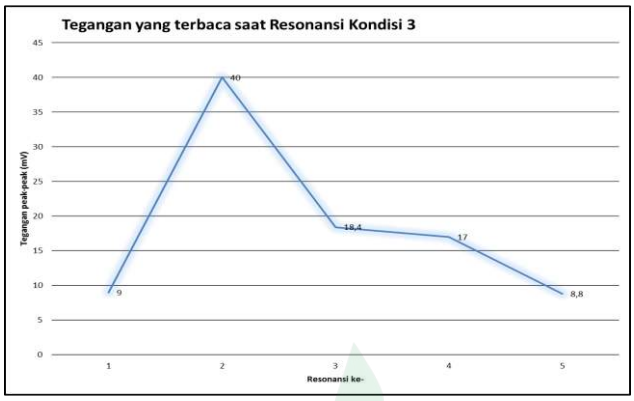
	Frekuensi				
	784,8 Hz	950,3 Hz	1,18 kHz	1,68 kHz	2,61 kHz
Vpeak to peak	33,6 mV	11,6 mV	7,2 mV	11,4 mV	20,6 mV



Gambar 7. Grafik hasil pengukuran Vpp untuk kondisi I

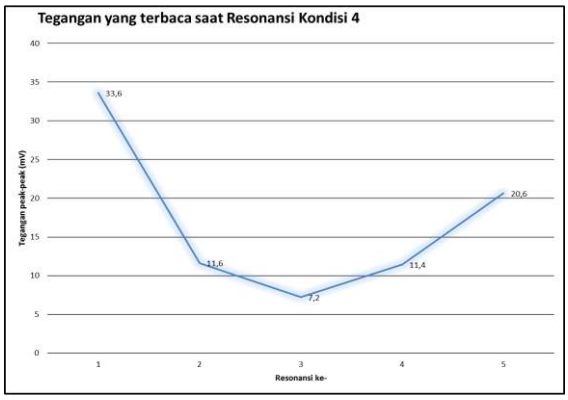


Gambar 8. Grafik hasil pengukuran Vpp untuk kondisi II



Gambar 9. Grafik hasil pengukuran Vpp untuk kondisi III

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 10. Grafik hasil pengukuran Vpp untuk kondisi IV

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisisnya, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengukuran data *baseline*, untuk area jalan raya, intensitas suara antara 87-90 dB sedangkan untuk area pabrik, intensitas suara 97-101 dB
2. Tegangan keluaran *Piezoelectric Transducers* akan semakin besar apabila sumber suara semakin dekat dengan ujung tabung.
3. Nilai frekuensi saat terjadi resonansi berkisar di antara 760 – 780 Hz, dan berbanding terbalik dengan panjang tabung yang dipakai.
4. Energi suara memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif yang terbarukan
5. Posisi alat terhadap sumber suara menentukan besaran energi listrik yang dihasilkan

Daftar Pustaka

[1]. Kementerian ESDM RI, "Peluang Menawan Bisnis Energi Terbarukan di Indonesia", *Kompasiana*, 2017.

[2]. Schaijk, Van, Elfrink, Kamel, Goedbloed, "Piezoelectric AIN Energy Harvesters for Wireless Autonomous Transducer Solutions", *IEEE Sensors Conference*, 2008.

[3]. Cha, Seung Nam, Ju-Seok Seo, Seong Min Kim, Hyun Jin Kim, Young Jun Park, Sang-Woo Kim, Jong Min Kim, "Sound-Driven Piezoelectric Nanowire-Based Nanogenerators", *Advanced Materials*, pp. 4726-4730, 2010.

[4]. Gupta, Alankrit, Vivek Goel, Vivek Yadav, "Conversion of Sound to Electric Energy", *International Journal of Scientific and Engineering Research*, Vol. 05 Issue 1, January 2014.

[5]. Saadon, Salem, Othman, "A Review of Vibration-Based MEMS Piezoelectric Energy Harvesters", *Energy Conversion and Management*, Vol. 52 Issue 1, pp. 500-504, January 2011.

[6]. Kim, Heung Soo, Joo-Hyong Kim, Jaehwan Kim, "A Review of Piezoelectric Energy Harvesting Based on Vibration", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 12 No. 8, pp. 1129-1141, 2011.

[7]. Minazara, Vasic, Costa, Poulin, "Piezoelectric Diaphragm for Vibration Energy Harvesting", *Ultrasonics*, Vol. 22, pp. e609–e703, December 2006.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JURNAL KETAHANAN NASIONAL
P-ISSN: 0853-9340, e-ISSN: 2527-9688
Online sejak 28 Desember 2015 di: http://jurnal.ugm.ac.id/JKN

VOLUME 22 No. 3, 27 Desember 2016 Halaman 285-305

PERAN PEMUDA DALAM PENGEMBANGAN EDUWISATA ENERGI TERBARUKAN DAN IMPLIKASINYA TERHADAP KETAHANAN EKONOMI WILAYAH

(Studi di Desa Poncosari Kecamatan Srandakan Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta)

Ilma Fatimah Yusuf
Forum CSR Kessos DIY
Ilmafatimah92@gmail.com

Edhi Martono
Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada
edhi.martono@ugm.ac.id

Agus Prasetya
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
aguspras@ugm.ac.id

ABSTRACT

This research studied the role of youngster in development of renewable energy edutourism and its implication towards the regional economy resilience (study in Poncosari Village, Srandakan Subdistrict, Bantul Regency, Yogyakarta). Mean while the purpose of this research was to analyzed the role of youngster in development of renewable energy edutourism, and also to analyzed the implication of the role of youngster in development of renewable energy edutourism towards the regional economy resilience.

This research used qualitative descriptive method. Data collection technique was conducted by five steps, i.e.: 1) Observation, 2) Interview, 3) Documentation, 4) Literature, 5) Internet. Whereas data validity was conducted by cross check data technique.

The result of research showed the role of youngster joined in Work Group of renewable energy edutourism had conducted promotion in some educational institution or wide society, either directly or through printed media and online. The development of renewable energy edutourism had significant impact towards the regional economy resilience, because it had increased economical income of surrounding people. It could be considere as manifestation of the familial economical resilience of which was as basic of the regional economy resilience.

Keyword: The Role of Youngster, Development of Edutourism, Renewable Energy, Regional Economy Resilience.

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji peran pemuda dalam pengembangan eduwisata energi terbarukan dan implikasinya terhadap ketahanan ekonomi wilayah (Studi di Desa Poncosari, Kecamatan Srandakan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta). Adapun tujuan penelitian ini untuk menganalisis peran pemuda dalam pengembangan eduwisata energi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

terbarukan, serta untuk menganalisis implikasi peran pemuda dalam pengembangan eduwisata energi terbarukan terhadap ketahanan ekonomi wilayah.

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif. PTeknik pengumpulan data dilakukan dengan lima tahap, yaitu: 1) Observasi, 2) Wawancara, 3) Dokumentasi 4) Kepustakaan, 5) Internet. Adapun validitas data dengan menggunakan teknik *cross check* data.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peran pemuda yang tergabung dalam POKJA eduwisata energi terbarukan telah melakukan promosi di beberapa instansi pendidikan maupun masyarakat luas, baik secara langsung maupun melalui media cetak dan *online*. Implikasi peran pemuda dalam pengembangan eduwisata energi terbarukan dapat dilihat dari jumlah pengunjung yang berkunjung langsung berkoordinasi dengan pengelola PLTH dan BIOGAS lebih banyak jika dibandingkan dengan yang menggunakan jasa POKJA. Pengembangan eduwisata energi terbarukan mempunyai dampak yang signifikan terhadap ketahanan ekonomi wilayah, karena telah meningkatkan pendapatan ekonomi warga sekitar. Hal ini dapat dikatakan sebagai wujud dari ketahanan ekonomi keluarga yang merupakan dasar dari ketahanan ekonomi wilayah.

Kata Kunci*:* ***Peran Pemuda, Pengembangan Eduwisata, Energi Terbarukan, Ketahanan Ekonomi Wilayah.***

PENGANTAR

Ketahanan nasional merupakan sebuah konsepsi pertahanan yang bersifat semesta, serta bertujuan untuk kelangsungan hidup bangsa dan negara Indonesia yang merdeka dan berdaulat dengan mendasarkan pada kekuatan diri sendiri (Departemen Pertahanan RI, 2008). Sistem ketahanan nasional pada dasarnya bersifat semesta bercirikan pada kerakyatan, artinya hal tersebut diorientasikan untuk kepentingan rakyat. Berdasarkan hal tersebut, maka sumber daya (SDA dan SDM) yang ada didayagunakan sebagai upaya kepentingan sekaligus pertahanan nasional. Maka konsepsi ketahanan nasional (Indonesia) mencakup seluruh kehidupan nasional dirinci menjadi delapan aspek kehidupan, atau sering disebut sebagai Astagatra, yang terdiri dari trigatra dan pancagatra (Lemhannas, 1997). Trigatra merupakan aspek-aspek yang memang sudah melekat pada suatu negara dan bersifat alamiah. Unsur trigatra meliputi aspek geografi, kekayaan alam dan kependudukan. Pancagatra merupakan aspek-aspek kehidupan nasional yang menyangkut tata kehidupan dan pergaulan hidup manusia dalam bermasyarakat dan bernegara yang diikat dengan aturan-aturan atau norma tertentu. Berkaitan dengan hal tersebut, maka konsep pancagatra sering disebut sebagai aspek sosial, yang mencakup unsur ideologi, politik, sosial-budaya, ekonomi dan keamanan.

Setiap negara sudah semestinya mempunyai tugas dan tanggung jawab untuk menjaga dan melindungi kedua aspek tersebut, baik yang bersifat alamiah maupun yang bersifat sosial. Tugas dan tanggungjawab tersebut tidak hanya dibebankan pada aparatur atau perangkat kenegaraan semata, akan tetapi semua warga negara juga mempunyai tugas dan tanggungjawab secara bersama untuk mempertahankan kedua aspek tersebut. Hal ini dilakukan supaya kedaulatan negara, keutuhan wilayah NKRI, keadilan dan kesejahteraan rakyat serta keselamatan segenap bangsa dapat terjaga dan terjamin dari segala bentuk ancaman baik dari dalam negeri maupun dari luar negeri.

Salah satu gatra dalam mewujudkan ketahanan nasional adalah aspek ekonomi. Ekonomi sebagai salah satu gatra dalam konsepsi ketahanan nasional merupakan faktor

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

penting bagi kemajuan dan kesejahteraan sebuah bangsa. Semakin tinggi laju pertumbuhan ekonomi suatu negara seringkali menjadi tolok ukur kesejahteraan rakyat dan kemajuan sebuah bangsa. Bahkan perekonomian suatu negara dapat mempengaruhi kondisi sosial dan politik. Artinya, konflik sosial dan stabilitas politik yang dapat mengancam disintegrasi bangsa seringkali dipengaruhi oleh faktor ekonomi. Begitupula dengan pembangunan, baik dari segi infrastruktur maupun suprastruktur juga membutuhkan prasyarat ekonomi. Maka dari itu, stabilitas dan laju pertumbuhan ekonomi perlu diwujudkan agar ketahanan nasional dapat terwujud.

Kaitannya dalam mewujudkan ketahanan nasional, khususnya dalam bidang ekonomi, seperti yang sudah diulas pada alinea di atas harus melibatkan semua elemen yang ada, salah satunya adalah pemuda. Di tengah-tengah iklim globalisasi yang bermuara pada pasar bebas, maka pemuda sebagai generasi penerus bangsa perlu di dorong untuk meningkatkan daya produktivitas ekonomi, sehingga mampu bersaing dalam kompetisi tersebut. Tanpa adanya produktivitas kemandirian ekonomi, maka pemuda hanya akan menjadi konsumen, bukan produsen. Jika masyarakat Indonesia, khususnya pemuda sebagai generasi penerus bangsa hanya sebagai konsumen, maka laju perekonomian suatu negara akan mengalami stagnasi, sehingga ketahanan ekonomi akan sulit untuk terwujud. Pasalnya, tingkat produktivitas kemandirian ekonomi akan berdampak pada laju pertumbuhan ekonomi suatu negara.

Selanjutnya, laju pertumbuhan ekonomi suatu negara akan ditopang oleh peningkatan perekonomian suatu daerah. Maka dari itu, ketahanan ekonomi suatu daerah merupakan basis dari ketahanan nasional dalam bidang ekonomi, sehingga produktivitas ekonomi daerah merupakan syarat utama. Kemudian implementasi dari produktivitas ekonomi tidak hanya bersifat *top down* (dari atas), namun juga *bottom up* (dari bawah). Artinya di satu sisi pemerintah juga harus memberikan stimulus respon kepada masyarakat, khususnya pemuda untuk semakin produktif, namun di sisi lain, pemuda juga harus mempunyai daya kreatif dalam pengembangan ekonomi.

Selanjutnya, produktivitas ekonomi juga harus mendasarkan pada realitas objektif, artinya pengembangan perekonomian harus sesuai dengan potensi yang ada. Produktivitas ekonomi tanpa dilandasi oleh kondisi objektif, akan mengalami kesulitan dalam pengembangannya, bahkan dapat berujung pada stagnasi perekonomian. Senada dengan hal tersebut, Desa Poncosari yang notabene terletak di daerah pantai selatan Yogyakarta, sangat potensial jika dikembangkan sebagai objek wisata. Terlebih di daerah Pantai Baru Pandansimo terdapat pengembangan teknologi energi terbarukan, yaitu PLTH dan BIOGAS. Keberadaan diversifikasi energi terbarukan tersebut juga telah dimanfaaatkan oleh Pemuda Desa Poncosari sebagai objek wisata pendidikan. Keberadaan Pantai Baru Pandansimo yang di dalamnya terdapat pengembangan teknologi energi terbarukan merupakan kondisi objektif bagi masyarakat setempat untuk mengembangkan tempat tersebut sebagai objek wisata. Keberadaan PLTH dan BIOGAS yang dijadikan sebagai objek wisata berbasis pendidikan dapat menjadi daya tarik wisatawan untuk mengadakan kunjungan wisata. Pasalnya, secara kuantitatif jumlah objek wisata pendidikan masih minim, terlebih eduwisata energi terbarukan di Yogyakarta hanya ada di Desa Poncosari.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pengembangan eduwisata energi terbarukan telah diinisiasi oleh PUSTEK UGM yang bekerjasama dengan Karang Taruna Desa Poncosari. Kerjasama tersebut terjalin sejak tahun 2011 hingga tahun 2013, dengan membentuk Kelompok Kerja (POKJA) Eduwisata Energi Terbarukan dengan mengakomodir Pemuda Desa Poncosari. Pemuda Desa Poncosari yang tergabung dalam POKJA merupakan motor penggerak dari pengembangan eduwisata energi terbarukan tersebut. Berbagai pembekalan atau pelatihan telah dilakukan oleh PUSTEK UGM, agar pemuda yang tergabung dalam POKJA dapat mengembangkan eduwisata energy terbarukan secara mandiri.

Adapun harapan dari pengembangan eduwisata energi terbarukan yang dikelola oleh POKJA adalah untuk meminimalisir angka pengangguran dengan mendorong produktivitas pemuda, sehingga pemuda menjadi mempunyai penghasilan. Pengembangan eduwisata energi terbarukan yang dikelola oleh pemuda mempunyai implikasi terhadap ketahanan ekonomi wilayah. Pasalnya dengan adanya pengembangan eduwisata energi terbarukan, selain pemuda menjadi memperoleh penghasilan juga telah menjadi daya tarik wisatawan untuk berkunjung. Hal ini dapat dilihat dari meningkatnya jumlah wisatawan yang berkunjung dari tahun ke tahun. Untuk itu, penelitian ini menganalisis peran pemuda dalam pengembangan eduwisata energi terbarukan dan implikasinya terhadap ketahanan ekonomi wilayah.

Terdapat enam teori dalam penelitian ini yang bertujuan untuk mengarahkan peneliti agar mudah untuk melakukan penelitian. Adapun teori yang dimaksud adalah sebagai berikut.

Pertama, teori tentang peran erat kaitannya dengan keterlibatan atau partisipasi seseorang dalam sebuah kegiatan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Maksud dari peran secara langsung adalah ketika seseorang terlibat aktif dalam sebuah proses kegiatan. Peran tidak langsung adalah ketika seseorang tidak melibatkan dirinya secara langsung dalam sebuah proses kegiatan namun, namun mempunyai peranan dalam terselenggarannya kegiatan tersebut.

Kedua, tentang pemuda yang dapat dilihat dalam Undang-Undang Nomor 40 Tahun 2009 Tentang Kepemudaan Pasal 1 ayat 1, bahwa yang disebut pemuda adalah warga negara Indonesia yang sedang dalam masa pertumbuhan dan perkembangan usia 16 (enam belas) sampai 30 (tiga puluh) tahun.

Ketiga, eduwisata atau sering disebut sebagai wisata yang bersifat edukatif merupakan suatu konsep yang menggabungkan unsur wisata dengan muatan pendidikan di dalamnya. Menurut Rodger wisata pendidikan dimaksudkan sebagai suatu program di mana peserta kegiatan wisata melakukan perjalanan wisata pada suatu tempat tertentu dalam suatu kelompok dengan tujuan utama mendapatkan pengalaman belajar secara langsung terkait dengan lokasi yang dikunjungi (Anonim, 2013).

Keempat, energi terbarukan merupakan energi atau sumber energi yang dapat diperbaharui secara terus menerus, seperti air, panas bumi, energi surya, biomassa, gelombang, arus laut dan angin.

Kelima, ketahanan nasional merupakan sebuah konsepsi pertahanan yang bersifat semesta, serta bertujuan untuk kelangsungan hidup bangsa dan negara Indonesia yang merdeka dan berdaulat dengan mendasarkan pada kekuatan diri sendiri (Departemen Pertahanan RI, 2008).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Keenam, ketahanan ekonomi adalah suatu kondisi dinamika wilayah yang berisi keuletan dan ketangguhan yang mengandung kemampuan untuk mengembangkan kekuatan dalam menghadapi dan mengatasi segala tantangan, ancaman, hambatan serta gangguan yang datang dari luar maupun dari dalam, baik secara langsung maupun tidak langsung membahayakan kehidupan ekonomi wilayah (Kusumasari, 2014).

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif, dimana peneliti akan mendeskripsikan fenomena tentang topik penelitian yang sedang dikaji. Adapun penentuan informan dalam penelitian ini dilakukan berdasar pada kriteria tertentu yang dapat menunjang penelitian ini. Selanjutnya teknik pengumpulan data dilakukan dengan lima tahap, yaitu: (1) Observasi, (2) Wawancara, (3) Dokumentasi (4) Kepustakaan, (5) Internet (Burhan, 2003). Adapun validasi data dengan menggunakan teknik *cross check* data. Kemudian teknik analisis data dalam penelitian ini, yakni: (1) reduksi data, (2) kategori data, (3) penyajian data, dan (4) penarikan kesimpulan (Sugoyono, 2007).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menjawab perumusan masalah yaitu untuk mengetahui konsep dan peran pemuda dalam mengembangkan kawasan Eduwisata Energi Terbarukan di Desa Poncosari, dan untuk mengidentifikasi peranan pemuda dalam pengembangan kawasan Eduwisata Energi Terbarukan Poncosari yang berimplikasi terhadap ketahanan ekonomi wilayah.

PEMBAHASAN

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Desa Poncosari terdiri dari 24 Padukuhan yang meliputi 120 Rukun Tetangga (RT). Pada dasarnya Desa Poncosari merupakan penggabungan dari 5 kelurahan, yakni Saptokondo, Wonotingal, Trihudadi, Sambikerto dan Mojourip. Penggabungan dari Lima kelurahan terjadi sejak Tanggal 05 September 1946. Secara geografis Desa Poncosari terletak ke dalam wilayah Kecamatan Srandakan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan luas wilayah 1.130 Ha. Lokasi tersebut berada di bagian barat daya Kabupaten Bantul, kurang lebih 30 kilometer (km) dari Kota Yogyakarta, dan terletak di pesisir pantai selatan (Pandansimo) Yogyakarta, yang berhadapan langsung dengan Samudera Indonesia. Sebelah barat berbatasan langsung dengan Sungai Progo Kabupaten Kulon Progo, sebelah selatan dengan Samudera Indonesia, sebelah timur berbatasan dengan Desa Gadingsari Kecamatan Sanden, dan sebelah utara berbatasan dengan Desa Trimurti.

Desa Poncosari mempunyai Tiga destinasi wisata pantai, yaitu Pandansimo, Pantai Kuwaru, dan Pantai Baru Pandansimo. Dari ketiga pantai tersebut, adalah Pantai Baru Pandansimo merupakan tempat wisata yang paling ramai pengunjung. Pasalnya Pantai Baru merupakan pantai yang paling bersih dan indah daripada kedua pantai yang ada tersebut. Bahkan di dalam kawasan Pantai Baru terdapat pengembangan teknologi energi terbarukan (PLTH dan BIOGAS) yang dijadikan sebagai objek wisata pendidikan. Pengembangan eduwisata energi terbarukan tersebut telah menjadi daya taril masyarakat luas untuk berkunjung ke lokasi wisata tersebut. Hal ini terbukti, bahwa setiap tahunnya jumlah wisatawan yang berkunjung semakin meningkat.

Pengembangan eduwisata energi terbarukan merupakan ide dari PUSTEK UGM yang bekerjasama dengan Karang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Taruna Desa Poncosari untuk membentuk Kelompok Kerja (POKJA). Realiasasi dari ide tersebut adalah dengan diadakannya pelatihan kepada pemuda desa agar mempunyai daya produktivitas. Pemuda yang tergabung dalam POKJA merupakan motor penggerak pengembangan eduwisata energi terbarukan, yang di bentuk pada tahun 2011, yang merupakan awal kerjasama antara PUSTEK UGM dengan pemuda Desa Poncosari untuk mengembangkan PLTH dan BIOGAS sebagai objek wisata. Kerjasama tersebut tertuang dalam sebuah MoU selama 3 tahun, yaitu sampai tahun 2013. Artinya setelah tahun 2013, PUSTEK UGM sudah tidak lagi terlibat secara struktural dalam pengembangan eduwisata tersebut. Akan tetapi pengembangan eduwisata tersebut, harapannya adalah dikelola secara mandiri oleh pemuda yang tergabung dalam POKJA.

Profil Kelompok Kerja Desa Poncosari

Kelompok Kerja atau POKJA eduwisata merupakan wadah perkumpulan warga masyarakat sekitar. Kelompok kerja secara terminologi merupakan wadah yang dibentuk oleh sekelompok orang dengan tujuan untuk mengadakan kegiatan kerja secara bersama. Hal ini sesuai dengan tujuan dibentuknya POKJA eduwisata yaitu untuk mengakomodir warga masyarakat, khususnya pemuda ke dalam suatu kegiatan kerja secara bersama. Kronologis terbentuk POKJA eduwisata tidak lepas dari peran pemuda yang tergabung dalam karang taruna desa. Menurut Pemaparan Nukman selaku ketua POKJA, terbentuknya kelompok kerja berawal dari adanya kerja sama antara Karang Taruna Desa Poncosari dengan Pusat Studi Ekonomi Kerakyatan (PUSTEK) UGM pada Tahun 2011 (Nukman: Ketua Kelompok Kerja/ POKJA, 19 Februari 2016).

Kerjasama tersebut ditujukan untuk pengembangan destinasi wisata Pantai Baru Pandansimo, yaitu keberadaan penganekaragaman teknologi Energi Terbarukan sebagai objek wisata edukatif. Eduwisata Energi Terbarukan tersebut nantinya dikembangkan oleh pemuda yang tergabung dalam Kelompok Kerja (POKJA) Desa Poncosari. Berkaitan dengan hal tersebut, maka PUSTEK UGM memberikan dukungan dengan cara mengadakan pelatihan kepada pemuda Desa Poncosari tentang pembangunan dan manajemen eduwisata energi terbarukan ke depannya. Pelatihan dan pembinaan tersebut diselenggarakan dan dibiayai oleh PUSTEK UGM.

Kelompok Kerja (POKJA) Eduwisata Energi Terbarukan telah dibentuk pada tanggal 25 Maret 2011 di Aula Kantor Desa Poncosari, dan dihadiri oleh sekitar 30-an pemuda, Kepala Desa dan beberapa Kepala Dusun. Nukman Rifa`i ditunjuk sebagai ketua POKJA melalui musyawarah tersebut beserta dengan beberapa anggota pengurus kelompok kerja. Menurut Nukman selaku Ketua POKJA, awal pembentukan kelompok kerja ini terdapat sekitar 38 pemuda yang tergabung, dengan usia sekitar 25–32 tahun.

Pemuda yang tergabung dalam POKJA tersebut tidak hanya pengurus Karang Taruna Desa Poncosari, namun terdapat juga pengurus karang taruna tingkat dusun. Jumlah keseluruhan pemuda tersebut merupakan representasi dari 10 dusun dari jumlah keseluruhan dusun yang ada, yakni 24 dusun. Musyawarah pembentukan POKJA tersebut tidak ditentukan masa bhakti atau periode kepengurusan. Hal ini tentu saja dikarenakan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

masih dalam masa awal pembentukan, sehingga pembahasan belum sampai pada periode kepengurusan. Artinya, musyawarah tersebut baru hanya difokuskan pada pembentukan POKJA dan arah gerak kedepannya, yakni sebagai wadah untuk mendorong kemandirian dan produktivitas pemuda Desa Poncosari.

Pembentukan POKJA tersebut selain untuk mengakomodir warga masyarakat (pemuda), juga merupakan wujud dari pendayagunaan pemuda untuk meningkatkan produktivitasnya. Pemuda yang merupakan generasi penerus bangsa, sehingga sudah selayaknya terlibat dalam pengembangan perekonomian, sehingga peningkatan produktivitas pemuda merupakan hal yang sangat penting dalam menunjang pembangunan ekonomi suatu wilayah.

Dorongan yang dilakukan oleh PUSTEK UGM memberikan *support* agar pemuda semakin produktif, yang diimplementasikan dengan pembentukan POKJA eduwisata energi terbarukan pada tahun 2011. Pembangunan POKJA eduwisata energi terbarukan merupakan ide yang dikembangkan oleh pihak PUSTEK UGM, akan tetapi tanpa adanya kesediaan dan partisipasi karang taruna maka kerjasama tersebut tidak akan terwujud, sehingga kelompok kerja pun tidak akan terbentuk. Artinya, PUSTEK UGM hanya memberikan stimulus respon kepada pemuda Desa Poncosari melalui karang taruna, akan tetapi pengembangan eduwisata energi terbarukan kedepannya dapat di kelola oleh POKJA secara mandiri.

PUSTEK UGM telah memberikan pelatihan dan pendampingan terhadap POKJA dalam pengembangan eduwisata energi terbarukan. Berkaitan dengan hal tersebut, maka setelah dibentuknya POKJA Eduwisata Energi Terbarukan pada tahun 2011, maka pada tahun 2012 PUSTEK UGM telah melakukan upaya untuk meningkatkan kapasitas organisasi dalam pengembangan eduwisata tersebut. Kegiatan tersebut tidak hanya terhenti pada tahun 2012 saja, namun pada tahun 2013 juga terdapat kegiatan yang melibatkan PUSTEK UGM.

Pembinaan dan kegiatan yang diselenggarakan tersebut sebenarnya dapat menjadi bekal bagi pemuda untuk mengembangkan potensi dalam dirinya, sehingga kemandirian dan produktifitas akan semakin berkembang. Pelatihan dan pembinaan yang digagas oleh PUSTEK UGM selama MoU berlangsung masih belum maksimal, dan sejauh ini tidak ada dampak yang signifikan bagi pemuda yang tergabung dalam POKJA eduwisata untuk semakin mandiri dan produktif dalam pengembangan eduwisata tersebut. Hal ini dapat dilihat seiring dengan berjalannya waktu terdapat seleksi alamiah ketidakaktifan pemuda dalam POKJA Desa Poncosari. Pemuda yang awalnya berjumlah 38 orang pada saat awal pembentukan, sekarang yang masih aktif hanya sekitar 15 orang.

Penganekaragaman Energi Terbarukan

Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) dan BIOGAS yang berada di Pantai Baru Pandansimo merupakan bentuk diversifikasi energi terbarukan. Pengertian Hibrid pada umumnya adalah penggunaan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Tujuan utama dari sistem hibrid pada dasarnya adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber energi (sistem pembangkit), yang dikombinasikan dan saling *supply* satu sama

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

lain, sehingga ada efisiensi ekonomis pada beban tertentu. Begitupula dengan sistem kerja dari PLTH, yang mengkombinasikan antara tenaga angin, sinar matahari, diesel atau generator, kemudian dikonversi menjadi energi listrik.

Aplikasi pengembangan teknologi PLTH sebagai sistem pembangkit listrik di Pantai Baru Pandansimo merupakan hal yang sangat realistis dan tepat sasaran. *Pertama*, pancaran sinar matahari (tenaga surya) dan tenaga angin yang kuat menjadi modal dasar dalam pengembangan PLTH, sehingga secara ekonomis menjadi lebih efisien. *Kedua*, sebagai kawasan destinasi wisata yang didirikan pada Tahun 2010 silam belum ada jaringan listrik yang masuk ke sana, seperti PLN.

Energi listrik yang dihasilkan dari PLTH diharapkan dapat membantu atau mendukung aktivitas usaha yang dikembangkan oleh masyarakat yang tinggal di daerah sekitar. Listrik yang dihasikan juga digunakan untuk pengangkatan air bersih dengan menggunakan panel surya. Pemanfaatan air tersebut difungsikan untuk pengairan pertanian lahan pasir dan kolam budidaya ikan air tawar di sekitar area PLTH. Pasalnya, sistem aliran air (irigasi) di daerah tersebut tidak ada, sehingga banyak warga yang kesusahan dalam mendapatkan air untuk pengairan sawah dan kolam ikan. Adanya sistem pompa air tersebut sangat berguna bagi warga masyarakat sekitar. Pengembangan teknologi energi terbarukan juga digunakan untuk memproduksi es batu. Total produksi es batu setiap harinya menghasilkan 100 Kg, dengan *inverter* 7,5KW/ 120V (1 Phase).

BIOGAS dalam hal ini merupakan salah satu energi terbarukan yang telah dikembangkan dan digunakan untuk kepentingan masyarakat sekitar. BIOGAS merupakan proses kimia dari sampah organik maupun kotoran binatang (sapi) yang dikonversi menjadi energi, salah satunya sebagai bahan bakar untuk memasak. Pantai Baru Pandansimo menjadi salah satu sentra pengembangan BIOGAS di Kabupaten Bantul yang berbasiskan dari kotoran sapi dan pengelolaannya menjadi satu dengan PLTH. Pengembangan BIOGAS dari kotoran sapi digunakan sebagai bahan bakar dasar untuk memasak. Produksi BIOGAS ini disalurkan untuk bahan bakar memasak di warung (kuliner) yang ada di Pantai Baru Pandansimo. Dukungan berupa keberadaan BIOGAS di Pantai Baru Pandansimo membantu perkembangan perekonomian warga, sehingga hal ini menjadi harapan dari masing-masing pihak yang terlibat dalam pengembangan dan pemanfaatan teknologi BIOGAS tersebut.

Keberadaan PLTH dan BIOGAS selain sebagai energi alternatif juga telah dikembangkan sebagai kawasan wisata berpendidikan (eduwisata energi terbarukan). Pengembangan eduwisata tersebut telah dimotori oleh Pemuda Desa Poncosari yang tergabung dalam Kelompok Kerja (POKJA) Desa Poncosari atas dorongan PUSTEK UGM. Pengembangan energi terbarukan di Pantai Baru Pandansimo memiliki visi dan misi, yaitu untuk "mencerdaskan kehidupan bangsa melalui penguasaan energi terbarukan dengan wawasan pendidikan untuk kemakmuran masyarakat" (Data diambil dari Materi PLTH Bayu Baru Kincir Angin-Panel Surya dan BIOGAS Dinas Sumberdaya Air Kabupaten Bantul).

Eduwisata Energi Terbarukan selanjutnya sebagai objek wisata pendidikan yang berbasiskan pada pengembangan energi listrik dan BIOGAS yang disajikan bagi para wisatawan yang berkunjung bukan pada aras penggunaan aliran listrik dan BIOGAS untuk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

warung-warung yang ada di area pantai. Materi yang disajikan dalam wisata berpendidikan tersebut adalah tentang konversi energi surya, angin yang dikombinasikan dengan diesel menjadi energi listrik. Begitu pula kotoran sapi yang di konversi menjadi gas. Artinya proses perubahan energi tersebut yang disajikan sebagai materi wisata berpendidikan. Hal tersebut nantinya akan menjadi daya tarik bagi pengunjung yang datang, karena selain rekreasi juga mendapatkan ilmu pengetahuan tentang proses konversi energi.

Penganekaragaman energi terbarukan yang dijadikan sebagai objek wisata pendidikan telah diolah oleh POKJA eduwisata. Pemuda yang tergabung dalam POKJA eduwisata merupakan motor penggerak yang sebelumnya di dorong oleh PUSTEK UGM untuk mengembangkan keberadaan PLTH dan BIOGAS sebagai objek wisata pendidikan. Wisatawan yang berkunjung banyak yang tidak melalui POKJA eduwisata, melainkan langsung berkoordinasi dengan pihak pengelola energi terbarukan. Hal tersebut dapat terjadi karena tidak adanya koordinasi yang jelas dan terstruktur antara POKJA dengan pengelola energi terbarukan. Kondisi ini juga disebabkan oleh POKJA eduwisata yang mengalami degradasi pengembangan eduwisata tersebut, sehingga konsepsi eduwisata yang sedari dulu digagas oleh POKJA eduwisata mengalami stagnasi. Hal ini tidak mengherankan apabila ada wisatawan yang berkunjung telah dikoordinir oleh pengelola energi terbarukan.

Peran Pemuda Dalam Pengembangan Eduwisata Energi Terbarukan

Keberadaan pengembangan teknologi energi terbarukan merupakan nilai lebih yang dimiliki oleh Desa Poncosari, sehingga jika kondisi tersebut dimanfaatkan sebagai objek wisata dapat menjadi daya tarik wisatawan yang berkunjung. Karang taruna sebagai representasi pemuda Desa Poncosari telah didorong oleh PUSTEK UGM untuk mengembangkan keberadaan PLTH dan BIOGAS sebagai objek wisata pendidikan.

Dorongan pengembangan tersebut tidak pada aras pemanfaatan atau penggunaan, akan tetapi memanfaatkan keberadaan PLTH dan BIOGAS untuk dijadikan sebagai objek wisata berbasis pendidikan yang di kelola oleh POKJA eduwisata. Pelatihan dan pembinaan yang dilakukan oleh PUSTEK UGM adalah upaya untuk menyadarkan pemuda desa agar tidak menjadi pengguna atau konsumen atas keberadaan PLTH dan BIOGAS. Pemuda dalam hal ini didorong untuk dapat berpikir dan bertindak secara mandiri serta produktif dengan cara mengelola PLTH dan BIOGAS sebagai objek wisata edukatif. Pengembangan objek wisata tersebut dalam tataran implementasi sudah semestinya dikelola secara maksimal dan profesional. Hal pertama yang semestinya dilakukan adalah menyadarkan pemuda akan pentingnya pengembangan diversifikasi energi terbarukan sebagai objek wisata pendidikan.

Pengembangan eduwisata yang di kelola oleh pemuda mempunyai visi untuk "mengembangkan wisata pendidikan energi baru terbarukan", sedangkan misi dari pengembangan eduwisata adalah : (1). Sebagai instrumen atau wahana pembelajaran bagi dunia pendidikan atau masyarakat luas baik melaui *workshop* kelas maupun praktek langsung terkait proses pembuatan, sistem kerja atau operasional PLTH dan BIOGAS. Maka dari itu terdapat transformasi ilmu pengetahuan terhadap masyarakat luas atau

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dunia pendidikan. (2). Mempopulerkan dan mengajak masyarakat untuk sadar akan pentingnya pengembangan energi terbarukan. (3). Membentuk pola pikir masyarakat mandiri, inovatif dan peduli lingkungan dengan cara mengembangkan teknologi energi terbarukan. (4). Mendorong penggunaan sumber energi terbarukan secara individu maupun kolektif dalam masyarakat. (5). Memajukan perekonomian masyarakat. (6). Berperan aktif dan ambil bagian dalam pemecahan masalah energi global.

Pengembangan eduwisata energi terbarukan merukapan wahana pembelajaran yang bertujuan untuk mencerdaskan masyarakat luas, dan juga dapat memperluas akan pengetahuan pada generasi muda terhadap tantangan energi di masa depan. Hal tersebut sangat menunjang dunia pendidikan, pasalnya bagi peserta didik yang ingin mempelajari pengembangan teknologi energi terbarukan tidak hanya cukup belajar dari literatur secara tekstual, akan tetapi perlu mempelajari secara kontekstual atau langsung, baik dari proses pembuatan dan sistem operasional. Selain itu, konsep pengembangan eduwisata energi terbarukan yang dijalankan oleh pemuda Desa Poncosari melalui POKJA merupakan wujud dari upaya pembangunan ekonomi desa. Pemuda yang tergabung dalam POKJA telah memainkan peranan penting dalam pengembangan objek wisata di Pantai Baru Pandansimo, khususnya yang berbasiskan pendidikan. Sosialisasi dan promosi telah diupayakan oleh pemuda untuk memperkenalkan eduwisata energi terbarukan dan keberadaan Pantai Baru Pandansimo.

Pengenalan tersebut dilakukan dalam bentuk promosi melalui penyebaran *leaflet* atau brosur ke masyarakat luas. Promosi juga dilakukan dengan cara kunjungan langsung ke beberapa lembaga pendidikan. Pemuda juga melakukan promosi melalui media cetak dan *online* untuk memperkenalkan sekaligus mempromosikan objek wisata. Kegiatan sosialisasi atau promosi yang dilakukan POKJA eduwisata ke masyarakat luas bukan sekedar memberikan informasi semata, akan tetapi terdapat penekanan bagi masyarakat luas untuk berpartisipasi dalam pengembangan diversifikas*i* energi terbarukan.

Pemuda tentu saja dalam melakukan promosi bertujuan agar masyarakat luas mengadakan kunjungan wisata ke lokasi disversifikasi energi terbarukan sebagai objek wisata pendidikan dan Pantai Baru Pandansimo. Posisi pemuda tidak hanya sekedar mensosialisasikan keberadaan objek wisata, namun juga menawarkan sebagai jasa pemandu wisata apabila terdapat wisatawan yang hendak mengadakan kunjungan wisata pendidikan dapat menggunakan jasa POKJA eduwisata sebagai pemandu. Tanpa adanya pemandu wisata, para wisatawan akan kebingungan dalam mempelajari sistem kerja dari PLTH dan BIOGAS. Oleh karena itu pemuda yang tergabung dalam POKJA selaku pemandu akan menjelaskan sistem operasional tersebut. Harapan pemuda sebagai pemandu wisata selain untuk memperkenalkan PLTH dan BIOGAS, juga terdapat aspek ekonomis. Artinya, pemuda sebagai pemandu wisata telah menawarkan paket-paket wisata yang harus dibayarkan oleh wisatawan yang berkunjung, dengan begitu pemuda menjadi mempunyai penghasilan.

Pengembangan eduwisata yang di kelola oleh pemuda ternyata dalam prakteknya tidak berjalan dengan lancar. Berbagai kendala telah muncul, yang kesemua itu bermuara pada

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

stagnasi POKJA eduwisata energi terbarukan. Minimnya tingkat penghasilan merupakan faktor yang mendasari stagnasi POKJA eduwisata energi terbarukan. Minimnya tingkat penghasilan yang di peroleh pemuda telah mendorongnya untuk mencari pekerjaan lain. Ketika pemuda sudah mendapatkan pekerjaan di luar, telah berdampak pada POKJA itu sendiri. Pasalnya, orang tersebut menjadi tidak punya waktu yang cukup untuk mengelola POKJA eduwisata. Selain itu, juga tidak ada upaya yang nyata untuk mengganti pengurus yang sudah tidak lagi aktif, karena ketidakaktifan pengurus merupakan dasar dari stagnasi POKJA.

Pasang Surut Eduwisata Energi Terbarukan

Pemuda mempunyai peranan yang sangat penting dalam pembangunan negara ini. Keterlibatan pemuda bukan pada pengambil kebijakan, namun selain dapat memberikan tawaran kebijakan juga dapat ikut serta dalam suksesi pembangunan. Spirit yang tinggi menjadi modal dasar yang dimiliki pemuda, namun hal itu juga harus diiringi dengan pemikiran yang kritis dan konstruktif. Pemuda sebenarnya mempunyai peran kontrol sosial terhadap sebuah isu yang muncul di permukaan, artinya pemuda harus tanggap terhadap kondisi atau problematika yang ada. Kepekaan pemuda terhadap fenomena sosial harus selalu dilatih, oleh karena itu ruang-ruang aktualisasi diri harus diwujudkan, salah satunya melalui organisasi.

Organisasi merupakan wadah pembentukan karakter pemuda khususnya, bahkan menjadi ruang relasi pencipta nilai-nilai baru dalam kehidupan bermasyarakat. Peranan pemuda dalam kehidupan masyarakat melalui organisasi sangatlah penting, tidak hanya sekedar mendidik para anggota, namun peranan pemuda melalui organisasi juga mempunyai kedudukan dalam masyarakat untuk turut serta memajukan perekonomian. Intensitas pemuda dalam organisasi seringkali mengalami pasang surut, baik disebabkan oleh kondisi internal maupun adanya faktor eksternal. Pemuda dalam hal ini sudah selayaknya melalui perangkat organisasi berpartisipasi aktif dalam pembangunan sumber daya manusia dan pengembangan ekonomi wilayah. Hal ini tentu saja dengan cara mendorong pemuda dan masyarakat luas untuk meningkatkan produktivitas dan kemandirian ekonomi.

Wujud dari produktivitas dan kemandirian ekonomi yang telah dijalankan oleh pemuda Desa Poncosari adalah dengan mengembangkan pengelolaan PLTH dan BIOGAS sebagai objek wisata pendidikan. Konsep pengembangan eduwisata energi terbarukan yang dijalankan oleh pemuda Desa Poncosari melalui POKJA merupakan wujud dari upaya pembangunan ekonomi desa. Pemuda yang tergabung dalam POKJA telah memainkan peranan penting dalam pengembangan objek wisata di Pantai Baru Pandansimo, khususnya yang berbasiskan pendidikan. Sosialisasi dan promosi telah diupayakan oleh pemuda untuk memperkenalkan eduwisata energi terbarukan dan keberadaan Pantai Baru Pandansimo.

Pengenalan tersebut dilakukan dalam bentuk promosi melalui penyebaran *leaflet* atau brosur ke masyarakat luas. Promosi juga dilakukan dengan cara kunjungan langsung ke beberapa lembaga pendidikan. Pemuda juga melakukan promosi melalui media cetak dan *online* untuk memperkenalkan sekaligus mempromosikan objek wisata. Kegiatan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sosialisasi atau promosi yang dilakukan POKJA eduwisata ke masyarakat luas bukan sekedar memberikan informasi semata, akan tetapi terdapat penekanan bagi masyarakat luas untuk berpartisipasi dalam pengembangan diversifikasi energi terbarukan.

Pemuda tentu saja dalam melakukan promosi bertujuan agar masyarakat luas mengadakan kunjungan wisata ke lokasi diversifikasi energi terbarukan sebagai objek wisata pendidikan dan Pantai Baru Pandansimo. Posisi pemuda tidak hanya sekedar mensosialisasikan keberadaan objek wisata, namun juga menawarkan sebagai jasa pemandu wisata apabila terdapat wisatawan yang hendak mengadakan kunjungan wisata pendidikan dapat menggunakan jasa POKJA eduwisata sebagai pemandu. Tanpa adanya pemandu wisata, para wisatawan akan kebingungan dalam mempelajari sistem kerja dari PLTH dan BIOGAS, oleh karena itu pemuda yang tergabung dalam POKJA selaku pemandu akan menjelaskan sistem operasional tersebut. Harapan pemuda sebagai pemandu wisata selain untuk memperkenalkan PLTH dan BIOGAS, juga terdapat aspek ekonomis. Artinya, pemuda sebagai pemandu wisata telah menawarkan paket-paket wisata yang harus dibayarkan oleh wisatawan yang berkunjung, dengan begitu pemuda menjadi mempunyai penghasilan.

Berkaitan dengan faktor ekonomis, tentu saja pemuda dalam sosialisasi atau promosi yang dilakukan seharusnya berjalan secara rutin dan juga berkesinambungan. Apabila promosi dilakukan pemuda secara berkala, maka semakin luas pula informasi yang akan diterima masyarakat, dengan begitu semakin dikenal pula objek wisata pendidikan tersebut. Kondisi tersebut nantinya akan berimbas pada banyak wisatawan yang menggunakan jasa POKJA eduwisata sebagai pemandu, dengan begitu penghasilan pemuda akan semakin meningkat. Harapan dan kenyataan tidak berjalan secara linier, terdapat kontradiktif peran pemuda dalam pengembangan eduwisata energi terbarukan. Pasang surut pengembangan eduwisata yang diperankan oleh pemuda semakin tidak terhindarkan, bahkan hal tersebut berujung pada stagnasi.

Pemuda yang di dorong oleh PUSTEK UGM mempunyai spirit yang tinggi dalam membangun dan mengembangkan eduwisata energi terbarukan. Hal ini dapat dilihat dari berbagai program dan kegiatan yang telah diselenggarakan, baik dalam bentuk promosi maupun mengadakan *event* dalam bentuk konser musik. Semua program dan kegiatan yang telah diselenggarakan oleh pemuda berkaitan dengan eduwisata energi terbarukan. Artinya, program dan kegiatan tersebut sebagai instrumen selain untuk mempererat hubungan internal POKJA, namun juga untuk mengkampanyekan eduwisata dan menunjukan eksistensinya. Muara dari program dan kegiatan tentu saja yang telah diselenggarakan tersebut bertujuan agar eduwisata energi terbarukan semakin dikenal dan semakin banyak wisatawan yang berkunjung dengan menggunakan jasa POKJA sebagai pemandu wisata, sehingga tingkat penghasilan pemuda pun semakin meningkat.

Semangat pemuda seiring dengan berjalannya waktu mengalami pasang surut, bahkan menurun, sehingga POKJA eduwisata menuai stagnasi. Sosialisasi dan promosi tidak dilakukan secara berkala, bahkan kini telah terhenti. Sosialisasi dan promosi yang dilakukan ke instansi pendidikan hanya di

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

awal pembentukan POKJA eduwisata, dan tidak adanya jadwal pelaksanaan sosialisasi secara rutin.

Sosialisasi dan promosi yang dilakukan oleh POKJA eduwisata hanya ke instansi pendidikan (sekolah) di daerah Kabupaten Bantul saja, bahkan paling banyak di Kecamatan Srandakan. Sosialisasi tersebut hanya dilakukan pada tahun 2012-2013 saja, sedangkan pada tahun-tahun berikutnya tidak ada sosialisasi ke instansi pendidikan. Pemuda kurang serius dalam pengembangan eduwisata terlihat dengan tidak adanya agenda sosialisasi secara rutin dan masih minimnya jangkauan promosi yang dilakukan oleh POKJA eduwisata. Sosialisasi dan promosi seharusnya ke lembaga pendidikan dilakukan secara berkelanjutan atau terjadwal, misal satu bulan sekali dan tidak hanya di awal pembentukan POKJA, namun berkesinambungan.

Sosialisasi ke lembaga pendidikan yang dilakukan oleh POKJA eduwisata masih kurang maksimal, namun terdapat upaya lain, yakni penyebaran brosur dan *leaflet* dan promosi melalui media cetak maupun *online.* Menurut pemaparan Nukman selaku ketua POKJA, promosi dengan cara seperti ini pun tidak dilakukan secara maksimal, hanya beberapa anggota saja yang melakukan penyebaran brosur, itupun tidak terukur dan terjadwal (hasil wawancara, 29 Februari 2016).

POKJA eduwisata juga mengadakan beberapa kegiatan sebagai instrumen kampanye keberadaan eduwisata energi terbarukan, selain promosi secara langsung maupun melalui media. Adapun bentuk kegiatan yang pernah diselenggarakan oleh POKJA eduwisata energi terbarukan adalah sebagai berikut:

Pertama, kegiatan *Outbound Training,* yang dilaksanakan pada tanggal 25 Maret 2012, dengan dihadiri oleh 80 orang peserta, yang terdiri dari unsur POKJA eduwisata, karang taruna desa dan dusun. Kegiatan ini bertujuan untuk mempererat hubungan pemuda yang tergabung dalam POKJA eduwisata energi terbarukan. Bahkan kegiatan ini tidak lepas dari promosi, yaitu memperkenalkan eduwisata energi terbarukan yang kepada masyarakat luas.

Kedua, mengadakan lomba kincir angin tingkat nasional pada Tahun 2012 yang diselenggarakan oleh POKJA eduwisata bekerjasama dengan pengelola PLTH dan BIOGAS. Perlombaan tersebut bertujuan untuk menunjukan eksistensi keberadaan diversifikasi energi terbarukan untuk semakin di kenal masyarakat luas, sehingga harapannya banyak wisatawan yang berkunjung.

Ketiga, Talk Show di RRI dilaksanakan pada awal Bulan April 2013 yang diikuti oleh Komunitas *Earth Hour* Jogja dan POKJA Eduwisata Poncosari. Acara tersebut merupakan wujud dari sosialisasi rencana kegiatan yang akan diselenggarakan di Pantai Baru Pandansimo, yaitu mengadakan konser musik dengan tema "Energi Baru, Suara Baru".

Keempat, mengadakan konser musik "Energi Baru, Suara Baru" merupakan tindak lanjut dari *Talk Show* yang dilakukan sebelumnya. Kegiatan konser musik tersebut telah diselenggarakan pada tanggal 28 April 2013. Konser musik dengan tema "Energi Baru, Suara Baru" selain sebagai media promosi, juga mengajak masyarakat luas akan pentingnya pemanfaatan energi terbarukan yang ramah lingkungan.

Kelima, pameran dan *ekspose* POKJA eduwisata yang diselenggarakan pada tahun 2013. Kegiatan ini merupakan peringatan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sewindu wafatnya Prof. Mubyarto, yang dihadiri oleh pengurus POKJA, mahasiswa, dan masyarakat umum. Adapun tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mensosialisasikan kegiatan POKJA Eduwisata pada generasi muda, dan memperkenalkan paket-paket eduwisata.

Keenam, kegiatan penguatan kelembagaan POKJA eduwisata melalui pendalaman pengetahuan energi terbarukan, manajemen wisata dan membangun jejaring yang dilaksanakan pada tahun 2013. Kegiatan ini ditujukan untuk pemuda yang tergabung dalam POKJA eduwisata agar manajemen keorganisasian semakin matang. Adapun aktivitas kegiatan tersebut meliputi pendalaman pengetahuan aplikasi energi terbarukan, manajemen eduwisata energi terbarukan dan teknik membangun jaringan yang bertujuan untuk pengembangan eduwisata.

Ketujuh, Semiloka Eduwisata Energi Poncosari yang dihadiri oleh pengurus POKJA eduwisata dan pengurus Karang Taruna se-Kabupaten Bantul (25 orang) diselenggarakan pada tanggal 8 Desember 2013. Tujuan dari diadakannya kegiatan ini adalah selain untuk mensosialisasikan keberadaan eduwisata energi terbarukan juga pre-*launching* paket wisata.

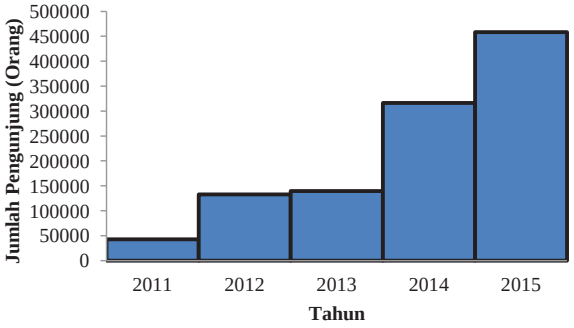
Pemuda yang tergabung dalam Kelompok Kerja (POKJA), pada tahun 2012-2013 terlihat antusias dalam pengembangan eduwisata energi terbarukan, hal ini dapat dilihat dari program dan kegiatan yang telah di selenggarakan. Akan tetapi memasuki tahun 2014, semangat pemuda telah mengalami penurunan, meskipun di tahun 2015 terdapat usaha untuk membangkitkan semangat pemuda. Hal ini dapat dilihat dari keikutsertaan Karang Taruna Desa Poncosari dalam perlombaan karang taruna tingkat kabupaten. Karang Taruna Desa Poncosari dalam acara perlombaan tersebut telah mengusung tema "Energi Terbarukan", dan mendapat juara tiga. Harapannya dengan mengikuti acara perlombaan tersebut dapat menjadi stimulus pemuda untuk mengaktifkan kembali POKJA eduwisata. Namun kenyataan berkata lain, POKJA eduwisata tetap saja mengalami stagnasi, dengan di tandai tidak adanya program dan kegiatan yang di selenggarakan.

Peran POKJA dalam pengembangan eduwisata tersebut di rasa tidak mempunyai dampak yang signifikan, akan tetapi promosi yang mereka lakukan menjadi sumbangsih semakin dikenalnya Pantai Baru Pandansimo, sebagai wisata edukasi maupun wisata alam. Pasalnya promosi yang dilakukan oleh POKJA, tidak hanya keberadaan PLTH dan BIOGAS sebagai pengembangan teknologi energi terbarukan, akan tetapi promosi tersebut juga memperkenalkan keberadaan wisata Pantai Baru Pandansimo dan Konservasi Penyu Lekang (*Lepidochelys olivacea*). Dikenalnya Pantai Baru Pandansimo dapat dilihat dari peningkatan jumlah pengunjung yang datang ke lokasi wisata tersebut. Peningkatan jumlah pengunjung (wisatawan) ke Pantai Baru Pandansimo dari tahun ke tahun dapat dilihat pada grafik 1.

Grafik 1 tersebut menunjukkan bahwa terdapat peningkatan jumlah wisatawan yang berkunjung di Pantai Baru Pandansimo cukup signifikan dari tahun 2011 sebesar 42.630 orang ke tahun 2015 sebesar 458.514 orang. Jumlah wisatawan pada tahun 2015 yang berkunjung mengalami peningkatan secara drastis apabila dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Banyak faktor yang mempengaruhi peningkatan jumlah wisatawan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Grafik 1
Data Pengunjung Pantai Baru Pandansimo



Sumber : Data Kunjungan Wisata Pantai Baru Tahun 2011-2015.

yang berkunjung. Salah satunya adalah promosi yang dilakukan oleh POKJA eduwisata.

Adanya promosi yang dilakukan POKJA telah menjadikan Pantai Baru Pandansimo semakin ramai dikunjungi wisatawan. Hal ini merupakan sebuah peluang besar bagi masyarakat sekitar untuk menambah penghasilan, salah satunya dengan membuka warung kuliner ataupun juru parkir dan bidang jasa yang lain. POKJA eduwisata itu sendiri justru malah mengalami stagnasi. Tidak adanya aktivitas kegiatan sejak tahun 2014 secara konkret dan berkala merupakan sebuah penanda ketidakaktifan POKJA eduwisata. Bahkan dulunya, Pemerintah Desa Poncosari telah menyediakan ruangan untuk kesekretariatan (kantor) POKJA eduwisata, namun kini kantor tersebut sudah tidak ada lagi. Hal ini di sebabkan oleh ketidakaktifannya POKJA eduwisata, sehingga kantor tersebut pun tidak lagi digunakan, oleh karena itu pemerintah desa telah mencabut fasilitas (kantor) tersebut (Supriyanto: Kepala Desa Poncosari, 03 Maret 2016).

Mengacu pada pemaparan yang disampaikan oleh Pak Mur dan Pak Arif selaku pengelola (karyawan) PLTH dan BIOGAS dalam 1 tahun terakhir terdapat sekitar 5.000 orang yang mengadakan kunjungan wisata pendidikan (Wawancara, 29 Februari 2016). Wisatawan yang berkunjung ke lokasi diversifikasi energi terbarukan tidak menggunakan jasa POKJA, melainkan langsung berkoordinasi dengan pengelola PLTH dan BIOGAS. Wisatawan yang mengadakan kunjungan wisata pendidikan tersebut dari berbagai instansi pendidikan, baik tingkatan sekolah dasar hingga ke perguruan tinggi. Bahkan kunjungan wisata pendidikan tersebut tidak hanya lembaga pendidikan yang dari berasal dari Yogyakarta. Berkaitan dengan hal tersebut, tetap ada beberapa wisatawan yang berkunjung dengan menggunakan jasa POKJA, namun jumlahnya tidak terlalu banyak. Selama POKJA eduwisata didirikan, hanya sekitar kurang lebih 1.000 orang yang menggunakan jasa POKJA sebagai pemandu wisata (Nukman: Ketua POKJA Eduwisata Energi Terbarukan, 29 Februari 2016).

Hal ini menjadi sangat ironis, ketika di satu sisi semakin banyak wisatawan yang berkunjung ke lokasi wisata tersebut, namun di sisi lain POKJA eduwisata malah mengalami stagnasi. Bahkan wisatawan yang menggunakan jasa POKJA sebagai pemandu wisata pun jumlahnya tidak terlalu banyak. Tentu saja hal ini disebabkan oleh kondisi POKJA eduwisata yang mengalami stagnasi, sehingga wisatawan yang hendak mengadakan kunjungan tidak menggunakan jasa POKJA. Stagnasi POKJA eduwisata tentu saja tidak lahir dari ruang kosong, akan tetapi terdapat berbagai faktor atau kendala yang menyebabkan kondisi tersebut terjadi. Penyebabnya baik itu oleh kondisi internal POKJA maupun adanya faktor eksternal yang memperkuat POKJA untuk semakin stagnan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kendala POKJA Eduwisata Energi Terbarukan

Pengelolaan organisasi atau pengembangan suatu usaha tentu saja dalam perjalanannya banyak menuai kendala ataupun hambatan. Kendala yang muncul apabila tidak segara diatasi maka dapat menyebabkan stagnasi atau kemandegan. Terlebih jika itu berbasis atau berorientasi pada *profit*, kondisi stagnan dapat berakibat kehilangan segmentasi pasar yang pada akhirnya mengharuskan usaha tersebut untuk gulung tikar. Kendala yang muncul dapat disebabkan oleh faktor internal maupun eksternal, yang keduanya saling berkaitan satu sama lain. Menurut peneliti, faktor (kondisi) internal merupakan determinasi dari kemandegan sebuah usaha, sedangkan kondisi ekternal merupakan faktor pendorong.

Begitupun dengan pengembangan eduwisata energi terbarukan juga tengah mengalami suatu kendala, yaitu kondisi yang stagnan. Kondisi internal POKJA eduwisata merupakan faktor dasar yang menyebabkan pengembangan eduwisata energi terbarukan mengalami stagnasi, sedangkan faktor eksternal yang menjadi pendorong sekaligus penguat stagnas*i* pengembangan eduwisata energi terbarukan dimaksud. Beberapa faktor yang menyebabkan kondisi tersebut terjadi, yaitu:

Pertama, pemuda yang tergabung dalam POKJA eduwisata kurang serius dan konsisten dalam pengembangan eduwisata energi terbarukan. Salah satunya adalah dari segi promosi yang dilakukan tidak berjalan secara maksimal dan berkesinambungan, baik secara langsung ataupun melalui media yang berbasis cetak maupun *online*. Promosi sudah dilakukan, namun masih kurang maksimal, sehingga dampak untuk POKJA belum signifikan. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Nukman selaku ketua POKJA eduwisata energi terbarukan, bahwa sosialisasi dan promosi yang dilakukan pemuda tidak berjalan secara berkala atau rutin (Wawancara, 19 Februari 2016). Wujud lain dari kurang seriusnya POKJA eduwisata energi terbarukan dalam pengembangannya tidak adanya upaya pendaftaran ke Dinas Pariwisata terkait objek wisata tersebut.

Pemuda yang tergabung dalam POKJA eduwisata diawal pendirian pada dasarnya menunjukan sebuah keseriusan. Hal ini dapat dilihat dari antusias pemuda dalam mengikuti kegiatan-kegiatan yang telah diselenggarakan, baik berupa *event* maupun pelatihan ataupun pembinaan yang dilakukan oleh PUSTEK UGM. Hal serupa juga dibenarkan oleh Nukman selaku Ketua POKJA, bahwa para pemuda mempunyai antusias dan spirit dalam pengembangan eduwisata energi terbarukan, akan tetapi seiring berjalannya waktu, antusias dan spirit tersebut mulai menurun. Hal ini disebabkan oleh minimnya tingkat penghasilan yang di peroleh, sehingga mereka beralih atau mencari pekerjaan yang lain. Pemuda pada dasarnya mempunyai pekerjaan yang lain, namun jika mereka mempunyai konsistensi dalam pengembangan eduwisata tersebut, maka kemungkinan stagnasi akan kecil. Menurut peneliti, ketidakseriusan tersebut erat kaitannya dengan kesadaran, sehingga komitmen dan konsistensi dalam pengembangan eduwisata mengalami stagnasi.

Kedua, penghasilan yang diperoleh dari pengembangan eduwisata energi terbarukan masih belum signifikan. Minimnya penghasilan yang diperoleh menyebabkan semangat pemuda mengalami penurunan dalam pengembangan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

eduwisata tersebut. Semangat pemuda pada tahun 2015 mengalami peningkatan, namun ironisnya hal tersebut tidak berjalan secara berkesinambungan, pasalnya spirit tersebut mengalami penurunan kembali. Kondisi tersebut disebabkan oleh jumlah wisatawan yang menggunakan jasa POKJA tidak terlalu banyak, sehingga berdampak pada penghasilan yang mereka peroleh juga tidak banyak. Hal itu disebabkan oleh banyaknya wisatawan yang berkunjung tidak menggunakan jasa POKJA eduwisata, melainkan langsung berkomunikasi dan berkoordinasi dengan pengelola energi terbarukan (PLTH dan BIOGAS). Hal tersebut berakibat pada omset dari wisatawan yang berkunjung ke objek wisata pendidikan tidak menjadi penghasilan pemuda yang tergabung dalam POKJA, melainkan ke pengelola PLTH dan BIOGAS.

Ketiga, kesibukan kerja atau adanya aktivitas di luar dari masing-masing pemuda yang tergabung dalam Kelompok Kerja Desa Poncosari. Menurut asumsi peneliti, kesibukan kerja di luar, juga disebabkan oleh tingkat penghasilan yang minim dari pengembangan eduwisata energi terbarukan. Kondisi tersebut telah mendorong pemuda mencari pekerjaan lain dengan penghasilan yang pasti dan cukup. Pasalnya jika hanya mengandalkan pada penghasilan dari pengembangan eduwisata saja tidak cukup untuk menunjang kebutuhan hidup sehari-hari. Pemuda yang tergabung dalam POKJA eduwisata telah sibuk bekerja, sehingga pengembangan eduwisata tidak berjalan dengan maksimal. Terlebih hal itu juga ditunjang oleh tidak adanya pergantian pengurus POKJA yang tengah sibuk dengan pekerjaannya.

Keempat, menurunnya spirit pemuda yang tergabung dalam POKJA juga disebabkan tidak adanya lagi keterlibatan PUSTEK UGM dalam pengembangan konsep eduwisata energi terbarukan. Semenjak tidak adanya dorongan atau motivasi dari PUSTEK UGM, semangat pemuda dalam pengembangan eduwisata tersebut mengalami penurunan dan berdampak pada stagnasi POKJA eduwisata. Terhentinya kerjasama dengan PUSTEK UGM juga membuat bantuan dari BAPPEDA Kabupaten Bantul ikut terhenti. Stagnasi POKJA eduwisata terjadi paska tidak adanya dorongan dari Pusat Studi Ekonomi Kerakyatan UGM, namun bukan berarti ada atau tidak adanya lagi dorongan dari PUSTEK UGM bukanlah faktor yang mendasar.

Pembentukan POKJA eduwisata energi terbarukan yang dilakukan PUSTEK UGM apabila telah menganalisis dan mempertimbangkan kondisi sosial dan psikologis pemuda yang masuk sebagai pengurus POKJA dapat dimungkinkan tidak terjadi stagnasi pengembangan eduwisata. Artinya kondisi sosial dan psikologis seseorang akan berpengaruh dalam sebuah ruang relasi organisasi (POKJA eduwisata). Hal ini tentu saja mempunyai kaitan dengan kesadaran, komitmen dan konsistensi seseorang untuk mengaktualisasikan diri dalam ruang relasi POKJA eduwisata.

Berkaitan dengan dorongan dari PUSTEK UGM yang bukan sebagai faktor yang mendasar, namun sebagai faktor ekternal yang dapat mengkondisikan atau mendorong keaktifan pemuda dalam pengembangan eduwisata. Penentu dasar berjalan atau tidaknya pengembangan eduwisata ditentukan oleh kondisi atau faktor internal. Faktor internal yang menyebabkan pengembangan eduwisata mengalami stagnasi atau tidak berjalan, seperti yang sudah diulas pada alinea di atas.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kelima, tidak adanya hubungan koordinasi yang jelas atau terstruktur antara POKJA eduwisata dengan pihak pengelola PLTH dan BIOGAS serta pengurus POGIAT Dusun Ngentak. Hal ini pada dasarnya disebabkan oleh adanya konflik antara POGIAT Dusun Ngentak dengan Karang Taruna Desa Poncosari maupun POKJA Eduwisata. Hal ini berawal dari proses pembentukan POKJA Eduwisata energi terbarukan, yang sebenarnya ingin dikelola oleh POGIAT Dusun Ngentak. PUSTEK UGM awalnya pada sudah berkomunikasi dengan POGIAT Dusun Ngentak untuk mengembangkan PLTH dan BIOGAS sebagai objek wisata pendidikan, sebelum pembentukan POKJA eduwisata. Ide yang ditawarkan oleh PUSTEK UGM sebenarnya telah disetujui oleh pengurus POGIAT, akan tetapi seiring dengan berjalannya waktu PUSTEK UGM tidak menggandeng pengurus POGIAT, melainkan bekerjasama dengan karang taruna desa untuk membentuk POKJA eduwisata energi terbarukan dan tidak mengajak POGIAT dalam sebuah pembahasan lebih lanjut mengenai rencana pengembangan eduwisata tersebut (Suwandi: ketua POGIAT Dusun Ngentak, 15 April 2016).

Hal tersebut telah memicu kekecewaan dari pihak POGIAT Dusun Ngentak, sehingga ketika ada kunjungan wisata pendidikan di lokasi PLTH dan BIOGAS tidak dilibatkannya POKJA eduwisata. Pasalnya sebagian pengelola PLTH dan BIOGAS adalah masyarakat Dusun Ngentak, sehingga mereka menjadi bagian dari POGIAT. Berkaitan dengan hal tersebut, POKJA juga tidak dilibatkan dalam pengelolaan Pantai Baru Pandansimo, namun melibatkan masyarakat yang tinggal di sekitar Pantai Baru Pandansimo di wilayah Dusun Ngentak, sehingga sudah selayaknya pengelolaan Pantai Baru Pandansimo di kelola oleh masyarakat dusun setempat. Komunikasi yang kurang baik dan kurang lancar lebih lanjut yang dilakukan oleh POKJA eduwisata terhadap pengurus POGIAT Dusun Ngentak menjadi kendala pemuda dalam pengembangan eduwisata energi terbarukan.

Berbagai kendala yang sudah dipaparkan di atas menjadi faktor ketidakaktifan POKJA eduwisata yang bermuara pada stagnasi, maka dari itu perlu sebuah upaya solusi untuk mengatasi perihal tersebut. Sedari awal sudah pernah diadakan upaya untuk menghidupkan kembali POKJA eduwisata, yakni dilakukan langsung oleh Ketua POKJA dengan cara mengumpulkan anggotanya untuk membahas perihal stagnasi POKJA eduwisata. Menurut Nukman selaku ketua POKJA, terdapat antusias pengurus untuk menghidupkan kembali eduwisata tersebut, akan tetapi paska pembahasan atau rapat POKJA terkait refleksi eduwisata, tidak ada langkah pembenahan secara konkret dan serius.

Menurut Nukman, pemuda yang tergabung dalam POKJA kembali disibukkan dengan agenda masing-masing, dan ketika dikumpulkan kembali banyak yang tidak hadir. Upaya yang dilakukan Nukman selaku Ketua POKJA yang notabene sebagai motor penggerak bagi anggotanya sebenarnya masih belum maksimal. Hal ini di landasi dalam pembahasan refleksi POKJA eduwisata hanya dilaksanakan sekali, dan setelah itu tidak ada tindak lanjut yang konkret, misalnya mengganti pengurus POKJA yang sudah tidak lagi bersedia untuk mengelola eduwisata energi terbarukan. Artinya, tidak hanya sekedar refleksi saja, namun perlu adanya pergantian pengurus yang sudah tidak lagi bersedia untuk menjalankan kerja-kerja pengembangan eduwisata tersebut.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pemuda yang tergabung dalam POKJA eduwisata memiliki upaya untuk menghidupkan POKJA eduwisata, namun dari pihak POKJA sendiri tidak ada upaya komunikasi dengan pihak POGIAT Dusun Ngentak untuk membicarakan secara bersama terkait eduwisata energi terbarukan tersebut. POKJA seharusnya mengajak POGIAT Dusun Ngentak untuk mengadakan kerjasama tentang pengembangan PLTH dan BIOGAS sebagai objek wisata pendidikan. Menurut asumsi peneliti, jika ada komunikasi dan kerjasama antara POKJA dan POGIAT dalam pengembangan eduwisata energi terbarukan akan dimungkinkan dapat berkembang. Kondisi ini dapat terjadi karena hampir keseluruhan dari anggota POGIAT menjadi pengelola Pantai Baru Pandansimo, baik sebagai jasa tukang parkir, retribusi tiket, kuliner makanan dan pengelola PLTH dan BIOGAS. Apabila kerjasama terjalin tersebut terjalin, maka eduwisata energi terbarukan tidak akan mengalami stagnasi.

Implikasinya Terhadap Ketahanan Ekonomi Wilayah

Ketahanan ekonomi merupakan kondisi kehidupan perekonomian bangsa yang berlandaskan pada demokrasi Pancasila (Tarmidi, 1992). Ketahanan ekonomi juga mengandung kemampuan untuk memelihara stabilitas ekonomi yang sehat dan dinamis, serta mampu menciptakan kemandirian ekonomi nasional dengan daya saing yang tinggi sehingga kemakmuran rakyat yang adil dan merata dapat terwujud. Mengacu pada pendapat Francois Perroux-pertumbuhan ekonomi suatu daerah ditopang oleh adanya pusat pertumbuhan *(growth pole)*. Pembangunan atau pertumbuhan ekonomi tidak terjadi di segala tata ruang, akan tetapi hanya terbatas pada beberapa tempat tertentu dengan komponen-komponen yang berbeda intensitasnya.

Secara fungsional, suatu lokasi konsentrasi usaha atau cabang industri yang sifatnya memiliki unsur-unsur yang bersifat dinamis mampu menstimulasi kehidupan ekonomi. Pantai Baru Pandansimo sebagai tempat wisata telah memberi stimulus kepada masyarakat sekitar untuk mengembangkan suatu usaha. Salah satunya adalah usaha yang bergerak di bidang jasa, yaitu jasa parkir, pemandu wisata dan kuliner makanan, selain itu juga terdapatnya pengembangan eduwisata energi terbarukan (PLTH, BIOGAS dan Koservasi Penyu Lekang (*Lepidochelys olivacea*)). Secara geografis keberadaan Pantai Baru telah menunjang dan menjadi pusat atau daya tarik penyebab terdapatnya pengembangan usaha. Konsekuensi logis dari pengembangan usaha di Pantai Baru Pandansimo telah memberikan lapangan pekerjaan bagi masyarakat setempat, sehingga mereka menjadi mempunyai penghasilan.

Terlebih dengan dijadikannya pengembangan teknologi energi terbarukan (PLTH dan BIOGAS) sebagai objek wisata pendidikan dapat menjadi daya tarik bagi wisatawan untuk berkunjung. Semakin banyak wisatawan yang berkunjung, semakin tinggi pula tingkat penghasilan masyarakat setempat, sehingga hal ini merupakan dasar dari terwujudnya ketahanan ekonomi wilayah. Kendatipun, pengembangan eduwisata energy terbarukan mengalami stagnasi, namun hal ini tidak berpengaruh kepada wisatawan yang berkunjung. Jika kita mengacu pada data kunjungan wisatawan di Pantai Baru telah mengalami peningkatan, dimana pada tahun

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2013 jumlah wisatawan yang berkunjung sejumlah 139.606 orang. Kemudian pada tahun 2014, jumlah wisatawan yang berkunjung sejumlah 316.130 orang, sedangkan pada tahun 2015 terdapat 458.514 orang yang mengadakan kunjungan wisata di Pantai Baru Pandansimo.

Meningkatnya jumlah kunjungan wisatawan di Pantai Baru Pandansimo tidak lepas dari peran pemuda yang mempromosikan keberadaan objek wisata tersebut. Pasalnya, pemuda tidak hanya mempromosikan eduwisata saja, namun Pantai Baru sebagai objek wisata juga telah di promosikan kepada masyarakat luas. Dampak dari promosi yang di lakukan oleh pemuda tersebut telah menjadikan dikenalnya Pantai Baru Pandansimo yang di dalamnya terdapat eduwisata energi terbarukan. Maka konsekuensi logis dari peningkatan jumlah kunjungan wisata tersebut adalah meningkatnya penghasilan masyarakat sekitar.

Peningkatan penghasilan masyarakat sekitar adalah dengan menjadikan objek wisata tersebut sebagai tempat untuk berjualan makanan kuliner, jasa parkir, retribusi (tiket masuk) dan jasa pemandu wisata.

Bahkan penghasilan dari warga masyarakat yang membuka usaha warung kuliner dalam satu minggu memperoleh sekitar Rp 2.000.000,00, sehingga dalam satu bulan akan memperoleh penghasilan sekitar Rp 8.000.000,00. Dari jumlah penghasilan tersebut, keuntungan *(profit)* yang di peroleh adalah sejumlah Rp 2.000.000,00, sedangkan untuk memenuhi kebutuhan hidup sehari-hari adalah sejumlah Rp 900.000,00, maka warga masyarakat yang membuka warung kuliner masih bisa menabung sejumlah Rp 1.100.000,00. Bahkan *profit* yang di peroleh warga dari hasil jualan makanan masih di atas Upah Minimum Regional (UMR) Kabupaten Bantul, yaitu sejumlah Rp 1.300.000,00. Belum lagi jika penghasilan keluarga di tambah dari hasil usaha yang lain, misalnya dari hasil pertanian maupun peternakan ataupu yang lain.

Maka dengan adanya pengembangan eduwisata energi terbarukan yang telah dipromosikan oleh pemuda sekaligus mempromosikan Pantai Baru telah berdampak pada peningkatan penghasilan warga sekitar. Pasalnya dengan semakin tinggi tingkat penghasilan warga akan berpengaruh terhadap kesejahteraan masyarakat. Meningkatnya penghasilan warga, merupakan sebuah petanda dari terwujudnya ketahanan ekonomi wilayah.

SIMPULAN

Berdasar penjelasan tersebut di atas dapat ditarik simpulan sebagai berikut.

Pertama, peran pemuda yang tergabung dalam POKJA eduwisata telah melakukan promosi kepada masyarakat luas maupun dunia pendidikan. Promosi yang dilakukan pemuda secara langsung, yakni berkunjung langsung dan memberikan tawaran paket wisata ke sekolah-sekolah atau dengan cara menyebar brosur. Promosi tidak langsung dalam hal ini yaitu promosi melalui media massa, baik cetak maupun berbasis *online.*

Promosi eduwisata yang dilakukan pemuda tidak berjalan secara rutin atau berkala, sehingga banyak wisatawan yang berkunjung langsung berkoordinasi dengan pihak PLTH dan BIOGAS. Hal ini akhirnya berdampak pada pendapatan pemuda yang tidak banyak, karena wisatawan yang menggunakan jasa POKJA hanya sedikit. Pada dasarnya kondisi tersebut

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

disebabkan oleh tidak adanya komunikasi dan koordinasi antara POKJA eduwisata dengan pengelola PLTH dan BIOGAS, yang sebenarnya dilandasi atas dasar konflik di antara keduanya. Kondisi tersebut telah berdampak pada stagnasi POKJA eduwisata energi terbarukan yang dikembangkan oleh pemuda.

Kedua, pengembangan eduwisata belum ada dampak yang signifikan terhadap pemuda sebagai pengelola, akan tetapi dengan adanya promosi yang dilakukan pemuda telah berdampak pada semakin dikenalnya Pantai Baru Pandansimo yang di dalamnya terdapat eduwisata energi terbarukan. Kondisi ini telah berdampak pada meningkatnya jumlah wisatawan yang berkunjung ke lokasi wisata tersebut, sehingga penghasilan yang diperoleh warga sekitar pun meningkat. Berkaitan dengan hal tersebut, maka meningkatnya penghasilan warga sekitar merupakan penanda terwujudnya ketahanan ekonomi wilayah.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2013. Pengertian Eduwisata (internet). *<http://www.upi.edu/spot/id/13> (Diakses pada tanggal 14 Oktober 2015).*

Burhan, B. 2003. *Analisis Data Penelitian Kualitatif*. Jakarta, Raja Grafindo Persada.

Departemen Pertahanan RI. 2008. *Buku Putih Pertahanan Indonesia*. Jakarta, Departemen Pertahanan Republik Indonesia.

Kusumasari, A. D. 2014. "Peran Karang taruna dalam Usaha Ekonomi Produktif (UEP) Guna Mendukung Ketahanan Ekonomi Keluarga : Studi di Karang Taruna "Widya Taruna", Desa Kemadang, Kecamatan Tanjungsari, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta". *Tesis :* Universitas Gadjah Mada.

Lemhannas. 1997. *Disiplin Nasional*. Jakarta, Balai Pustaka.

Sugiyono. 2007. *Memahami Penelitian Kualitatif*. Bandung, Alfabeta.

Tarmidi, L. T. 1992. *Ekonomi Pembangunan*. Pusat Antar Universitas, Studi Ekonomi, Universitas Indonesia.

Peraturan Perundangan

Undang-Undang Nomor 40 Tahun 2009 Tentang Kepemudaan

Wawancara

Nukman Riofa'i, Ketua Kelompok Kerja/ POKJA, 19 Februari 2016

Mur dan Arif, pengelola, 29 Februari 2016

Supriyanto, Kepala Desa Poncosari, 03 Maret 2016

Suwandi, ketua POGIAT Dusun Ngentak, 15 April 2016

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JURNAL ILMIAH
REKAYASA
http://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa

Volume 10 No 2, Oktober 2017 Hlm 123-127
ISSN 0216-9495 (Print)
ISSN 2502-5325 (Online)

Perancangan Thermoelectric Generator (TEG) sebagai Sumber Energi Terbarukan

Faikul Umam [1*], Hairil Budiarto [2], Sri Wahyuni [3]
[1,2,3] Fakultas Teknik Universitas Trunojoyo Madura
*faikul@trunojoyo.ac.id
DOI: http://dx.doi.org/10.21107/rekayasa.v10i2.6345

Abstrak: *Kebutuhan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik semakin meningkat, sehingga cadangan bahan bakar semakin menipis. Energi listrik merupakan energi yang sangat mudah untuk dipergunakan, karena sangat mudah dikonversi menjadi bentuk energi lain dengna mudah dan efisien. Pemerintah telah mencanangkan untuk berhemat energi dan memberikan program program perancangan energi terbarukan melalui perubahan energi matahari, angin, air dan biomassa. Penelitian energi terbarukan pada solar cell, micro hydro dan biomassa telah banyak dilakukan, isu terkini pada energi terbarukan adalah pemanfaatan panas buang (waste heat), pada dunia industri dan permesinan seperti automobiles, boilers dan radiator pada mobil dan kapal banyak menyumbang panas yang terbuang. Thermoelectric generator (TEG) merupakan jenis semikonduktor yang dapat menghasilkan tegangan berdasarkan perbedaan temperatur yang melewati kedua sisi alatnya. Perancangan media ajar energi terbarukan dengan memanfaatkan Thermoelectric generator (TEG) akan menggunakan dua jenis fluida yaitu fluida panas da fluida dingin, untuk membangkitkan fluida panas digunakan heater dan untuk fluida dingin akan menggunakan air es. Metode pada penelitian ini adalah eksperimental dari 5 TEG yang disusun secara seri dan di paralel dengan 5 TEG berikutnya. Data hasil percobaan bahwa media ajar TEG dapat menghasilkan tegangan 9,20 volt pada kondisi fluida panas pada temperatur 64oC dan fluida dingin pada temperatur 11oC, sedangkan perbedaan temperatur (ΔT=53oC).*

Kata Kunci: *media ajar, energi terbarukan, TEG*

PENDAHULUAN

Ketergantungan pada bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik semakin meningkat dari tahun ketahun, namun demikian cadangan bahan bakar fosil akan terus menipis seperti minyak & gas bumi adalah sumber yang paling banyak digunakan namun tidak dapat diperbaharui [1]. Isu masalah energi dan permintaan untuk sumber energi alternatif sangat diperlukan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil tersebut, bagi perkembangan suatu negara, krisis energi memaksa untuk mencari sumber alternatif energi baru terbarukan yang ramah lingkungan sehingga tidak berdampak buruk bagi lingkungan.

Pada pembuatan media ajar ini, kami menggunakan satu perangkat yang digunakan untuk dibuat dan diperkenalkan oleh manusia sebagai energi terbarukan yaitu thermo electric peralatan generator untuk menghasilkan listrik. Seperti kita tahu energi terbarukan adalah, energi matahari, angin energi, energi air, energi gelombang laut, dll, energi tersebut dapat menghasilkan listrik dalam berbagai bentuk dan metode. Namun beberapa penggunaannya memiliki kekurangan. Sel surya adalah yang paling umum digunakan di aplikasi seperti industri rumah tangga dan sistem kelistrikan pesawat ruang angkasa. Namun, jika tidak ada cahaya matahari tidak akan ada produksi listrik sumber alternatif diperlukan untuk menghasilkan

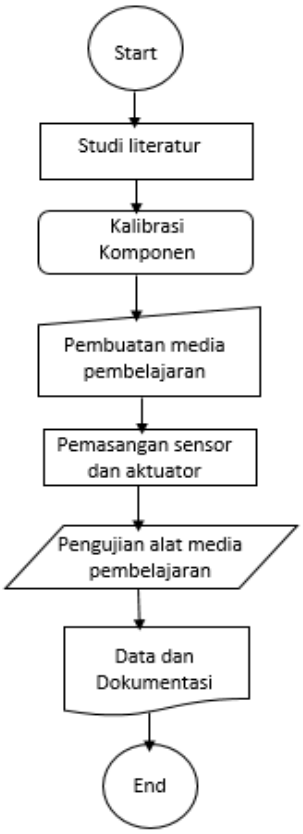
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

listrik. Energi angin dan hidro listrik punya kekurangan yqng membuat mereka lebih sedikit daya produksi dan tidak cukup untuk penggunaan yang lebih luas. Dunia industri dan permesinan, menghasilkan panas buang yang sangat banyak, jika panas tersebut dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik maka kita dapat menghemat bahan bakar, dengan memanfaatkan *Thermoelectric generator* (TEG) pada sisi panas dilewati fluida panas (berupa air panas) dan sisi dingin dilewati fluida dingin (air es), maka TEG tersebut akan menghasilkan *voltage* listrik [2].

METODE PENELITIAN

A. Alur Sistem

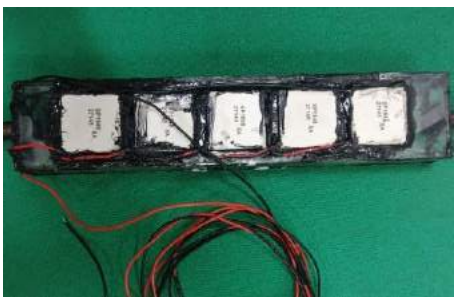
Pembuatan media ajar dilakukan di Laboratorium Mekatronika fakultas Teknik Universitas Trunojoyo madura, fluida panas yang digunakan adalah air panas yang dipanaskan dengan bantuan heater, fluida dingin yang digunakan adalah air es. Sebagai aktuator digunakan pompa air mini untuk memompa kedua fluida tersebut. Sensor temperatur mengguakan LM35 yang tahan air, dua buah sensor diletakkan pada aliran fluida panas dan fluida dingin untuk mencatat keluaran temperatur dan ditampilkan pada LCD. Percobaan dengan memerikan beban berupa lampu LED 12 volt. Langkah langkah pembuatan dan pegujian media ajar, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Sistem

B. Spesifikasi TEG

Seperti pada Gambar 2, TEG pada penelitian ini menggunakan tipe TEG127-40A, sedangkan semikonduktor yang digunakan adalah Bismuth (Bi) dan Telurium (Te). Selain itu digunakan heatsink sebagai sistem pendingin. Hal ini dilakukan agar penyerapan panas lebih maksimal dari sisi dingin TEG127-40A.



Gambar 2. Rangkaian seri dan paralel TEG127-40A

C. Thermoelectric Generator (TEG)

Konversi energi panas menjadi energi listrik sedang marak dilakukan oleh para peneliti salah satunya menggunakan Thermoelectric *Generator* (TEG) [3][4]. TEG terdiri dari sisi panas dan sisi dingin yang memungkinkan dapat mengalirkan elektron dari sisi panas ke sisi yang lebih

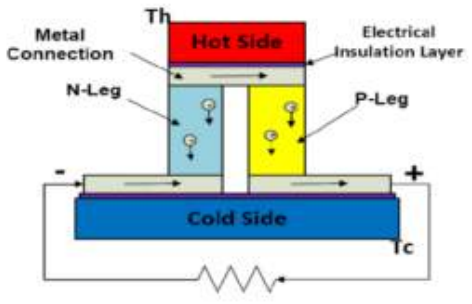
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dingin. Thermoelectric memiliki tiga antara lain Seebeck Effect, Peltier Effect, dan Thomson Effect [5]. Seperti pada Gambar 3, penjelasan seebek terkait hal ini yakni jika kedua simpangan stabil pada temperatur berbeda, maka akan menghasilkan tegangan. Konduktifitas termal air biasanya lebih tinggi dari pada udara, sehingga koefisien perpindahan panas lebih maksimal [6].

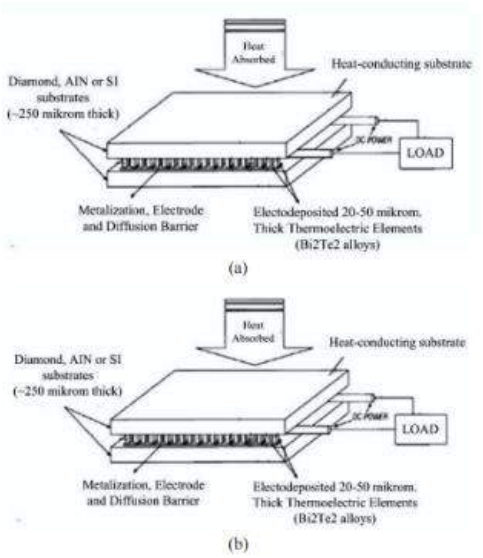
Aliran daya thermoelektrik menggunakan konsep aliran fluida, yaitu aliran panas tertutup seperti seperti pada persamaan 1. Pada kasus penggunaan logam, koefisien Seebeck sangat kecil, oleh karena itu digantikan dengan bahan semikonduktor misalnya germanium-silikon dengan koefisien 830 µV/K [7].

$$V = \int_{T_1}^{T_2} \left[\alpha_B(T) - \alpha_A(T)\right] dT. \quad \textbf{(1)}$$

Efek Peltier merupakan kebalikan efek Seebeck yakni perbedaan temperatur disebabkan oleh tegangan, dan ketidak stabilan temperature yang disebabkan oleh koefisien Seebeck merupakan efek Thomson. Dari sini TEG dibangun menggunakan prinsip dasar efek Seebeck, sehingga panas yang tersedia di bumi dapat dimanfaatkan lebih maksimal [8]. Modul thermoelectric generator dapat dilihat pada Gambar 4(a) dan Gambar 4(b).



Gambar 3. Prinsip Kerja TEG

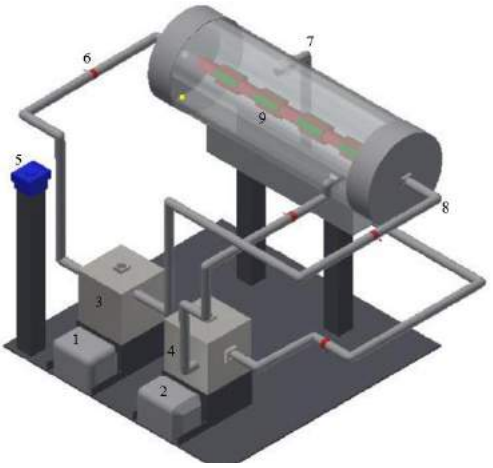


Gambar 4 (a)(b). Diagram Skematik TEG

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain media ajar TEG

Proses pembuatan alat ini dilakukan sepenuhnya dilaboraturium Mekatronika Dasar Universitas Trunojoyo Madura, media ajar menggunakan TEG sebanyak 5 buah yang dirangkai secara seri dan diparalel dengan 5 buah TEG yang dirangkai secara seri juga. Berikut adalah skema rancangan alat yang dibuat pada Gambar 5



Gambar 5. Desain media ajar

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Keterangan :

1. Pompa fluida panas (heat pump)
2. Pompa fluida dingin (cold pump)
3. Tangki fluida panas
4. Tangki fluida dingin
5. Volt meter (display tegangan yang dihasilkan)
6. Valve kran
7. Fluida dingin masuk
8. Fluida dingin keluar
9. Generator thermal(TEG)

Media ajar energi terbarukan dengan memanfaatkan TEG seperti pada Gambar 6., langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian pada media ajar tersebut.



Gambar 6. Hasil Pembuatan Alat

Pengujian Alat

Sebelum mengetahui data hasil percobaan yang telah dilakukan terlebih dahulu mengetahui dan menghitung parameter pengukuran yang akan dilakukan :

a. Tegangan maksimal yang dihasilkan TEG
   Menurut *datasheet* untuk 1 buah TEG memiliki dengan kapasitas panas maksimal 150° dapat menghasilkan tegangan listrik sebesar 4,8 V. Percobaan ini menggunakan 5 buah TEG yang disusun secara seri sehingga kapasitas tegangan maksimal (diasumsikan panas yang diberikan maksimal) yang akan dihasilkan adalah :
   V_{total} = TEG_1 + TEG_2 + TEG_3 + TEG_4 + TEG_5
   V_{total} = 4,8 +4,8 +4,8 +4,8 +4,8
   V_{total} = 24 V
b. Arus maksimal yang dihasilkan TEG
   Menurut *datasheet* untuk 1 buah TEG memiliki dengan kapasitas panas maksimal 150° dapat menghasilkan arus listrik sebesar 669 mA. Namun dalam penelitian ini penggunaan arus diabaikan. Hal ini dilakukan karena susunan rangkaian TEG berupa rangkaian seri yang menurut hukum pembagi arus, arus akan bernilai tetap apabila sebuah rangkaian disusun seri.

Penelitian ini terbagi menjadi 2 siklus yakni siklus naik dan siklus turun. Siklus naik adalah percobaan dimana suhu awal dibiarkan sama dengan suhu ruang yang kemudian diberikan perlakuan pada masing-masing tabung fluida. Tabung I diberikan perlakuan pemanasan, sedangkan Tabung II diberikan perlakuan pendinginan. Siklus ini dilakukan selama 20 menit dengan pembacaan hasil yang akan di *record* per 2 menit. Data hasil pengujian akan disajikan dalam bentuk Tabel 1

Tabel 1. Tabel Hasil Pengujian Media Ajar

Menit ke-	T_{panas} (^{o}C)	T_{dingin} (^{o}C)	ΔT (^{o}C)	V (Volt)
0	30	30	0	0,28
2	35	23	12	1,92
4	39	21	18	2,86
6	43	20	23	3,66
8	46	18	28	4,40
10	50	17	33	5,09
12	52	14	38	5,88
14	55	13	42	6,46
16	57	12	46	7,40
18	60	13	47	8,70
20	64	11	53	9,20
Rata-rata kenaikan temperatur T_{panas}				4 ^{o}C
Rata-rata penurunan temperatur T_{dingin}				2 ^{o}C
Rata-rata perbedaan temperatur (ΔT)				31 ^{o}C
Rata-rata tegangan yang dihasilkan				5,08 V

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa rata rata kenaikan temperatur sekitar 4°C, dan rata rata penurunan temperatur sekitar 2°C, perbedaan temperatur rata rata (ΔT) adalah 31°C, dan tegangan yang dihasilkan rata rata 5,08 volt. Pada percobaan selama 20menit, tegagan tertinggi yang dihasilkan adalah 9,20 volt, dan dapat terus meningkat berbanding lurus dengan perbedaan temperatur yang semakin besar, semakin besar perbedaan temperatur maka semakin besar tegangan yang dihasilkan oleh media ajar tersebut. untuk mendapatkan perbedaan temperatur yang tinggi maka diperlukan suatu metode kontrol temperatur, dengan mengatur valve dc kran, penambahan TeG secara seri dan paralel untuk mendapatkan tegangan listrik dan arus yang besar,disarankan untuk membuat rangkaian charging sehingga tegangan dari media ajar dapat disimpan pada suatu storage (baterai).

DAFTAR PUSTAKA

Cengel, Yunus A. (2003). Heat transfer: A practical approach (2nd ed.). New York: McGrow-Hill.

Date, Ashwin. et.al. (2015). Theoritical and experimental estimation of limiting input heat flux for thermoelectric power generators with passive cooling. Solar Energy, 111, 201-217.

E.F. Thacher, B.T. Helenbrook M.A Karri, "Exhaust energy conversion by thermoelectric generator. Two case studies,"Elsevier. November 2010.

G Rohit, D Manaswini, Vinod Kotebavi, Nagaraja S.R,"Performance Study of Thermo-Electric Generator", International conference on functional materials, characterization, solid state physich, power, thermal and combustion energy. AIP Conf. Proc. 1859,02094-6; doi:10.1063/1.4990247. Published by AIP Publishing.

Ismail, Basel I. Wael H. Ahmed. Thermoelectric Power Generation Using Waste-Heat Energy as Alternative Green Technology. Recent Patents on Electrical Engineering. 2009.

Jorge Vázquez, Miguel A. Sanz-Bobi, Rafael Palacios, Antonio Arenas "State of the Art of Thermoelectric Generators Based on Heat Recovered from the Exhaust Gases of Automobiles

Rislima Sitompul, "Teknologi Energi Terbarukan yang Tepat Untuk Aplikasi di Masyarakat Perdesaan (Manual Pelatihan)" DANIDA, International Development Cooperation, 2011.

Sugiyanto, Muh Tarum N Umam, Endra Suciawan, "Rancang Bangun Kontruksi TEG (*thermoelectric Generator*) pada knalpot Sepeda Motor Untu Pembangkit Listrik Mandiri". Forum Teknik Vol. 36,No.1, Januari2015.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN:2598-9030
e-ISSN:2614-056X

PKM PELATIHAN PEMBUATAN BRIKET KULIT KELAPA SAWIT DALAM MEWUJUDKAN ALTERNATIF ENERGI TERBARUKAN

Deni Nasir Ahmad[(1)*], Luluk Setyowati[(2)], Desi Novianti[(3)]
[(1)]Program Studi Pendidikan Matematika, [(2)]Program Studi Pendidikan Fisika,
[(3)]Program Studi Teknik Informatika
Universitas Indraprasta PGRI. Jl. Nangka No. 58 B, Tanjung Barat. Jaksel.
Email : [(1)]deninasirahmad@gmail.com* ,
[(2)]Setyowati_luluk@yahoo.com, [(3)]n_desi_a@yahoo.com

Abstrak

Berdasarkan hasil pengamatan bahwa Energi fosil mendominasi konsumsi energi dunia hingga 80% dari bauran energi (energy mix) di tahun 2030. Oleh karenanya diperlukan energi alternatif bahan bakar yakni salah satunya penggunaan briket sebagai bahan bakar energi alternatif. Metode dalam kegiatan pengabdian masyarakat adalah menggunakan metode penyuluhan atau presentasi dan pelatihan. Hasil dari kegiatan pengabdian masyarakat yakni Kegiatan pengabdian masyarakat ini dihadiri oleh 30 peserta yang berasal dari perwakilan organisasi mahasiswa kampus (BEM) Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Bekasi, mahasiswa perwakilan daerah tempat perkebunan dan pengelolaan kelapa sawit wilayah sumatra dan kalimantan, mahasiswa dan perwakilan karyawan perusahaan perkebunan dan pengelolaan kelapa sawit yang sedang belajar di Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Bekasi. Dalam melakukan kegiatan pengabdian masyarakat tim pengabdi melakukan beberapa kegiatan berupa kegiatan pemberian informasi mengenai sumber energi berdasarkan kebutuhan di Indonesia dan penggunaannya, kemudian proses pembakaran dan pengelolaan kulit kelapa sawit serta kegiatan akhirnya pelatihan pembuatan briket dari hasil pembakaran kulit kelapa sawit. Kegiatan pengabdian yang telah dilakukan diharapkan memberikan suatu manfaat bagi perbaikan lingkungan dan masyarakat dalam hal ini para mahasiswa dapat mengaplikasikan kedalam dunia pekerjaan dan dimasyarakat menjadi pembaharu lingkungan. Dari kegiatan yang telah dilakukan dapat dibuat simpulan sebagai berikut : 1. Dalam melaksanakan kegiatan pengabdian masyarakat kepada mitra pengabdi, tim pengabdi memperoleh banyak masukan dari peserta dan membuat kesepakatan bersama bahwa saling bersinergi dalam mengembangkan teknologi alternatif bahan bakar yang bermanfaat bagi masyarakat di wilayah tempat peserta yakni para mahasiswa bekerja. 2. Peserta pelatihan sangat berantusias dan proaktif dalam seluruh kegiatan dari awal sampai akhir kegiatan terbukti bahwa banyaknya pertanyaan yang saling membangun guna membuat energi alternatif bahan bakar lebih baik dan maksimal digunakan didalam masyarakat.

Kata kunci : *Briket, Kelapa Sawit, Energi Terbarukan*

1. PENDAHULUAN

Menurut International Energy Agency (IEA), yaitu sebuah badan di bawah naungan kelompok negara OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), dalam laporan tahunannya yang bertajuk World Energy Outlook 2008 (WEO 2008), konsumsi tahunan energi primer dunia pada tahun 2008 berada di level 12.000 MTOE (juta ton of oil equivalent); meliputi minyak, batu bara, gas, biomassa, nuklir, hidro, dan energi terbarukan lainnya. Bila diproyeksikan ke depan, konsumsi tahunan energi dunia di tahun 2030

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

diprediksi berada di level 17.000 MTOE.Angka prediksi ini sudah mengakomodir skenario berbagai kebijakan/policies yang sudah dibuat dan diimplementasikan berbagai negara di dunia sampai tahun 2008. Dalam pengertian, jika setelah tahun 2008 tidak ada lagi kebijakan baru yang bisa men-trigger upaya peghematan dan diversifikasi energi lebih lanjut, maka angka ramalan konsumsi energi dunia di tahun 2030 tersebut sangat besar kemungkinan bisa terjadi.[1] Di sektor pembangkit tenaga listrik, setelah tahun 2010 diramalkan pemanfaatan energi terbarukan akan menduduki peringkat kedua setelah batubara. Namun di sektor transportasi kelihatannya pemanfaatan energi terbarukan masih akan menemui banyak kendala dan tantangan. Meskipun minyak non konvensional (biofuel misalnya) sudah mulai digunakan namun bahan bakar berbasis minyak bumi untuk transportasi masih tetap dominan.[2] Menurut Jianfeng, dkk[3] masalah ekonomi dan lingkungan untuk mengurangi emisi gas CO_2 dari rumah kaca dan meningkatkan fleksibilitas bahan bakar telah memotivasi penggunaan bahan bakar biomassa sebagai pengganti bahan bakar fosil untuk panas dan pembangkit listrik. Pemanfaatan sumber energi dari minyak bumi, batu bara, dan gas bumi sebagai bahan bakar energi alam sangatlah terbatas oleh karenanya diperlukan energi alternatif bahan bakar.

Permasalahan mitra yang sering dihadapi adalah limbah buangan dari pemerahan kulit kelapa sawit dimana banyak terbuang hanya tertumpuk dan menimbulkan bau tak sedap. Oleh karena itu mitra meminta tim pengabdi untuk melakukan kegiatan pelatihan bagaimana cara mengelola sampah kelapa sawit menjadi nilai berharga bagi masyarakat khususnya bagi masyarakat di wilayah tempat para karyawan perusahaan kelapa sawit bekerja. Dalam kegiatan ini mitra pengabdi menginginkan kegiatan pengabdian masyarakat ini menghasilkan luaran berupa para karyawan atau mahasiswa yang diberikan pelatihan pengelolaan limbah buangan hasil pemerahan kelapa sawit menjadi bagian dari masyarakat peduli lingkungan dan mampu mengelola buangan kulit kelapa sawit menjadi sesuatu nilai ekonomis buat perusahaan dan masyarakat. Dari permasalahan mitra tersebut maka tim melakukan pemberdayaan sumber energi alternatif bahan bakar dengan cangkang kelapa sawit berupa briket cangkang kelapa sawit. Briket menurut Hambali, dkk adalah perubahan bentuk produk dari serbuk yang dicampur dengan perekat menjadi bentuk tertentu sesuai yang diinginkan melalui proses pengepresan.[4]

Pemanfaatan briket masih dibawah angka rata-rata kebutuhan disebabkan karena kesulitan bahan. Sedangkan bahan buang dari perusahaan nabati misalkan kelapa sawit masih belum termanfaatkan. Cangkang sawit memiliki banyak kegunaan serta manfaat bagi industri usaha dan rumah tangga. Beberapa diantaranya adalah produk bernilai ekonomis tinggi, yaitu arang aktif, asap cair, fenol, briket arang, dan tepung tempurung. Cangkang sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit. Ditinjau dari karakteristik bahan baku, jika dibandingkan dengan tempurung kelapa biasa, tempurung kelapa sawit memiliki banyak kemiripan. Perbedaan yang mencolok yaitu pada kadar abu (ash content) yang biasanya mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan oleh tempurung kelapa dan cangkang kelapa sawit. Berdasarkan penelitian purwanto[4] bahwa : Briket tempurung kelapa sawit dengan bahan kehalusan serbuk 7 mesh menghasilkan nilai kalori lebih besar dan kadar abu lebih rendah dibandingkan 16 mesh dan 25 mesh. 2. Briket tempurung kelapa sawit dengan bahan kehalusan serbuk 25 mesh menghasilkan kekuatan tekan lebih besar dibandingkan 16 mesh dan 7 mesh. Tekanan kempa 7 ton menghasilkan kekuatan tekan yang lebih besar dibandingkan tekanan kempa 5 ton . 3. Briket tempurung kelapa sawit dengan perekat 5% menghasilkan kekuatan tekan lebih besar dan kadar air lebih rendah dibandingkan 2,5 4. Kadar sulfur yang dihasilkan dari bahan tempurung kelapa sawit, dan briket tempurung adalah rata-rata negatif. 5. Untuk menghasilkan briket tempurung kelapa sawit yang memiliki nilai kalori, kadar karbon dan kekuatan tekan yang tinggi; dan kadar air dan kadar abu yang rendah maka perlakuan yang digunakan bahan serbuk kehalusan 7 mesh, tekan kempa 3 ton dan konsentrasi perekat 5%. Selanjutnya berdasarkan penelitian Yessy Meisrilestari[5]yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa arang aktif yang dibuat dari cangkang kelapa awit dengan proses aktivasi secara fisika-kimia mempunyai daya jerap yang paling baik di antara arang aktif lain yang diaktivasi dengan proses fisika dan kimia. Pada waktu penjerapan 4 jam, arang aktif berdiameter 355 µm dengan aktivasi fisika-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

kimia mampu menjerap sebanyak 34,4% bagian dari larutan asam asetat 0,5 N suhu 30°C. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil arang dari cangkang kelapa sawit sangatlah baik dipergunakan dalam pembuatan briket kelapa sawit sebagai bahan bakar energi alternatif.

Dari permasalahan tersebut mengenai bagaimana memanfaatkan kebutuhan energi dan pemanfaatan energi alternatif terbarukan membuat kami dari tim pengabdi membuat kegiatan pemberdayaan masyarakat dengan kegiatan berupa penginformasian dan pemberian pelatihan pembuatan briket dari cangkang arang kelapa sawit guna memperoleh kegunaan arang atau briket cangkang kelapa sawit sebagai suatu energi alternatif bahan bakar dan membuat mitra yang diberikan pelatihan menjadi mandiri serta menjadi nilai ekonomis bagi mitra terutama masyarakat.

2. METODE

Adapun metode yang digunakan dalam melakukan kegiatan pengabdian masyarakat adalah :

1. Observasi langsung yakni pengabdi langsung datang ke lokasi pengabdian untuk memperoleh data. Hal ini kami lakukan pada saat menjelang maupun saat kegiatan berlangsung. Observasi berguna untuk mengetahui kondisi permasalahan yang ada dan sumber daya yang dapat dimanfaatkan dalam melakukan kegiatan.
2. Melakukan kegiatan perencanaan proyek perbaikan lingkungan dimana kami membagi tim dengan beberapa tugas dan kegiatan yakni, langkah pertama memberikan penyuluhan mengenai kegunaan pengelolaan lingkungan hidup dan dampak bila limbah organik terbuang begitu saja, langkah kedua pemberian pelatihan pembuatan produk pengelolaan limbah organik kelapa sawit menjadi briket kulit kelapa sawit.
3. Melakukan evaluasi dan shering bersama untuk menemukan kesepakatan bersama dalam melakukan perbaikan lingkungan.

Peserta dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini adalah para mahasiswa dan karyawan perusahaan pengelolaan kelapa sawit yang diwadahi oleh Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi yang merupakan lembaga pendidikan dan pelatihan yang menghasilkan lulusan para teknisi dalam mengelola dan mengembangkan perusahaan kelapa sawit dengan jumlah peserta berjumlah 30 orang peserta. Dengan beberapa tahapan atau metode tersebut diharapkan memperoleh hasil yang maksimal sesuai dengan apa yang telah dirancang oleh tim pengabdi.

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Kegiatan

Kegiatan pengabdian masyarakat yang telah tim pengabdi laksanakan pada tanggal 21 April 2019 pada pukul 09.00 s/d 15.30 WIB bertempat di Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Bekasi diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Dalam melaksanakan kegiatan pengabdian masyarakat kami tim pengabdi membagi beberapa kegiatan dan pembicara atau pelaksana kegiatan. Adapun kegiatan pengabdian masyarakat dan para pembicara atau pelaksana kegiatan adalah sebagai berikut :
   a. Pembukaan dan sambutan kegiatan pengabdian masyarakat, pembicara atau pelaksana kegiatan yaitu **Luluk Setyowati, M.Pd.**
   b. Presentasi dan pelatihan pembuatan briket arang kulit kelapa sawit, pembicara atau pelaksana kegiatan yaitu **Deni Nasir Ahmad, M.Pd**. Kegiatan presentasi berisikan mengenai pemanfaatan energi di Indonesia dan peluang pemerolehan sumber energi alternatif guna memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. Dalam kegiatan pelatihan pembuatan briket kulit kelapa sawit peserta diajarkan bagaimana membuat adonan, pencampuran dan pengerasan briket kulit kelapa sawit sampai pada teknik pengeringan produk.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

c. Pengemasan dan pemasaran produk, pembicara atau pelaksana kegiatan yaitu **Desi Novianti, M.T.** Kegiatan berisikan penjualan produk dan pengemasan agar produk menjadi menarik dan memperoleh nilai jual tinggi.

2. Para peserta yang terdiri dari para mahasiswa, karyawan perkebunan kelapa sawit dan Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Bekasi. Secara proaktif melaksanakan seluruh kegiatan dari awal sampai akhir. Rasa keingintahuan dan antusias dari para peserta membuat pemateri atau pembicara dalam melaksanakan kegiatan pengabdian masyarakat memperoleh banyak informasi dan pengalaman serta saran dalam mengembangkan teknologi briket kulit kelapa sawit dan peserta kegiatan menginginkan kesinergisan bantuan tenaga ahli dalam membimbing kegiatan dalam mengembangkan teknologi bahan bakar alternatif.
3. Dalam melakukan kegiatan pengabdian kepada mitra pengabdi, tim sangat berterima kasih kepada semua kalangan khususnya para peserta kegiatan telah mau membuka dirinya untuk menerima inforemasi teknologi bahan bakar alternatif berupa pelatihan pembuatan briket kulit kelapa sawit yang telah diberikan atau disajikan oleh tim pengabdi. Tim pengabdi berharap semoga informasi yang telah diberikan dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan menjadi enregi alternatif terbarukan khususnya teknologi bahan bakar.

B. Pembahasan

Setelah tim pengabdi melakukan kegiatan pengabdian masyarakat dapat diperoleh hasil bahwa banyaknya peserta mengalami masalah yang sama yakni peserta belum memahami hasil buangan kulit kelapa sawit masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar yang dapat dipergunakan untuk nilai ekonomis apabila dimanfaatkan secara maksimal. Banyaknya peserta hanya membuang dengan cara dipendam ataupun dibakar sampai habis untuk menghilangkan buangan sisa dari pengelolaan sampah kulit kelapa sawit. Dengan adanya kegiatan pengabdian masyarakat berupa pemberian pelatihan pengelolaan cangkang kelapa sawit dari hasil buangan pengelolaan minyak kelapa sawit yang tadinya terbuang masih dapat dimanfaatkan sebagai nilai tambah atau ekonomis bagi para peserta yang nantinya akan ditugaskan kembali dalam pengelolaan kelapa sawit pada wilayah kerja mereka.

Dalam kegiatan pengabdian masyarakat tim pengabdi menugaskan beberapa pembicara dibantu oleh beberapa mahasiswa yang merupakan anggota pada tim pengabdi untuk memudahkan dan membantu kelancaran kegiatan. Tujuan kami dari tim pengabdi inti yang terdiri dari beberapa dosen menyertakan para mahasiswa sebagai anggota untuk memberikan pengalaman diluar perkuliahan agar para mahasiswa memperoleh pengetahuan dan pengalaman baru dalam penerapan teknologi bahan bakar alternatif. Dengan antusias peserta pengabdian kami dari tim pengabdi merasa sangat bersemangat menularkan pengetahuan kami dalam memanfaatkan limbah buangan sebagai suatu alternatif energi bahan bakar khususnya pada limbah cangkang kelapa sawit.

Kesulitan dalam kegiatan pengabdian masyarakat yang telah kami lakukan adalah tim pengabdi mengalami kesulitan dalam pemerolehan buangan limbah cangkang kelapa sawit dikarenakan beberapa limbah hasil pengelolaan minyak kelapa sawit hanya sedikit kami peroleh, hal ini disebabkan karena kondisi tempat bukanlah wilayah perkebunan kelapa sawit sehingga pemerolehan bahan hanya sedikit dari hasil kegiatan praktikum mahasiswa pada prodi teknologi pengelolaan minyak kelapa sawit pada kelas penyulingan kelapa sawit menjadi produk unggulan. Namun kesulitan dari kegiatan pelatihan tersebut dapat teratasi dengan melakukan beberapa perlakuan kegiatan pelatihan yakni : kami membagi beberapa kelompok kemudian memberikan alat dan bahan selanjutnya berdasarkan arahan dari pembicara dalam pelatihan tersebut masing-masing kelompok bertanggung jawab dalam melakukan seluruh proses pengolahan limbah buangan cangkang kelapa sawit. Dibantu beberapa mahasiswa dari tim pengabdi memudahkan pembicara atau pelatih melakukan kegiatan pelatihan pengelolaan limbah buangan camgkang kelapa sawit menjadi bahan yang memiliki nilai ekonomis yakni briket cangkang kelapa sawit. Berikut foto tim pengabdi dan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

perwakilan peserta kegiatan setelah melakukan pelatihan dan produk hasil kegiatan pelatihan pembuatan briket pada limbah cangkang kelapa sawit.



Gambar 1. Tim Pengabdi dan perwakilan peserta kegiatan pelatihan pembuatan briket cangkang kelapa sawit.



Gambar 2. Anggota dan tim inti pengabdian masyarakat.

4. KESIMPULAN

Adapun hasil dari kegiatan pengabdian masyarakat yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dalam melaksanakan kegiatan pengabdian masyarakat kepada mitra pengabdi, tim pengabdi memperoleh banyak masukan dari peserta dan membuat kesepakatan bersama bahwa saling bersinergi dalam mengembangkan teknologi alternatif bahan bakar yang bermanfaat bagi masyarakat di wilayah tempat peserta yakni para mahasiswa bekerja.
2. Peserta pelatihan sangat berantusias dan proaktif dalam seluruh kegiatan dari awal sampai akhir kegiatan terbukti bahwa banyaknya pertanyaan yang saling membangun guna membuat energi alternatif bahan bakar lebih baik dan maksimal digunakan didalam masyarakat.

5. SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil kegiatan pengabdian masyarakat yang telah tim pengabdi lakukan, yaitu :

1. Pemanfaatan bahan bakar briket sebagai bahan bakar sangatlah bermanfaat dikarenakan untuk mengurangi penggunaan sumber bahan bakar minyak dan gas yang tersedia dialam sangatlah terbatas oleh sebab itu pemerintah mau menyediakan alat dan sumber daya agar terwujud produk teknologi alternatif bahan bakar khususnya bahan bakar dari briket kulit atau cangkang kelapa sawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam mensukseskan kegiatan pengabdian masyarakat, kami dari tim pengabdi sangatlah berterima kasih kepada :

a. Universitas Indraprasta PGRI yang diwakili oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) Universitas Indraprasta PGRI yang telah memberikan **bantuan hibah pengabdian masyarakat dengan nomor kontrak 0342/SP3M/KPM/LPPM/UNINDRA/III/2019.**

b. Pimpinan dan karyawan dari Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Khususnya Bapak Istianto Budhi Rahardja, S.T.,M.T.,IPP (Kepala Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi).

c. Mahasiswa Universitas Indraprasta PGRI Khususnya pada mahasiswa prodi pendidikan fisika semester 4 tahun ajaran 2018/2019.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

d. Peserta pelatihan mahasiswa dan karyawan perusahaan pengelolaan kelapa sawit yang diwadahi oleh Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Abdullah, Gamil, *Kebutuhan Energi Dunia*, 15 Feb 2011, http://appi-online.or.id/kebutuhan-energi-dunia.

[2] Chandra, Adhi Ardan, *Konsumsi Energi di RI Meningkat 5,9% di 2016*, Kamis, 14 Sep 2017, https://finance.detik.com/energi/d-3642523/konsumsi-energi-di-ri-meningkat-59-di-2016.

[3] Musabbikhah, Harwin Saptoadi, Subarmono dan Muhammad Arif Wibisono, 2015, *Optimasi Proses Pembuatan Briket Biomassa Menggunakan Metode Taguchi Guna Memenuhi Kebutuhan Bahan Bakar Alternatif Yang Ramah Lingkungan*. J, Manusia Dan Lingkungan, Vol. 22, No.1, Maret 2015: 121-128 [5] Meisrilestari,Yessy Rahmat Khomaini, Hesti Wijayanti. 2013, *Pembuatan Arang Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivasi Secara Fisika, Kimia Dan Fisika-Kimia*, Konversi, Volume 2 No. 1, April 2013.

[4] Purwanto, Djoko, 2010, *Briket Bahan Bakar Dari Limbah Tempurung Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq)*, Jurnal Riset Industri Hasil Hutan Vol.2, No.1, Juni 2010 : 27– 34 .

[5] Meisrilestari, Yessy, Rahmat Khomaini, Hesti Wijayanti, 2013, *Pembuatan Arang Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivasi Secara Fisika, Kimia Dan Fisika-Kimia*, Konversi, Volume 2 No. 1, April 2013.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah
Vol. 13, No. 1, Januari - Juni 2021, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v13i1.868

Potensi Penerapan Energi Terbarukan Sebagai Upaya Mewujudkan Kemandirian Desa: Studi Kasus Desa Lendang Nangka Lombok Timur

Shafwan Amrullah[1,3]; Theresia Evila[2]

[1] Jurusan Teknolgi Industri Pertanian, Universitas Teknologi Sumbawa
[2] Jurusan Teknologi Rekayasa Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap
[3] Pusat Studi Terapan Kesehatan Keselamatan Kerja dan Lingkungan, Universitas Teknologi Sumbawa
[1, 3] shafwan.amrullah@uts.ac.id

Abstract

The village is currently being pushed into an independent village, both in the energy and economic fields by implementing renewable energy to increase energy independence as a step to improve the village's economy. This study aims to analyze the potential of renewable energy implementation (Wind Power Plant, Solar Power Plant, Hydro Power Plant, and Energy Conversion by Gasification Process) in Lendang Nangka village, East Lombok Regency. This study was conducted by collecting data from BMKG and testing directly using Air Flow Anemometer GM8902 and DIGITAL TECHNOMETER LX-1010B. In addition, interviews were conducted with small and medium entrepreneurs to find out the use of energy in supporting the production process. The results of the study showed that the potential of wind power plant by a small scale (23.4-632.88 kWh/turbine). The potential of solar power plants generate power of 410-566 kWh per square meter of solar panels. The hydropower potential with a small size turbine (power potential was 0.3024-2.2194 kWh). As for the potential use of energy converters for gasification, it can be done to reduce the use of non-renewable fuels while saving on production costs. Because the High Heating Value of synthetic gas produced 1.7 greater than direct combustion with wood.

Keywords: *Gasification, Wind Powr Plant, Solar Power Plant, Hydro Power Plant, Independent Village*

Abstrak

Desa saat ini didorong menjadi desa mandiri, baik dalam bidang energi maupun ekonomi dengan mengimplementasikan energi terbarukan untuk meningkatkan kemandirian energi sebagai salah satu langkah meningkatkan ekonomi masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi penggunaan energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), dan Konversi Energi Gasifikasi di desa Lendang Nangka, Kabupaten Lombok Timur. Penelitian dilakukan dengan pengumpulan data baik dari BMKG dan pengujian secara langsung menggunakan alat Air Flow Anemometer GM8902 untuk mengetahui kecepatan angin dan DIGITAL TECHNOMETER LX-1010B untuk mengetahui intensitas cahaya matahari. Selain itu dilakukan wawancara kepada pengusaha kecil dan menengah untuk mengetahui penggunaan energi dalam menyokong proses produksinya. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa potensi PLTB yang dapat diemplementasikan adalah PLTB sekala kecil dengan daya sekitar 23,4-632,88 kWh/turbin. Untuk potensi PLTS menghasilkan daya sebesar 410-566 kWh per meter persegi panel surya. Untuk potensi PLTA, turbin yang cocok adalah turbin ukuran kecil dengan potensi daya sekitar 0,3024-2,2194 kWh. Sedangkan untuk potensi penggunaan converter energi jenis gasifikasi dapat dilakukan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar tidak terbarukan sekaligus menghemat biaya porduksi. Sebab, nilai High Heating Value gas sintetik yang dihasilkan 1,7 kali lebih besar daripada pembakaran langsung dengan kayu.

Kata kunci: *Kemandirian Desa, Gasifikasi, PLTB, PLTA, PLTS*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Vol. 13, No. 1, Januari - Juni 2021, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v13i1.868

1. PENDAHULUAN

Desa merupakan komponen sebuah Negara yang bertindak sebagai lumbung pangan dan sumber ekonomi sebuah Negara, baik itu Negara berkembang maupun Negara maju sekalipun. Saat ini desa dituntut sebagai desa mandiri, yaitu mandiri dalam hal ekonomi, sosial, dan ekologi secara berkelanjutan. Tuntutan ini didasarkan pada Peraturan Menteri Desa, Pembangunan Daerah Tertinggal, dan Transmigrasi Nomor 2 Tahun 2016 tentang Indeks Desa Membangun. Peraturan tersebut menjabarkan bahwa yang dimaksud dengan desa mandiri atau desa sembada adalah desa maju yang memiliki kemampuan melaksanakan pembangunan desa [1].

Untuk menunjang kemandirian desa, pemerintah saat ini telah menggontorkan dana yang cukup banyak sebagai implementasi dari kebijakan utama dari UU No 6/2014 tentang Desa. Dimana, dari kebijakan tersebut saat ini berupa pemberian dana desa dengan jumlah Rp 800.000.000 hingga Rp 1,4 Milyar per desa pertahunnya. Nominal dana yang didapatkan setiap desa diseluruh Indonesia pun berbeda. Hal ini disebabkan karena, dana desa bersumber dari dana gabungan APBN, APBD Provinsi, dan APBD Kabupaten/kota [2].

Telah banyak upaya yang dilakukan untuk mendukung program kemandirian desa tersebut, diantaranya adalah pembentukan Badan Usaha Milik Desa (BUMDES) dan lain sebagainya. Akan tetapi, pada kenyataannya, BUMDES di daerah tertentu tidak berjalan dengan baik, bahkan banyak terjadi penyalah gunaan dana maupun wewenang. Sehingga upaya lain yang dilakukan oleh pemerintah desa adalah dengan mengupayakan potensi desa yang lebih ekonomis, yaitu usaha dengan modal kecil namun menghasilkan profit yang tinggi. Cara yang dilakukan beberapa desa saat ini adalah dengan memanfaatkan energi terbarukan sebagai upaya mengurangi konsumsi energi fosil masyarakat sekaligus pengoptimalan penggunaan bahan baku lokal sebagai pengganti energi.

Penggunaan energi terbarukan telah banyak dilakukan sebagai langkah tepat untuk mencapai sebuah kemandirian desa. Sebab dengan menggunakan energi terbarukan secara otomatis terjadi penghematan pembelian energi fosil. Selain itu, dengan menggunakan energi terbarukan sekaligus membantu program pemerintah dalam meningktakan penggunaan energi terbarukan itu sendiri. Beberapa energi terbarukan yang potensial dan sering digunakan di pedesaaan antara lain adalah energi surya, energi angin dengan tipe trubin angina kecil sampai sedang, energi dari tenaga air, energi biomassa dengan memanfaatkan teknologi gasifikasi, dan juga energi berbahan baku plastik bekas dengan memanfaatkan teknologi pirolisis [3].

Sebelumnya telah banyak penelitian tentang energi terbarukan dalam menunjang perekonomian pedesaan. Misalkan penggunaan *Solar Home System* (SHS) sebagai solusi untuk mengatasi keterbatasan listrik di pedesaan [4]. Selain itu, sebagai contoh, telah dilakukan penelitian tentang potensi dan kapasitas energi *hybrid* di desa Komor, Kecamatan Unirsirau, Kabupaten Asmat, Papua dengan hasil penelitian bahwa sistem yang potensi dikembangkan desa Komor adalah sistem energi *hybrid off Grid* PLTD-PLTS dengan nilai produksi listrik lebih besar yaitu sekitar 120,144 kwh/tahun. Penelitian yang dilakukan ini berfokus pada energi angin dan matahari [5]. Selain itu, sungai di pedesaan dapat dimanfaatkan sebagai pemabngkit energi listrik sederhana, misalkan menggunakan turbin kecil untuk menghasilkan. Hal ini disebabkan karena, notabene sungai di pedesaan memiliki debit yang kecil sampai sedang. Turbin sederhana yang biasa dipakai misalkan turbin air sungai poros vertical dengan tipe savonius menggunakan pemandu arah aliran. Penelitian ini dilakukan pada sungai dengan debit air yang tidak terlalu besar. Hasil yang didapatkan adalah daya keluar maksimum generator yang dihasilkan adalah 2,311 Watt. Sedangkan dengan pemandu arah aliran diperoleh effisiensi sebesar 12,15%. Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan kecepatan aliran air sungai yang kecil sekalipun, energi listrik dapat dibangkitkan dengan turbin tertentu [6]. Di Negara-negara majupun telah banyak diterapkan energi terbarukan sebagai solusi mengatasi krisis

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Vol. 13, No. 1, Januari - Juni 2021, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v13i1.868

energi di pedesaan. Misalkan Negara Turki yang telah menggunakan energi matahari, angin, air, dan sebagainya hingga 2.750 ktoe pada tahun 2017. Dimana sataun katoe adalah singkatan dari *kilo tons of oil equipment* [7].

Penggunaan biomassa sebagai energi terbarukan juga telah banyak dilakukan. Salah satunya adalah penggunaan teknologi gasifikasi untuk menggantikan peran gas LPG untuk keperluan rumah tangga maupun industri rumahan di daerah pedesaan. Gasifikasi sendiri merupakan sebuah proses termokimia yang merubah bahan hidrokarbon menjadi gas sintetik yang dapat terbakar seperti CO, H_2, dan CH_4, maupun tidak, seperti CO_2 [8]. Berdasarkan arah aliran umpan dan produk, alat gasifikasi dibedakan menjadi *fixed bed gasifier* yang dikategorikan sebagai *updraft, downdraft,* dan *crossdraft gasifier*. Contoh aplikasi gasifikasi untuk keperluan masyarakat adalah penggunaan gasifikasi sekala kecil untuk menghasilkan energi listrik terbatas. Misalkan penggunaan gasifikasi bersekala kecil yang dapat menghasilkan listrik hingga 16,8 kW berbahan baku biomassa dengan kecepatan umpan 12,5 kg/jam [9]. Dari pemaparan di atas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi penggunaan energi terbarukan di pedesaan dalam rangka menunjang perekonomian dan kemandirian desa. Lokasi penelitian dilakukan di Desa Lendang Nangka, Kecamatan Masbagik, Kabupaten Lombok Timur, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Lokasi ini dianggap cocok untuk melakukan penelitian sebab lokasinya yang padat penduduk dengan kebutuhan energi yang cukup tinggi. Selain itu, lokasi ini juga memiliki dua bendungan serta kecepatan angin cukup besar. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data dari BMKG sekaligus pengecekan secara langsung di lapangan menggunakan alat uji khusus. Untuk menguji kecepatan angin digunakan alat *Air Flow Anemometer* GM8902 sebagai indikator potensi Energi Listrik Tenaga Angin. Digunakan juga DIGITAL TECHNOMETER LX-1010B untuk mengetahui intensitas cahaya matahari sebagai indikator energi listrik bertenaga surya. Selain itu, dilakukan proses pengumpulan data mengenai konsumsi energi bahan bakar yang dilakukan oleh pelaku usaha kecil dan menengah sehingga diketahui potensi penggunaan gasifikasi untuk mengkonversi biomassa menjadi energi yang labih baik.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Desa Lendang Nangka, Kecamatan Masbagik, Kabupaten Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat. Desa Lendang Nangka sendiri memiliki jumlah penduduk mencapai 11.292 dengan jumlah KK sebanyak 4.022 [9]. Peta wilayah Desa Lendang Nangka secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Desa Lendang Nangka Secara Keseluruhan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Vol. 13, No. 1, Januari - Juni 2021, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v13i1.868

2.2. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain *Air Flow Anemometer* GM8902 sebagai indikator potensi Energi Listrik Tenaga Angin. Selain itu digunakan DIGITAL TECHNOMETER LX-1010B untuk mengetahui intensitas cahaya matahari sebagai indikator energi listrik bertenaga surya. Selain itu digunakan meteran untuk mengukur jarak dan kedalaman dari sungai untuk mengukur debit air sungai.

2.3. Cara Penelitian

Penelitian dilakukan dalam empat tahap. Yang pertama proses pengukuran potensi pembangkit listrik tenaga angin di Desa Lendang Nangka. Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan data kecepatan angin sepanjang tahun dari sumber data BMKG. Selain itu dilakukan juga pengecekan langsung dengan alat *Air Flow Anemometer* GM8902. Dengan adanya data kecepatan angin, maka dapat diketahui rekomendasi pembangkit listrik tenaga bayu yang tepat, misalkan untuk ukuran turbin angin maupun yang lainnya. Selain jenis turbin angin, dapat diketahui juga potensi daya yang bisa dibangkitkan dengan kecepatan angin yang ada, yaitu dengan menggunakan Persamaan 1.

$$P = \frac{1}{2} \bullet A \bullet v^3 \bullet \rho \quad (1)$$

P adalah Daya (Watt), A adalah luas penampang udara (m^2), v adalah kecepatan udara (m/s), dan ρ adalah kerapatan udara (kg/m^3).

Yang kedua, dilakukan proses pengukuran intensitas cahaya matahari di Desa Lendang Nangka. Pengukuran dilakukan dengan mengukur secara langsung dengan alat DIGITAL TECHNOMETER LX-1010B sehingga diketahui intensitas cahaya matahari. Selain itu digunakan data dari BMKG untuk mengetahui lama penyinaran matahai sepanjang tahun. Dengan data tersebut dapat diberikan rekomendasi jenis dan ukuran pembangkit listrik tenaga surya yang terbaik. Yang ketiga dilakukan proses pengukuran debit air. Debit air diukur secara manual dengan cara mengukur luas penampang air yang melewati sungai serta mengukur kecepatan air. Dengan mengetahui debit air yang ada di sungai utama, dapat memberikan rekomendasi pembangkitan listrik tenaga air yang bisa diaplikasikan. Yang keempat, dilakukan proses pendataan penggunaan LPG dan kayu bakar oleh usaha kecil dan menengah di Desa Lendang Nangka. Dengan adanya data penggunaan LPG dan Kayu bakar, maka akan didapatkan potensi rekomendasi penggunaan *converter* energi menggunakan alat Gasifikasi sebagai solusi mengurangai penggunaan LPG dan Kayu bakar untuk usaha kecil dan menengah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Potensi Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga bayu (PLTB) di Desa Lendang Nangka

Data kecepatan angin Desa Lendang Nangka selama tahun 2019 yang didapatkan dari data BMKG dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data BMKG untuk kecepatan angin Desa Lendang Nangka (Stasiun Meteorologi BIL)

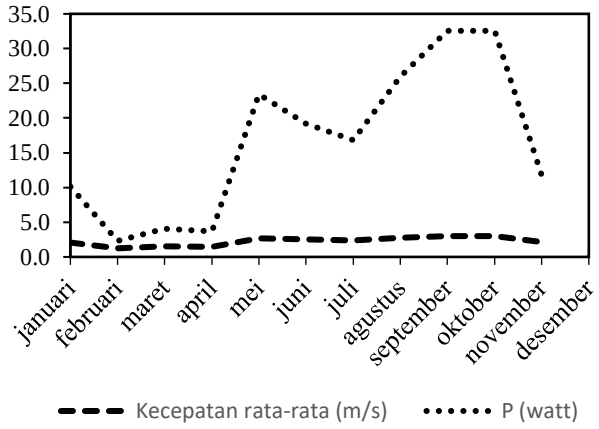
Bulan	Kec. Angin rata-rata (m/s)	Kec. Maksimum Angin Rata-rata (m/s)
Januar	2,0	5,7
Februari	1,2	4,8
Maret	1,5	5,5
April	1,5	5,4

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Vol. 13, No. 1, Januari - Juni 2021, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v13i1.868

Mei	2,7	6,4
Juni	2,5	6,2
Juli	2,4	6,1
Agustus	2,8	6,7
September	3	6,7
Oktober	3	9,0
November	3	6,0
Desember	-	-

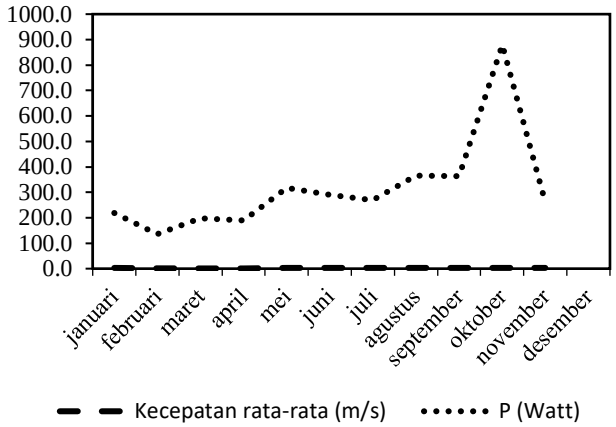
Untuk hasil pengujian dengan alat anemometer memperlihatkan kecepatan angin pada kecepatan 0 m/s. Hal ini disebabkan karena pengujian hanya dilakukan selama 3 hari saja. Sehingga tidak bisa menggambarkan data secara signifikan. Dengan begitu data yang digunakan adalah data dari BMKG. Dari kecepatan angin pada Tabel 1 dapat diberikan rekomendasi bahwa pada kecepatan angin rata-rata 3 m/s, bisa diaplikasikan turbin angin sekala kecil. Turbin angin seperti ini hanya dapat menghasilkan energi sekitar 50 Watt, dan bisa digunakan untuk konsumsi listrik alat-alat kecil saja, seperti lampu dan lain sebagainya [10]. Prihal instalasi turbin angin ini perlu dipasang dengan ketinggian minimal 9 meter lebih tinggi dari gedung sekitarnya dalam radius 152 meter [11]. Hal ini merupakan masalah, sebab akan dipasang di areal pemukiman padat penduduk. Namun di Desa Lendang Nangka, hal tersebut tidak terlalu menyusahkan, sebab kontur Desa yang berbukit-bukit, sehingga dapat diletakkan di areal lapang, atau di belakang rumah warga sebagai pengguna PLTB. Sedangkan potensi daya yang dihasilkan untuk setiap kecepatan angin dengan menggunaan Persamaan 1 dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. *Design* untuk kincir angin diambil pada asumsi nilai r (radius) 0,8 m.



Gambar 2. Hubungan antara daya yang dihasilkan dengan kecepatan rata-rata angin selama tahun 2019.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah
Vol. 13, No. 1, Januari - Juni 2021, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v13i1.868



Gambar 3. Hubungan antara daya yang dihasilkan pada kecepatan maksimum rata-rata angin selama tahun 2019.

Gambar 2 memperlihatkan daya tertinggi yang dihasilkan adalah 32,5 watt (23,4 kWh). Dan daya tersebut tercapai pada bulan September dan Oktober. Hal ini kemungkinan karena bada saat itu, perubahan musim sedang terjadi, dari musim panas ke hujan. Dimana pergantian musim seperti itu menyebabkan kekuatan angin begitu besar. Sedangkan daya yang terkecil didapatkan pada bulan Februari dengan daya 2,3 watt (1,66 kWh), hal ini desebabkan karena kecepatan angin pada bulan tersebut sangat kecil.

Pada Gambar 3 memperlihatkan, daya masksimum yang dihasilkan dari kecepatan angin maksimum rata-rata setiap tahunnya pada angka 879 watt (632,88 kWh) dan terjadi di bulan Oktober. Sama halnya dengan kecepatan angin rata-rata, daya yang yang dihasilkan terbesar pada Bulan Oktober, hal ini disebabkan karena kecepatan maksimum angin terbesar pada bulan Oktober. Sedangakn daya terendah maksimum dicapai pada bulan Februari, yaitu 135,7 watt (97,704 kWh). Hal ini desebabkan karena kecepatan angin maksimum pada bulan tersebut adalah yang terkecil.

Dengan adanya pembangkit listrik tenaga angin sekala kecil untuk setiap rumah, akan menghemat daya rata-rata maksimum sebesar 23,4 kWh, dan akan mendapatkan daya tertinggi untuk kecepatan angin maksimum dengan nilai daya 632,88 kWh.

3.2. Potensi Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Desa Lendang Nangka

Potensi pembangkitan listrik tenaga surya di Desa Lendang Nangka didasarkan pada intensitas cahaya matahari sepanjang tahun, sekaligus lamanya penyinaran matahari di Desa sepanjang tahun. Dari hasil pengukuran selama 3 hari menggunakan alat TECHNOMETER LX-1010B menghasilkan intensitas cahaya rata-rata perhari sebesar 51.679 LUX. Proses pengujian dapat dilihat di Gambar 4. Jika dikonversi dalam kWh/m^2 menjadi 1,565 kWh/m^2. Dan jika dikonversi menjadi watt-jam didapatkan nilai 81,4097 watt-jam. Untuk lama penyinaran matahari slema satu tahun dapat dilihat pada data BMKG pada Tabel 2.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Vol. 13, No. 1, Januari - Juni 2021, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v13i1.868



Gambar 4. Proses Pengujian Intensitas Cahaya Matahari Desa Lendang Nangka

Tabel 2. Lama penyinaran matahari rata-rata perharinya dalam setiap bulan pada tahun 2019.

Bulan	Lama Penyinaran Matahari (Jam)
Januari	5
Februari	7
Maret	5
April	7
Mei	9
Juni	8
Juli	9
Agustus	9
September	9
Oktober	10
November	9
Desember	-

Pada Tabel 2, lamanya penyinaran matahari di Desa Lendang Nangka rata-rata perhari dalam setiap bulan terlihat cukup lama. Yaitu rata-rata sekitar 7-10 jam, kecuali pada bulan Januari dan maret yang kemungkinan sedikit mendung. Tapi dengan daya sebesar 81,4097 watt-jam, Desa Lendang Nangka akan dapat menghasilkan daya sebesar 569,8679-814,097 watt (410-566 kWh) untuk setiap meter persegi panel surya yang digunakan. Penelitian yang lain menyatakan bahwa, dengan pembangkit listrik tenaga surya sekala medium untuk wilayah pedesaan, dapat dihasilkan listrik lebih dari 200 watt selama 8 jam setiap harinya. Pada penelitian lainnya juga mengatakan bahwa, dengan menggunakan pembangkit listrik sekala kecil, dapat menghasilkan daya lebih dari 50 watt dalam satu jam perharinya [12][13].

3.3. Potensi Penggunaan Energi Listrik Tenaga Air (PLTA) di Desa Lendang Nangka

Dari hasil pengamatan, data air yang diambil dari sungai setelah pintu air bendungan Otak Aik Tojang Desa Lendang Nangka sangat kecil. Debit air yang didapatkan adalah sekitar 0,189 m3/detik. Data ini didapatkan dari kecepatan air yang didapatkan adalah 0,5 m/s, dengan tinggi basah sungai 0,16 m, dan lebar sungai 2,43 m. Sungai di pintu air Otak Aik Tojang Desa Lendang Nangka dapat dilihat pada Gambar 5. Dengan debit air seperti itu, dapat digunakan turbin air sekala kecil. Misalkan turbin air jenis poros vertikal tipe savonius. Dimana dengan kecepatan air sebesar 0,57 m/detik akan menghasilkan putaran turbin sebesar 82 rpm dengan daya yang dapat dibangkitkan sebesar 0,42 Watt-jam (0,3024 kWh) [6]. Selain itu, pada penelitian yang lain, dengan debit air sebesar 0,5-50

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Vol. 13, No. 1, Januari - Juni 2021, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v13i1.868

m^3/s dapat dimanfaatkan pembangkit listrik tenaga air jenis Kaplan Turbine dengan syarat *head* air minimal 3 sampai 55 m [14]. Dengan menggunakan kaplan turbine, dapat dibangkitkan listrik dengan daya sebesar 248,6 kWh pada debit air 21 m^3/s. Sehingga dengan debit sebesar 0,189 m^3/detik kemungkinan daya yang dapat dibangkitkan adalah 2,2194 kWh.



Gambara 5. Aliran Air di Pintu Bendungan Otak Aik Tojang Desa Lendang Nangka

3.4. Potensi Penggunaan Konverter Energi Gasifikasi di Desa Lendang Nangka

Potensi penggunaan *converter* energi berupa gasifikasi didasarkan pada data kebutuhan bahan bakar usaha kecil dan menengah di Desa Lendang Nangka. Dengan begitu, dapat diketahui kebutuhan energi rata-rata para pelaku usaha kecil dan menengan Desa Lendang Nangka sekaligus perbandingannya dengan menggunakan gasifikasi.

Dari data hasil wawancara dengan para pengusaha kecil dan menengah, sebagian besar para pengusaha yang bergerak dibidang pengolahan makanan kecil seperti pastel dan keripik singkong memanfaatkan kayu bakar sebagai bahan bakar produksinya. Hal ini dikarenakan jika menggunakan LPG, panas pada proses penggorengan terlalu besar, sehingga proses penggorengan sulit untuk dikendalikan, dan mengakibatkan produk akan lebih cepat gosong. Oleh sebab itu, kayu bakar dipilih untuk menggantikan peranan LPG tersebut. Namun dengan penggunaan kayu bakar tersebut, proses produksi akan memakan biaya yang jauh lebih besar. Dimana, dengan menggunakan kayu bakar, dapat menghabiskan sekitar 750 kg kayu bakar perbulannya, yaitu dengan harga Rp 450.000. dengan demikian perlu penggunaan gasifikasi dalam mengatasi masalah tersebut.

Gasifikasi dapat digunakan untuk mengkonversi biomassa terutama kayu bakar menjadi gas sintetik. Hal ini dapat berguna untuk meningkatkan kalor pembakaran dari semula ketika kayu langsung dibakar. Dari penelitian sebelumnya diketahui bahwa nilai *High Heating Value* kayu bakar apabila digunakan langsung sebagai bahan bakar adalah 20.900 kJ/kg [15]. Sedangkan gas sintetik yang dihasilkan dari gasifikasi kayu bakar memiliki nilai *High Heating Value* sebesar 35.665 kJ/kg [16]. Dengan kata lain, penggunaan gasifikasi dapat meningkatkan nilai kalor hingga 1,7 kali lebih besar daripada pembakaran dengan kayu bakar secara langsung. Artinya, kita berhasil melakukan penghematan biaya hingga Rp 186.224 perbulannya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil kajian ini dapat disimpulkan bahwa:

1) Pembangkitan energi listrik bertenaga angin di Desa Lendang Nangka dapat dilakukan, namun dengan design turbin angin sekala kecil, yaitu dengan r (radius) kincir sekitar 0,8

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Vol. 13, No. 1, Januari - Juni 2021, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v13i1.868

m. Dengan design turbin sekaligus kecepatan angin yang ada, dapat dibangkitkan listrik 23,4 kWh dengan daya tertinggi untuk kecepatan angin maksimum dengan 632,88 kWh untuk setiap pembangkit listrik sekala kecil yang dipasang.

2) Potensi pembangkitan listrik bertenaga surya di Desa Lendang Nangka dengan intensitas cahaya 1,565 kWh/m^2 selama 7-10 jam setiap harinya adalah sekitar 569,8679-814,097 watt (410-566 kWh) untuk setiap meter persegi panel surya yang digunakan.
3) Potensi penggunaan energi listrik bertenaga air di Desa Lendang Nangka yaitu di pintu air bendungan Otak Aik Tojang menggunakan jenis turbin sekala kecil, seperti turbin poros vertikal tipe savonius dan kaplan. Potensi daya yang dapat dibangkitkan dengan debit air yang ada adalah sekitar 0,3024 kWh untuk turbin jenis poros vertikal tipe savonius dan 2,2194 kWh untuk tipe kaplan. Daya yang dapat dibangkitkan sangat kecil, sehingga pembangkit lisrik tenaga air di Desa Lendang Nangka sangat sulit untuk diaplikasikan.
4) Penggunaan gasifikasi untuk mengkonversi biomassa menjadi energi terbarukan (gas sintetik) di Desa Lendang Nangka sangat diperlukan. Sebab nilai *High Heating Value* yang dihasilkan jauh di atas niali *High Heating Value* pembakaran langsung dengan kayu bakar. Dimana gas sintetik yang dihasilkan memiliki nilai HHV sekitar 35.665 kJ/kg kayu. Dibandingkan dengan pembakaran kayu bakar, menghasilkan nilai HHV 20.900 kJ/kg. Dengan kata lain, penggunaan gasifikasi dapat meningkatkan nilai kalor hingga 1,7 kali lebih besar daripada pembakaran dengan kayu bakar secara langsung. Artinya, kita berhasil melakukan penghematan biaya hingga Rp 186.224 perbulannya

DAFTAR PUSTAKA

[1] PERMENDESA No. 02 Tahun 2016.
[2] JPNN. (2014). Dana Rp 1 Milyar per Desa Kemungkinaan Cair Juli, Available: http://www.jpnn.com/
[3] Amrullah, S., Perdan, I., Budiman, A. (2017). Study on Performance and Environmental Impact of Sugarcane-Bagasse Gasification. In Joint International Conference on Science and Technology in The Topic, 121-127, Mataram, Indonesia: University of Mataram, University of Malaya, Indonesia (Presented: Agustus 2017).
[4] Bachtiar, M. (2006). Prosedur perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya untuk perumahan (solar home system),"Jurnal SMARTek, 4(3), 176 – 182.
[5] Failsufa, H., Wijaya, F.D., Wilopo, W. (2019). Analisis Potensi Dan Kapasitas Energi Hibrida Di Desa Komor, Kecamatan Unir Sirau Kabupaten Asmat, Papua. Seminar Nasional Teknologi Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana.
[6] Purnama, A.C., Hartono, R., Nugroho, G. (2013). Rancang Bangun Turbin Air Sungai Poros Vertikal Tipe Savonius dengan Menggunakan Pemandu Arah Aliran. Jurnal Teknik POMITS, 2(2), B278-B282.
[7] Kaygusuz, K., Guney, M.S., Kaygusuz, O. (2019). Renewable Energy for Rural Development in Turkey. Journal of Engineering Research and Applied Science, 8(1), 1109-1118.
[8] Herlambang, A., Amrullah, S., Daniyanto, D., Pradana, Y. S., Rochmadi, Budiman, A. (2018). The Effect of Temperature and Biomass Pre-Treatment on Non-catalytic Gasification of Indonesian Sugarcane Bagasse, AIP Conference Proceedings 2026, Indonesia, (Presented: Januari 2018).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Vol. 13, No. 1, Januari - Juni 2021, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v13i1.868

[9] Situmorang, Y.A., Zhao, Z., Yoshida, A., Kasai, Y., Abudula, A., Guan, G. (2019). Potential Power Generation on a Small-scale Seperated-type Biomass Gasification System. Energy, 179, 19-29.

[10] KEMENDAGRI. (2020). Sistem Informasi Desa dan Kelurahan Direktorat Jenderal Bina Pemerintah Desa Kementerian Dalam Negeri, http://prodeskel.binapemdes.kemendagri.go.id/.

[11] Li, B., Zhou, D.L., Wang, Y., Shuai, Y., Liu, Q.Z., Cai, W.H. (2020). The Design of a Small Lab-scale Wind Turbine Model With High Performance Similarity to Its Utility-scale Prototype, Renewable Energy, 149, 435-446.

[12] Ian, W. (1987). Wind Electricity Basic. Home Power Magazine. Oregon: USA.

[13] BNEF & World Bank. (2016). Off-grid solar market trend report 2016 [online]: http://www.energynet.co.uk/.

[14] GOGLA. (2017). Providing energy access through off-grid solar: Guidance for governments [online]: https://www.gogla.org/.

[15] Zivkovic, S., Cerce, L., Kostic, J., Majstorovic, V., Kramar, D. (2018). Reverse Engineering of Turbine Blades Kaplan's T'pe for Small Hydroelectric Power Station. Procedia CIRP. 75, 379-384.

[16] Reed, T.B. and Das, A. (1988). Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System, Golden, Colorado : SERI.

[17] Waldheim L. and Nilsson, T. (2001). Heating Value Of Gases From Biomass Gasification, IEA Bioenergy Agreement subcommittee on Thermal Gasification of Biomass, TPS Termiska Processer AB, Studsvik, Sweden.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurnal Presipitasi
Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan
e-ISSN : 2550-0023

Vol 17, No 3, 2020, 316-323
Artikel tersedia di homepage presipitasi

Artikel Riset

Potensi Sumber Energi Terbarukan dari Biomassa yang Berasal dari Sumber Daya Alam di Balikpapan

Potential of Renewable Energy Resources from Biomass Derived by Natural Resources in Balikpapan

Nia Febrianti[1*], Firilia Filiana[1], Primadina Hasanah[1]

[1] Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan, Jl. Soekarno Hatta Km. 15, Kampus ITK Balikpapan, Indonesia, 76127
* Penulis korespondensi, e-mail: niafebrianti@lecturer.itk.ac.id

Abstrak

Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan seperti dapat dijadikan sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui sehingga sumber energi dari biomassa tersebut dapat menyediakan sumber energi yang berkelanjutan. Salah satu langkah awal untuk mengetahui potensi sumber daya energi yang bisa dikembangkan untuk menjadi sumber energi terbarukan adalah dengan cara melakukan pendataan. Pendataan yang dilakukan pada penelitian ini lebih berfokus pada biomassa terdapat di Balikpapan. Potensi biomassa yang terdapat di Balikpapan perlu diketahui dengan cara mengumpulkan dan mengelompokkan data biomassa tersebut berdasarkan hasil produk dari pertanian dan perkebunan. Data yang telah dikumpulkan dari data sekunder dan dari survey kemudian dipetakan untuk dapat dilihat potensi biomassa yang paling besar yang terdapat di Balikpapan. Persentase hasil panen per tahun paling besar terdapat di Kecamatan Balikpapan Utara yaitu sebesar 31% disbanding dengan lima kecamatan lainnya. Potensi biomassa yang berasal dari sumber daya alam Kota Balikpapan yang paling besar jumlah hasil panennya yaitu tanaman pangan ubi kayu yang terdapat di Kecamatan Balikpapan Utara sebesar 7.259 ton/tahun. Pada jenis buah, salak memiliki jumlah hasil panen tertinggi per tahun yaitu sekitar 32.945 ton/tahun. Pada potensi limbah dari tanaman pangan limbah ubi kayu yang berasal dari batang pohon sebesar 5.807,2 ton/tahun, kulit ubi sebesar 1.088,8 ton/tahun.

Kata Kunci: potensi biomassa; sumber energi terbarukan; sumber daya alam

Abstract

Biomass energy sources have several advantages, such as being used as a renewable energy source so that the energy source from biomass can provide a sustainable energy source. One of the first steps to determine the potential of energy resources that can be developed into renewable energy sources is by collecting data. The data collection carried out in this study focuses more on the biomass found in Balikpapan. The biomass potential in Balikpapan needs to be known by collecting and classifying the biomass data based on products from agriculture and plantations. The data that has been collected from secondary data and from surveys are then mapped to see the greatest biomass potential found in Balikpapan. The largest percentage of crop yields per year is found in North Balikpapan Subdistrict, which is 31% compared to five other sub-districts. The potential of biomass from Balikpapan City's natural resources, which the greatest amount of harvest, is the cassava food plant in North Balikpapan sub-district of 7,259 tons / year. In the type of fruit, snakefruit (salak) has the highest number of yields per

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

year, which is about32,945 tons / year. The potential for waste from food plants, cassava waste originating from tree trunks, is 5,807.2 tons / year, and cassava skin is 1,088.8 tons / year.

***Keywords**: biomass potential; renewable energy sources; natural resources*

1. Pendahuluan

Salah satu kebutuhan dasar manusia yang akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya populasi serta kebutuhan kehidupan adalah energi. Di Indonesia terutama hingga pada saat ini masih bergantung dengan bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam. Semakin tinggi penggunaan bahan bakar fosil maka resiko menurunnya kuantitas sumber daya bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam akan sangat besar. Resiko tersebut menjadi suatu tuntutan bagi suatu daerah akan adanya alternatif dalam mengatasi masalah tersebut dengan cara mengembangkan sumber energi terbarukan yang memanfaatkan sumber daya alam. Hal ini membuat pemerintah daerah terus mendorong melalui program kemandirian energi untuk memanfaatkan potensi daerah sebagai sumber energi terbarukan.

Sumber daya alam yang terdapat di Indonesia memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan. Diketahui penggunaan sumber energi terbarukan untuk sementara hanya mencapai 5 % (Ulya, 2011). Beberapa jenis sumber daya energi terbarukan yang memiliki jumlah lebih banyak dibandingkan dengan bahan bakar fosil dan lainnya adalah biomassa, air, serta panas dari sinar matahari. Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan seperti dapat dijadikan sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui sehingga sumber energi dari biomassa tersebut dapat menyediakan sumber energi yang berkelanjutan. Selain itu, biomassa memiliki faktor non polutan dalam arti hasil pembakaran biomassa menghasilkan polutan yang lebih rendah dibanding dengan bahan bakar fosil (Kong, 2010). Biomassa dianggap sebagai komponen yang umum untuk produksi sumber energi terbarukan (Al- Hamamre dkk., 2017). Biomassa sebagai sumber energi dapat diturunkan dalam jumlah yang banyak dari berbagai residu lignoselulosa (misalnya, residu hutan dan pertanian, dan limbah industri) dengan menghindari konflik pangan dan melindungi ekosistem (Cho dan Kim, 2019).

Berdasarkan analisis situasi di atas, sebagai langkah awal dalam pengembangan energi terbarukan dari biomassa maka diperlukan suatu pendataan dan pemetaan berbagai potensi biomassa di Balikpapan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan sebagai upaya untuk melakukan kajian dan pendataan berbagi sumber daya alam yang berpotensi menjadi Biomassa di Balikpapan sehingga dpat memberikan informasi kepada pemerintah kota maupun stakeholder terkait dalam pengembangan energi terbarukan di Balikpapan. Selain pendataan potensi sumber daya alam, juga dilakukakan analisis strategi pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya alam agar dapat dimanfaatkan sebagai energi biomassa. Sumber daya alam yang berpotensi menjadi biomassa di Balikpapan adalah yang memiliki jumlah panen yang besar tiap tahunnya disertai dengan adanya limbah yang berasal dari biomassa tersebut. Beberapa hal yang dapat dijadikan alasan terhadap pentingnya pengelolaan SDA menjadi biomassa diantaranya yaitu dapat mengurangi gas rumah kaca, mengurangi limbah organik khususnya limbah pertanian serta mengurangi polusi udara.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pemetaan potensi biomassa sumber daya alam di Balikpapan yang berasal dari pertanian dan perkebunan. Pemetaan potensi biomassa ini bertujuan untuk memberikan informasi kepada Pemerintah Kota maupun stakeholder lainnya dalam pengembangan energi terbarukan di Kota Balikpapan. Pada penelitian ini dilakukan secara deskriptif dengan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk menjelaskan suatu situasi yang hendak diteliti dengan adanya studi literatur sehingga dapat lebih memperkuat analisa peneliti dalam membuat kesimpulan. Beberapa tahapan kegiatan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

a. Studi literatur

Studi literatur bertujuan untuk mengumpulkan data dan mempersiapkan berbagai instrument kerja yang dibutuhkan dalam penelitian serta mengkaji keterbaruan dari penelitian ini. Pada tahap studi literatur ditemukan bahwa penelitian ini akan dapat memberikan manfaat yang besar bagi akademisi dan stakeholder yang terkait dengan kebutuhan akan data potensi biomassa yang terdapat di Balikpapan.

b. Pengumpulan dan Pengelompokkan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan cara dokumentasi melalui studi kepustakaan dengan mempelajari dokumen dan data-data terkait keperluan penelitian. Data primer dan data sekunder diperoleh dengan studi pustaka berdasarkan data yang terdapat di Prodeskel pada tahun 2018. Prodeskel (Profil Desa dan Kelurahan) merupakan sistem informasi desa dan kelurahan yang dibawahi oleh Direktorat Jenderal Bina Pemerintahan Desa Kementerian Dalam Negeri. Data yang telah dikumpulkan untuk selanjutnya dikelompokkan berdasarkan jenis varietas tanaman yang ditanam di pertanian serta berdasarkan jumlah ketersediaan dari hasil panen dan limbah pertanian yang dihasilkan.

c. Pemetaan Potensi Biomassa di Balikpapan

Data yang telah dikumpulkan dan dikelompokkan dari jenis tanaman pangan dan buah-buahan yang terdapat pada 6 Kecamatan yang ada di Balikpapan, kemudian dipetakan untuk tiap kecamatan dengan cara melihat potensi yang paling besar berdasarkan hasil panen per tahun berdasarkan data terakhir tahun 2018, yang kemudian selanjutnya dapat dibuat kedalam bentuk diagram hasil penelitian ini. Potensi biomassa yang dipetakan bertujuan untuk dapat dibuat strategi pengelolaan serta pemanfaatannya sebagai sumber energi terbarukan dengan cara melihat hasil dan jumlah pertanian dan perkebunan pada masing-masing Kecamatan, ketersediaan jumlahnya per tahun di Balikpapan, serta dampak sosial dan lingkungan agar bisa memenuhi syarat yang utamanya dapat berkelanjutan. Pemilihan terkait strategi yang dapat dilakukan setelah mengetahui jumlah potensi biomassa yang berasal dari sumber daya alam berdasarkan penelitian terlebih dahulu terkait strategi pemanfaatan energi terbarukan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Jumlah Potensi Biomassa di Balikpapan

Kota Balikpapan memiliki 6 (enam) kecamatan, diantaranya yaitu Kecamatan Balikpapan Selatan, Balikpapan Timur, Balikpapan Utara, Balikpapan Tengah, Balikpapan Barat dan Balikpapan Kota. Berdasarkan data prodeskel tahun 2018 bahwa tiap kecamatan memiliki jumlah komoditas yang dihasilkan per tahunnya yang dihitung dalam satuan ton. Jumlah komoditas biomassa yang dihasilkan tiap tahunnya merupakan tanaman pangan dan buah-buahan. Tanaman pangan seperti ubi jalar dan ubi kayu, sedangkan untuk buah-buahan yang terdata menjadi komoditas biomassa di Kota Balikpapan diantaranya adalah nanas, pisang, pepaya, jambu klutuk, salak, durian, dan jagung. Gambar 1 berikut menunjukkan data hasil pemetaan distribusi jumlah hasil panen tiap kecamatan di Kota Balikpapan yang telah dipresentasekan.



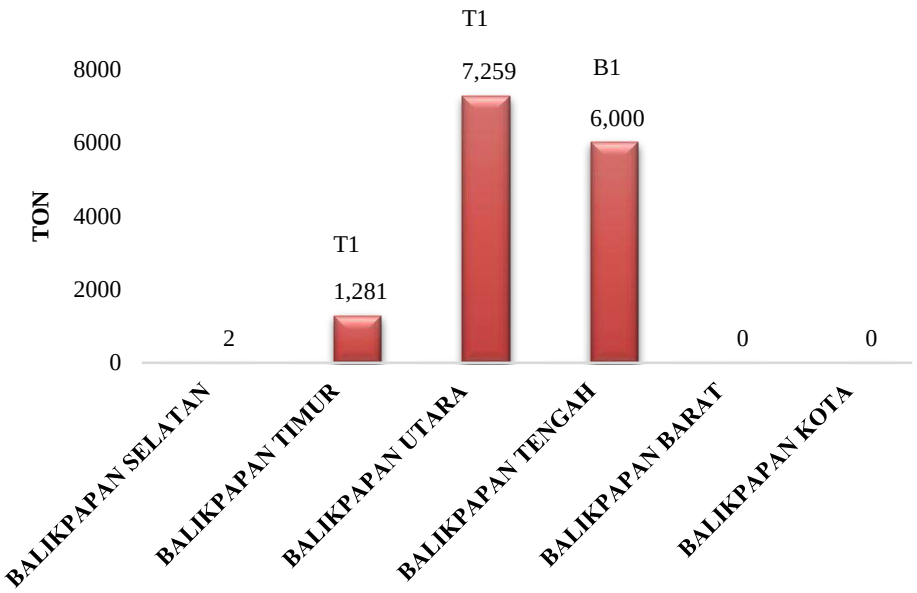
Gambar 1. Pemetaan potensi biomassa tiap kecamatan di Kota Balikpapan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Berdasarkan Gambar 1 Kecamatan Balikpapan Kota dan Balikpapan Barat memiliki presentase sebesar 6% untuk total keseluruhan dari hasil panen baik tanaman pangan maupun buah-buahan. Kecamatan Balikpapan Selatan memiliki 13% untuk setiap hasil panen yang dihasilkan pertahunnya yaitu sekitar 3 ton dengan rincian jenis tanaman ubi jalar, nanas dan pisang. Kecamatan Balikpapan Timur memiliki presentase 19% dari hasil panen yang dihasilkan tiap tahunnya dengan rincian jenis tanaman yaitu ubi kayu, ubi jalar, jagung, pepaya, nanas, jambu klutuk, pisang, dan salak. Kecamatan Balikpapan Tengah memiliki presentase sebesar 25% untuk hasil panen per tahunnya dengan rincian jenis tanaman yaitu ubi kayu, pisang, pepaya, salak dan jambu klutuk. Porsi yang paling besar untuk hasil panen per tahunnya terdapat di Kecamatan Balikpapan Utara yaitu sebesar 31% dengan tanaman ubi kayu, ubi jalar, pepaya, salak, durian, jambu kelutuk, nanas, dan pisang.

3.2 Distribusi Hasil Biomassa Tiap Kecamatan di Balikpapan

Tiap kecamatan memiliki jenis komoditas tanaman yang dihasilkan dari jumlah yang tertinggi sampai jumlah terendah. Pada bagian ini biomassa dipetakan dengan mengambil nilai yang paling tinggi dari jenis biomassa yang dihasilkan. Gambar 2 menunjukkan distribusi hasil biomassa yang paling tinggi jumlah produksinya dalam per tahun pada setiap kecamatan di Balikpapan.



Gambar 2. Distribusi hasil biomassa tiap kecamatan di Balikpapan

Berdasarkan Gambar 2 tergambarkan grafik yang data-data tersebut bersumber dari prodeskel tahun 2018 Kota Balikpapan khususnya untuk hasil tanaman pangan dan buah. Kecamatan Balikpapan Barat dan Balikpapan Kota tidak memiliki jumlah hasil panen per tahunnya. Kecamatan Balikpapan Selatan memiliki jumlah hasil panen sebesar kurang lebih 2 ton pertahun untuk jenis tanamannya merupakan ubi jalar (T2). Kecamatan Balikpapan Timur memiliki jumlah hasil panen sebesar 1.281 ton dengan jenis tanaman ubi kayu (T1). Kecamatan Balikpapan Tengah memiliki hasil panen sebesar 6.000 ton per tahun dengan jenis tanaman pisang (B1). Berdasarkan distribusi data yang telah dihasilkan pada Gambar 2 menunjukkan masing-masing kecamatan memiliki hasil panen dari jenis tanaman yang berbeda.

3.3 Potensi Biomassa di Kecamatan Balikpapan Utara

Pada pemetaan potensi biomassa di Kota Balikpapan, dijabarkan lagi hasil potensi yang paling tinggi yaitu yang berada di Kecamatan Balikpapan Utara. Rincian dari biomassa yang sudah diurutkan

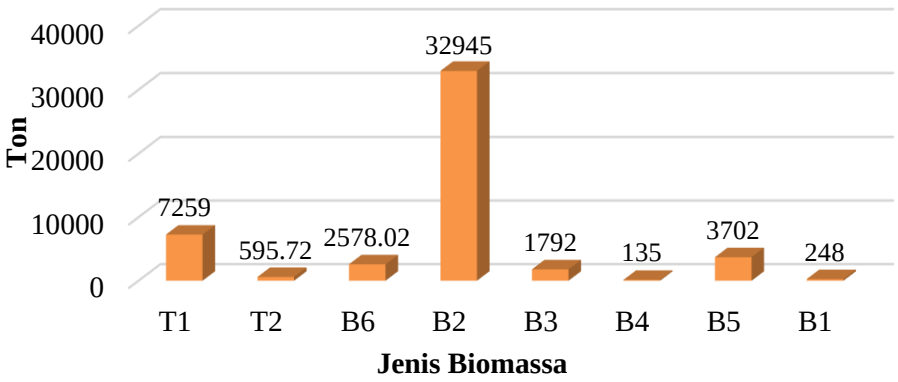
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

yang memiliki jumlah paling besar dalam produksi per tahunnya ditampilkan dalam Tabel 1 berikut beserta kodenya.

Tabel 1. Pengkodean Potensi Biomassa

No	Jenis Tanaman Pangan Dan Buah	Kode
1.	Ubi Kayu	T1
2.	Ubi Jalar	T2
3.	Pisang	B1
4.	Durian	B3
5.	Jambu Klutuk	B4
6.	Nanas	B5
7.	Pepaya	B6

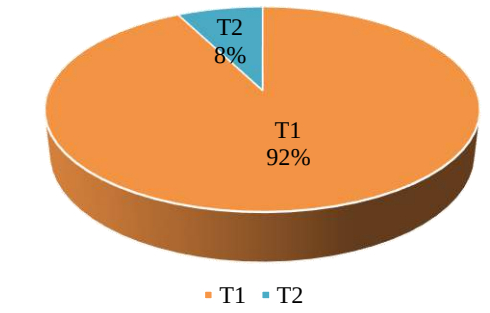
Berdasarkan Tabel 1 kemudian digambarkan masing-masing dari nilai biomassa yang terdapat di Kecamatan Balikpapan Utara tersebut kedalam grafik yang tertuang pada Gambar 3. Gambar 3 menjelaskan jenis potensi biomassa yang memiliki nilai produksi dalam satuan ton per tahunnya berdasarkan data dari prodeskel tahun 2018.



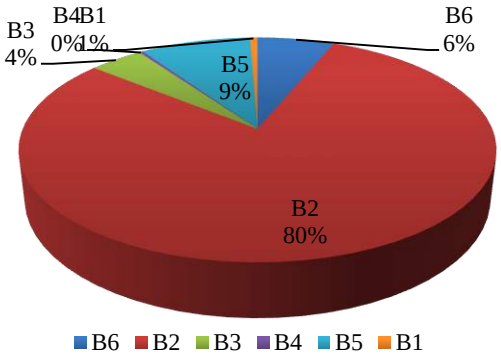
Gambar 3. Potensi biomassa kecamatan Balikpapan Utara

Berdasarkan Gambar 3 kode T1 (ubi kayu) memiliki jumlah hasil panen dengan urutan kedua tertinggi yaitu sebesar 7.259 ton per tahunnya, kemudian T2 (ubi jalar) memiliki jumlah hasil panen sebesar 595,72 ton per tahun. Pada jenis buah-buahan terdapat B6 (papaya) yang memiliki jumlah hasil panen sebesar 2578,02 ton per tahun, lalu B2 (salak) memiliki jumlah hasil panen tertinggi yaitu sebesar 32.945 ton per tahun, B3 (durian) memiliki jumlah hasil panen sebesar 1.792 ton per tahun. Kemudian B4 (jambu klutuk) memiliki jumlah hasil panen terendah diantara jenis biomassa yang lain yaitu sebesar 135 ton per tahun, B5 (nanas) memiliki jumlah hasil panen sebesar 3.702 ton per tahun, dan B1 (pisang) memiliki jumlah hasil panen sebesar 248 ton per tahun. Persentase porsi dari potensi biomassa dari tanaman pangan dan buah dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Gambar 4. Persentase potensi biomassa tanaman pangan di Kecamatan Balikpapan Utara



Gambar 5. Persentase potensi biomassa tanaman pangan di Kecamatan Balikpapan Utara

3.4 Potensi Limbah dari Pertanian di Kecamatan Balikpapan Utara

Pada sektor pertanian terdapat biomassa yang berasal dari limbah pertanian tersebut seperti limbah yang berasal dari ubi kayu (singkong) dan pisang. Tanaman yang berpotensi untuk dijadikan sebagai biofuel seperti etanol adalah yang memiliki kadar pati dan gula yang tinggi. Tanaman yang memiliki kadar pati dan gula yang tinggi adalah jagung, padi, pisang, ubi kayu dan gandum (Herawati, W dkk., 2014). Berkaitan dengan hal ini, utamanya tanaman-tanaman tersebut masih dijadikan sebagai penyediaan pangan, sehingga yang berpotensi untuk dijadikan sumber energi terbarukan adalah limbahnya. Potensi limbah biomassa dari pertanian di Kecamatan Balikpapan Utara dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Potensi limbah dari tanaman pangan dan buah sebagai sumber energi

No	Jenis Limbah Tanaman	Potensi Limbah per Tahun (Ton)	Pemanfaatan Saat ini	Potensi sebagai Sumber Energi
1.	Limbah ubi kayu			
	Batang pohon (0,8/ton)*	5.807,2	Kayu bakar, pakan ternak	Bioethanol, biodiesel, gasohol, *biofuel*
	Kulit ubi (0,15/ton)*	1.088,85		
2.	Limbah pisang			
	Daun, Serat, Kulit (250 kg/ton pisang)*	62.000	Pakan ternak, pembungkus, mulsa, bahan makanan	Bioethanol, briket, biogas, *Gyzer*, Lignoselulosa

*Sumber: *Statistik Pertanian 2011, Kementerian Pertanian dalam Herawati, W dkk., (2014)*

Berdasarkan data pada Tabel 2 didapat potensi limbah per tahun dalan satuan ton yang berasal dari tanaman pangan dan buah yang berpotensi dapat dijadikan sumber energi terbarukan yaitu tanaman pangan ubi kayu dan pisang. Hasil perhitungan jumlah limbah pertanian berdasarkan pada

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Data Statistik Pertanian yang kemudian dikalikan dengan hasil panen ubi kayu dan pisang yang terdapat di Kecamatan Balikpapan Utara. Umumnya limbah tanaman ubi kayu adalah kulit ubi kayu beserta batang pohon dari ubi kayu tersebut. Kemudian untuk tanaman pisang, limbah yang dihasilkan berupa daun, serat serta kulit pisang.

Menurut Riza (2017) terdapat beberapa dampak positif yang akan ditimbulkan dari pengelolaan limbah yang berasal dari biomassa khususnya sumber daya alam tanaman pangan dan buah menjadi sumber energi diantaranya yaitu sumber energi yang berasal dari biomassa yang dihasilkan, dipanen, dan diproses serta dimanfaatkan secara lokal dapat menciptakan lapangan pekerjaan bagi suatu daerah, kemudian energi biomassa dapat membuat nilai mata uang rupiah dibelanjakan untuk bahan bakar diperekonomian lokal dibanding dengan bahan bakar fosil yang sebagian impor dan memerlukan mata uang asing. Selain itu terdapat dampak negatif yang akan ditimbulkan seperti adanya resiko kenaikan harga bahan baku pangan.

Adanya potensi limbah biomassa berasal dari pertanian yang dapat dijadikan sebagai sumber energi maka harus memperhatikan metode pengelolaan dari limbah biomassa tersebut agar dapat berkelanjutan. Pada beberapa kota telah melakukan inisiatif guna sebagai usaha untuk mendukung pengelolaan limbah yang berkelanjutan, dua diantaranya contoh usaha yang dapat dilakukan adalah pemberian informasi dan pendidikan serta kerjasama dan kemitraan (Roseland et al., 1998). Pemberian informasi dan pendidikan dapat dilakukan terhadap masyarakat yang berkaitan langsung dengan adanya program pemanfaatan limbah biomassa menjadi sumber energi, sehingga dalam memperlakukan limbah pertanian masyarakat akan paham terkait kebermanfaatan dari limbah tersebut. Kerjasama dan kemitraan dapat dilakukan mulai dari program bank sampah khusus limbah pertanian terlebih dahulu sebagai percontohan. Limbah pertanian yang dikumpulkan terutama limbah ubi kayu dan limbah pisang. Keberlanjutan akan dapat berjalan dengan adanya kesadaran dan kemauan dari masyarakat, jumlah limbah yang setiap harinya harus ditampung oleh lingkungan merupakan salah satu cerminan pemenuhan kebutuhan masyarakat serta adanya peningkatan standar ekonomi (Mahyudin, R.P., 2014).

Potensi biomassa yang berasal dari sumber daya alam yang telah diketahui jumlahnya dapat mendukung salah satu strategi yakni berupa subtitusi energi dari bahan bakar fosil ke sumber energi terbarukan. Berdasarkan penelitian terdahulu bahwa strategi yang tepat dalam pemanfaatan energi terbarukan yang terdapat di Provinsi Kalimantan Timur yaitu strategi konservatif atau dengan berbenah diri (Heyko, E. dkk., 2016). Beberapa hal yang dapat dilakukan diantaranya seperti mengembangkan produk energi alternatif seperti bioethanol, biogas dan biodiesel serta meningkatkan penelitian dan pengembangan terhadap teknologi pembuatan biogas dan *biofuel* (Heyko, E. dkk., 2016).

4. Kesimpulan

Kota Balikpapan memiliki potensi biomassa yang berasal dari sumber daya alam yang memiliki jumlah paling besar pada hasil panen per tahunnya adalah tanaman pangan ubi kayu yang terdapat di Kecamatan Balikpapan Utara sebesar 7.259 ton/tahun. Pada jenis buah yang memiliki jumlah hasil panen tertinggi per tahunnya adalah salak sekitar 32.945 ton/tahun. Strategi pemanfaatan biomassa dapat dimulai dari limbah tanaman pangan yang memiliki kadar pati dan kadar gula yang tinggi seperti ubi kayu dan pisang. Selain itu, limbah biomassa berpotensi pula untuk dimanfaatkan, karena tanaman-tanaman utama tersebut masih dijadikan sebagi sumber pangan bagi masyarakat daerah setempat. Sumber energi terbarukan berpotensi untuk dikembangkan dimulai dari pemanfaatan biomassa yang terdapat di Kota Balikpapan terutama limbah tanaman pangan seperti ubi kayu. Sumber energi terbarukan yang dapat dihasilkan dari biomassa tanaman pangan ubi kayu adalah bioethanol, sedangkan dari biomassa pisang dapat berpotensi pula sebagai lignoselulosa, bioetanol dan briket.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Institut Teknologi Kalimantan atas dana penelitian pada skema PDB.

Daftar Pustaka

Al-Hamamre, Z., Saidan, M., Hararah, M., Rawajfeh, K., Alkhasawneh, H.E., and Al-Shannag, M. 2017. Wastes and biomass materials as sustainable-renewable energy resources for Jordan. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews. 67:295-314

Cho, S., & Kim, J. 2019. Multi-site and multi-period optimization model for strategic planning of a renewable hydrogen energy network from biomass waste and energy crops. *Energy, 185, 527–540.*

Hermawati, W., Ahmad, N, R., Susilaningsih, D., Rosaira, I., Putera, P, B., Praharyawan, S., Pranolo, S, H., Wibowo, W, A., Alamsyah, P., Mahmudi., Siahaan, S, H., Gustina, A., dan Hendra, S. 2014. Konversi biomassa untuk energi alternatif di Indonesia: Tinjauan Sumber Daya, Teknologi, Manajemen, dan Kebijakan. Jakarta: LIPI Press

Heyko, E., Hasid, Z., dan Priyagus. 2016. Strategi Pemanfaatan Energi Terbarukan Dalam Rangka Kemandirian Energi Daerah Provinsi Kalimantan Timur. Jurnal Ekonomi Keuangan dan Manajemen Vol 12.

Kong, G.T. 2010. Peran Biomassa Bagi Energi Terbarukan (Pengantar Solusi Pemanasan Global yang Ramah Lingkungan). Jakarta.

Mahyudin, Rizki, P. 2014. Strategi Pengelolaan Sampah Berkelanjutan. EnviroScienteae 10. ISSN 1978-8096.

Profil Desa dan Kelurahan Kota Balikpapan Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2018.

Riza, H. 2017. Pemanfaatan Biomassa untuk Penyediaan Listrik yang Merata dan Terjangkau Bagi Rakyat. *https://ptseik.bppt.go.id/2-uncategorised/24-pemanfaatan-biomassa-untuk-penyediaan-listrik-yang-merata-dan-terjangkau-bagi-rakyat*. 27 November 2020.

Roseland, M., Cureton, M., and Wornell, H. 1998. Toward Sustainable Communities, Resources For Citizens and Their Governments. New Society Publisher. Canada.

Ulya, M. 2011. Pemanfaatan Limbah Industri Pertanian Sebagai Sumber Bioetanol. Jurnal IdeaTech. 2089-1121

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia
Laman resmi: https://jurnal.uns.ac.id/alchemy
ISSN 1412-4092
EISSN 2443-4183

Produksi Bioetanol sebagai Energi Terbarukan dari Rumput Laut *Ulva reticulata* Asal Pulau Timor

Sefrinus Maria Dolfi Kolo*, Jefry Presson, Pricilia Amfotis

Program Studi Kimia, Universitas Timor, Jl. El Tari - Km. 09 Kota Kefamenanu, Timor Tengah Utara 85613 telp. (0388)2431111

**Corresponding author: sefriunimor@gmail.com*

DOI: 10.20961/alchemy.17.2.45476.159-167

Received 09 November 2020, Accepted 09 June 2021, Published 09 September 2021

Kata kunci:

bioetanol;
delignifikasi;
fermentasi;
hidrolisis;
Ulva reticulata.

ABSTRAK. Rumput laut dengan kandungan karbohidrat dan lipid yang tinggi dianggap menjadi sumber energi terbarukan generasi ketiga. Penelitian ini bertujuan menentukan kadar gula pereduksi optimum, mengetahui tekstur permukaan serbuk sebelum dan sesudah hidrolisis serta menentukan kadar etanol hasil fermentasi. Kandungan karbohidrat rumput laut *Ulva reticulata* dapat dikonversi menjadi gula heksosa dan pentosa (glukosa, arabinosa, ramnosa, dan xilosa) melalui hidrolisis asam. Campuran gula optimum hasil proses hidrolisis kemudian dikonversi menjadi etanol menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae.* Fermentasi dilakukan dengan konsentrasi inokulum 10% (v/v) selama 5 hari pada temperatur 30 °C dan pH 4,5. Analisis tekstur permukaan sampel dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Analisis gula pereduksi dilakukan dengan metode DNS (Dinitro salisilat). Analisis etanol dilakukan dengan uji kualitatif dan kuantitatif menggunakan metode berat jenis dan kromatografi gas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar gula pereduksi meningkat seiring meningkatnya suhu hidrolisis pada suhu 75 °C ke 150 °C (2,3 – 23,7 g/L) dan mengalami penurunan kadar pada suhu 175 °C menjadi 17,1 g/L. Hasil analisis dengan variasi konsentrasi terhadap waktu 30, 40, 50, dan 60 menit terlihat bahwa kadar gula pereduksi meningkat seiring meningkatnya waktu hidrolisis dari 30 menit sampai 50 menit yakni 23,7 – 33,4 g/L dan mengalami penurunan pada waktu 60 menit yakni 19,2 g/L. Kadar gula pereduksi optimum sebesar 33,4 g/L pada suhu 150 °C dengan konsentrasi asam 2 % pada waktu hidrolisis 50 menit. Tekstur permukaan serbuk sebelum dan sesudah hidrolisis mengalami perubahan yang signifikan. Hasil uji kualitatif etanol hasil fermentasi dibuktikan dengan adanya perubahan warna dari jingga menjadi biru. Hasil uji kadar etanol dengan metode berat jenis yakni sebesar 1% dan metode kromatografi gas sebesar 5,02%.

Keywords:

bioethanol;
delignification;
fermentation;
hydrolysis;
Ulva reticulata.

ABSTRACT. Bioethanol Production as Renewable Energy from *Ulva Reticulata* Seaweed from Timor Island. Seaweed with carbohydrate and lipid content is considered to be the third generation of renewable energy sources. The carbohydrate content of *Ulva reticulata* seaweed can be converted into hexose and pentose sugars (glucose, arabinose, ramnose, and xylose) through acid hydrolysis. The optimum sugar mixture resulting from the hydrolysis process is then converted to ethanol using *Saccharomyces cerevisiae* yeast. Fermentation was carried out with an inoculum concentration of 10% (v/v) for five days at a temperature of 30 °C and a pH of 4.5. Analysis of the surface texture of the sample was carried out by *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Reducing sugar analysis was performed using the DNS (Dinitrosalicylate) method. Ethanol analysis was carried out by qualitative and quantitative tests using specific gravity and gas chromatography methods. The results showed that the reducing sugar content increased with increasing hydrolysis temperature at 75 °C to 150 °C (2.3 – 23.7 g/L) and decreased levels at 175 °C to 17.1 g/L. The results of the analysis with various concentrations of 30, 40, 50, and 60 minutes showed that reducing sugar levels increased with increasing hydrolysis time from 30 minutes to 50 minutes, namely 23.7 – 33.4 g/L and decreased at 60 minutes, namely 19.2 g/L. The optimum reducing sugar content was 33.4 g/L at 150 °C with an acid concentration of 2% at 50 minutes of hydrolysis. Powder surface texture before and after hydrolysis experienced significant changes. The qualitative test results of fermented ethanol are evidenced by a change in color from orange to blue. The results of the ethanol content test using the specific gravity method were 1%, and that using the gas chromatography method was 5.02%.

PENDAHULUAN

Kendala yang dihadapi dalam mengembangkan produksi bioetanol di Indonesia yakni bahan baku yang terbatas, persoalan ketersediaan lahan, dan efisiensi biaya produksi (Murdiyatmo, 2006). Salah satu sumber bahan baku potensial untuk dijadikan bahan baku bioetanol yakni makroalga. Dibandingkan dengan biomassa lain seperti jagung dan tebu, produktivitas makroalga lebih besar 5 kali lipat. Untuk menggantikan 60 miliar gallon bahan bakar fosil, hanya dibutuhkan makroalga sekitar kurang dari 3% perairan pesisir dunia (Adini *et al.*,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Copyright © 2021, ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, ISSN 1412-4092, e ISSN 2443-4183

2014). Sumber bioetanol (jagung, tebu, dan gandum) masih berkompetisi dengan sektor pangan dan pakan, selain itu memerlukan area tanah yang cukup luas (Jalilnejad *and* Ghasemzadeh, 2019). Tujuh puluh persen (70%) permukaan bumi ditutupi oleh laut yang hidup berbagai mikroalga dan rumput laut yang dapat dikonversi menjadi bioetanol (Suutari *et al*., 2015).

Telah diketahui bahwa *Ulva reticulata* mengandung karbohidrat berupa heteropolisakarida jenis glukosa, arabinosa, ramnosa, dan xilosa yang sangat berlimpah (Yu-Qing *et al*., 2016). Rumput laut dengan kandungan karbohidrat dan lipid dianggap menjadi sumber energi terbarukan generasi ke-3 (Mathimani *and* Pugazhendhi, 2019). Tentu hal ini sangat mendukung program Pemerintah Indonesia untuk mewujudkan pemanfaatan energi terbarukan sekurang-kurangnya 23% pada tahun 2025 (Rochman, 2015). Selain itu, rumput laut ini banyak tersebar di laut Timor, Nusa Tenggara Timur. Namun, *Ulva reticulata* ini belum dimanfaatkan oleh masyarakat di Pulau Timor sehingga menjadi sampah yang mengurangi estetika pantai. Di sisi lain, rumput laut ini bukan merupakan bahan makanan, sehingga tidak berkompetisi dengan pangan saat menjadi bioetanol.

Sintesis bioetanol dari rumput laut dapat dilakukan melalui proses hidrolisis dan dilanjutkan dengan proses fermentasi (Park *et al*., 2012). Proses hidrolisis menggunakan asam seperti H_2SO_4 memberikan rendemen bioetanol yang lebih tinggi dibandingkan enzim (Adini *et al*., 2014). Salah satu kendala dalam produksi bioetanol yakni pada perlakuan awal (*pretreatment*). Proses delignifikasi yang berlangsung dalam waktu lama dapat menyebabkan konversi komponen lignoselulosa menjadi senyawa sekunder seperti xylitol, asam suksinat, asam laktat, furfural, hidroksimetilfurfural, asam asetat, dan gliserol, yang bertindak sebagai penghambat dalam fase hidrolisis berikutnya. Pada penelitian ini, perlakuan awal (deliginifikasi dan hidrolisis) menggunakan *microwave irradiation* sebagai salah satu alternatif dalam meningkatkan efisiensi dalam reaksi kimia dan memiliki banyak keuntungan, yaitu waktu yang dibutuhkan relatif lebih singkat dibandingkan dengan metode konvensional, laju reaksi hidrolisis pati menjadi glukosa meningkat 50 – 100 kali menggunakan *microwave irradiation*, waktu produksinya lebih pendek, menghemat biaya, selain itu lebih ramah lingkungan karena konsentrasi asam yang digunakan lebih rendah (Kolo *et al*., 2020).

Hidrolisis rumput laut dengan H_2SO_4 pada konsentrasi 9% berat selama 70 menit dapat memaksimalkan gula pereduksi (Alfonsín *et al*., 2019). Fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* pada kondisi konsentrasi inokulum 17,5 mg/mL (59%) selama 4 jam dapat memberikan rendemen bioetanol sebesar 55,9% (Tan *and* Lee, 2014). Yu *et al*., 2020 melaporkan bahwa Mikroalga *Chlorella vulgaris* dapat dihidrolisis dengan asam menggunakan *microwave irradiation* yang menghasilkan gula pereduksi sebesar 98,11 g/L dan etanol sebesar 7,61%.

Sejauh pengetahuan penulis, penelitian mengenai produksi bioetanol dari *Ulva reticulata* belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menyelidiki setiap tahapan produksi bioetanol dari *Ulva reticulata*. Pada penelitian ini, rumput laut asal laut Timor ini dikonversi menjadi bioetanol melalui tahap hidrolisis dengan H_2SO_4 encer dilanjutkan dengan tahap fermentasi. Penelitian ini menggunakan variabel suhu dan waktu dengan dua metode yang berbeda yakni deliginifikasi dan hidrolisis untuk mencari keadaan optimum bagi kedua tahapan tersebut. Tekstur karbohidrat sebelum dan sesudah hidrolisis dianalisis dengan SEM. Keberhasilan hidrolisis pada penelitian ini diselidiki dengan analisis gula pereduksi. Bioetanol yang diproduksi kemudian dikarakterisasi dengan metode berat jenis (piknometer) dan kromatografi gas (GC).

METODE PENELITIAN

Sampel *Ulva reticulata* yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari pesisir pantai pasir panjang, Kecamatan Kelapa Lima, Kota Kupang. Pelarut yang digunakan pada tahap *Pretreatment* yakni H_2SO_4 (Merck) dan NaOH (teknis), bahan penetralan media fermentasi yaitu HCl (teknis), bahan untuk tahap analisa yaitu: glukosa (Merck), H_2SO_4 (Merck), etanol (Merck), asam asetat (Merck). Media agar miring yaitu: (*ragi* ekstrak 10 g/L; pepton 20 g/L; glukosa 20 g/L; agar 25 g/L), media inokulum terdiri atas media inokulum *Saccaromyces cerevisiae* (*yeast ekstrak* 5 g/L; pepton 5 g/L; xilosa dan glukosa 20 g/L sebagai sumber karbon), media fermentasi terdiri atas ekstrak ragi 5 g/L; pepton 5 g/L; KH_2PO_4 5 g/L, $MgSO_4.7H_2O$ 0,4 g/L, NH_4SO_4 0,5 g/L; hidrolisat glukosa.

Penimbangan dilakukan menggunakan neraca analitik (*Mettler Toledo AG 204, USA*). Pengecekan pH menggunakan pH meter (*Thermo Orion model 710 A+*). Alat dan media pertumbuhan disterilisasi dengan *autoclave* (*Sturdy SA-232 X*). Inkubasi dilakukan menggunakan inkubator temperatur 37 °C (*FISHER model 503*), dan *water bath* (*Precision 280 series*), kromatografi gas (GC), spektrofotometer UV-Vis, fermentor, dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Copyright © 2021, ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, ISSN 1412-4092, e ISSN 2443-4183

Preparasi dan Delignifikasi Rumput Laut *Ulva reticulata*

Preparasi *Ulva reticulata* terdiri dari dua langkah yaitu pengeringan di bawah sinar matahari dan penggilingan menggunakan blender, kemudian disaring menggunakan ayakan 100 mesh sehingga diperoleh serbuk *Ulva reticulata*. Serbuk dianalisis morfologinya menggunakan SEM. Metode delignifikasi dikembangkan dari penelitian (Kolo *et al*., 2020). Sebanyak 20 gram serbuk ukuran 100 mesh disuspensi dengan 300 mL NaOH 2% lalu dipanaskan menggunakan reaktor *microwave* pada temperatur 90 °C selama 30 menit. Hasil pemanasan selanjutnya disaring dan dicuci dengan air panas sampai netral. Serbuk hasil delignifikasi dikeringkan dan dihidrolisis dengan asam.

Hidrolisis Tepung Rumput Laut *Ulva reticulata*

Tahapan hidrolisis pada tepung *Ulva reticulata* bertujuan untuk menghidrolisis selulosa menjadi bentuk monosakarida seperti glukosa. Hidrolisis dilakukan dengan variasi suhu dan waktu menggunakan dua metode yakni hidrolisis dengan delignifikasi dan hidrolisis tanpa delignifikasi seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Optimasi hidrolisis serbuk *Ulva reticulata* dengan katalis asam.

Perlakuan	Delignifikasi + Hidrolisis		Hidrolisis	
	Waktu (menit)	Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
1	30	75, 100, 150, 175, 200	30	75, 100, 150, 175, 200
2	30, 40, 50, 60	Suhu optimum perlakuan 1	30, 40, 50, 60	Suhu optimum perlakuan 1

Hidrolisis asam dilakukan dengan cara sebagai berikut: 3 g tepung tepung *Ulva reticulata* dan 100 mL H_2SO_4 2% (v/v) dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL, kemudian dipanaskan menggunakan *microwave*. Hasil hidrolisis tersebut selanjutnya didinginkan pada suhu ruang dan disaring lalu dinetralkan untuk proses selanjutnya. Fraksi padat dilihat tekstur permukaannya dengan alat SEM, sedangkan fraksi cair dianalisis kandungan gula pereduksi dengan metode DNS menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Susmiati, 2011).

Fermentasi Hidrolisat *Ulva reticulata*

Metode fermentasi dikembangkan dari penelitian Yadav *et al.* (2011). Fermentasi dilakukan dengan menggunakan ragi *Sacharomyces cerevisiae*. Volume kerja fermentasi untuk medium hidrolisat sebanyak 200 mL. Hidrolisat serbuk *Ulva reticulata* sp terlebih dahulu dinetralkan untuk analisa gula pereduksi, lalu dimasukkan media fermentasi dan diautoklaf pada temperatur 121 °C selama 15 menit. Fermentasi dilakukan secara anaerobik selama 6 hari. Medium fermentasi menggunakan aquades sebagai pelarut. Fermentasi diatur pada pH 4,5 dan temperatur 30 °C menggunakan NaOH atau HCl 2 M. Media inokulum 10% (v/v) dimasukkan ke dalam medium fermentasi.

Pemurnian (Distilasi) Bioetanol

Hasil fermentasi selama 5 hari disaring menggunakan kertas saring, filtratnya dimasukkan ke dalam labu distilasi dan dipasangkan dengan rangkaian alat distilasi yang telah dirancang. Proses distilasi dilakukan pada suhu 75 °C sampai 80 °C. Distilasi dilakukan selama 1 sampai 2 jam hingga etanol tidak menetes lagi. Distilat yang dihasilkan disimpan dalam wadah yang tertutup rapat (Windarti *et al*., 2014).

Analisis Kualitatif Etanol *Ulva reticulata*

Uji kualitatif etanol pada sampel hasil destilasi makroalga *Ulva retculata* dilakukan dengan cara oksidasi Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$). Tabung reaksi dimasukkan 2 mL $K_2Cr_2O_7$ 2%, 5 tetes H_2SO_4 pekat dan 1 mL sampel. Sampel positif mengandung etanol ditandai dengan perubahan warna dari jingga menjadi hijau (Bahroni *and* Istianah, 2017).

Analisis Kuantitatif Kadar Etanol dengan Metode Piknometer dan Kromatografi Gas (GC)

Piknometer yang digunakan berukuran 5 mL dan menggunakan timbangan neraca analitik yang dikembangkan dari Windarti *et al.* (2014) dengan prosedur yang pertama menimbang berat piknometer kosong diperoleh berat (a) g, yang kedua menimbang berat piknometer yang telah terisi penuh akuades diperoleh berat (b) g, setelah mendapatkan nilai a dan b dihitung volume piknometer dengan rumus pada persamaan 1.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Copyright © 2021, ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, ISSN 1412-4092, e ISSN 2443-4183

$$\text{Volume} = \frac{\text{b}-\text{a}}{0{,}996797} = \text{c mL} \quad (1)$$

Prosedur yang ketiga menimbang berat piknometer yang telah terisi penuh distilat bioetanol diperoleh berat (d) g setelah didapatkan volume piknometer (c) g. Selanjutnya dihitung densitasnya menggunakan rumus pada persamaan 2.

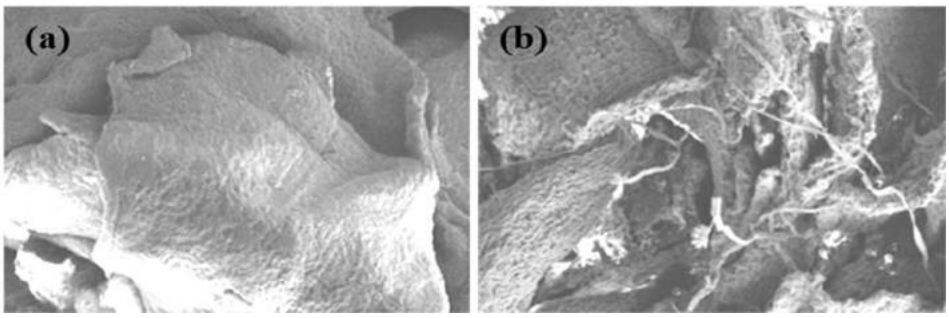
$$\text{Densitas} = \frac{\text{d}-\text{a}}{\text{c}} = \frac{\text{berat pikno sampel}-\text{berat pikno kosong}}{\text{volume piknometer}} \quad (2)$$

Untuk melihat kadar bioetanol yang dihasilkan lebih akurat, maka dilakukan analisa menggunakan *Gas Chromatography* (GC) Agilent 7890a.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Tekstur Permukaan Menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Tujuan penggilingan dan pengayakan *Ulva reticulata* menjadi serbuk yakni untuk memperluas permukaan bahan atau sampel sehingga memudahkan saat proses hidrolisis menggunakan asam encer (H_2SO_4 2% v/v). Hasil perlakuan awal pada serbuk *Ulva reticulata* selanjutnya dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Secara kualitatif, dilakukan dengan pengamatan SEM untuk tiap tahap perlakuan awal sedangkan analisis kuantitatif dilakukan dengan metode DNS. Pengujian SEM bertujuan untuk melihat permukaan serbuk sebelum dan setelah perlakuan awal. Pengujian dilakukan pada 2 sampel yaitu serbuk awal ukuran 100 mesh, serbuk setelah delignifikasi dan serbuk hasil hidrolisis dengan perbesaran 800× (Gambar 1).



Gambar 1. Citra SEM morfologi permukaan *Ulva reticulata* (a) tanpa perlakuan awal dan (b) setelah hidrolisis.

Berdasarkan analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada hasil perlakuan awal serbuk menunjukkan bahwa ada pengaruh atau perubahan tekstur permukaan setelah mendapat perlakuan gelombang mikro. Sebelum delignifikasi dan hidrolisis, tekstur permukaan serbuk masih kompak dan utuh (Gambar 1a). Sedangkan setelah didelignifikasi dengan NaOH dan dihidrolisis dengan H_2SO_4 terlihat bahwa tekstur permukaan serbuk mengalami kerusakan yang signifikan (Gambar 1b). Delignifikasi menggunakan NaOH dapat merusak atau melepaskan struktur lignin yang membungkus selulosa dan hemiselulosa pada bahan lignoselulosa. Adapun proses hidrolisis menggunakan asam (H_2SO_4) dapat dilakukan apabila struktur selulosa dan hemiselulosa sudah terekspos. Hidrolisis dengan asam akan memutuskan ikatan β-1,4-glikosidik pada selulosa dan memutuskan β-1,4-D-piranosil pada hemiselulosa menjadi gula sederhana (glukosa, xilosa, galaktosa, arabinosa, dan manosa) (Wang *et al*., 2013).

Hidrolisis *Ulva reticulata* dengan *Microwave*

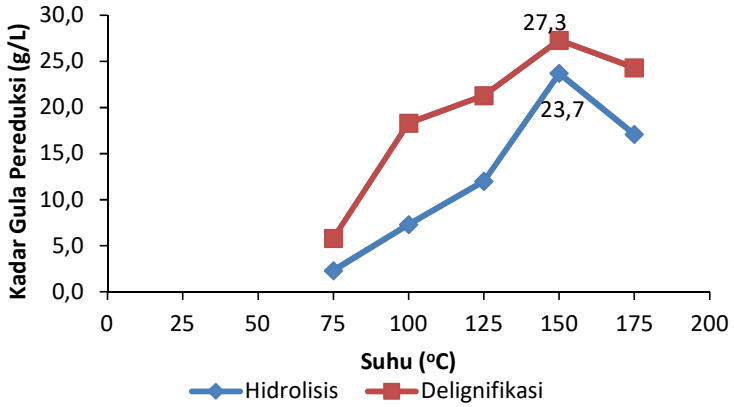
Variasi Suhu Hidrolisis Menggunakan Microwave

Proses perlakuan awal dilakukkan dengan 2 metode yakni hidrolisis tanpa delignifikasi dan hidrolisis dengan delignifikasi. Kadar gula pereduksi bertambah seiring meningkatnya suhu hidrolisis pada suhu 75 °C ke 150 °C yaitu sebesar 2,3 sampai 23,7 g/L untuk hidrolisis tanpa delignifikasi dan 5,8 sampai 27,3 g/L untuk hidrolisis dengan delignifikasi (Gambar 2). Penurunan kadar terjadi pada suhu 175 °C menjadi 17,1 g/L dan 24,3 g/L. Hal ini disebabkan karena pemanasan yang terlalu tinggi mengakibatkan gula mengalami proses karamelisasi yang ditunjukkan dengan warna hidrolisat yang semakin pekat setelah pemanasan. Hasil analisis DNS (Dinitrosalisilat) menunjukkan bahwa kadar gula pereduksi tertinggi pada suhu 150 °C yakni 23,7 g/L untuk hidrolisis tanpa delignifikasi dan 27,3 g/L ketika proses hidrolisis dilakukan selama 30 menit. Suhu

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

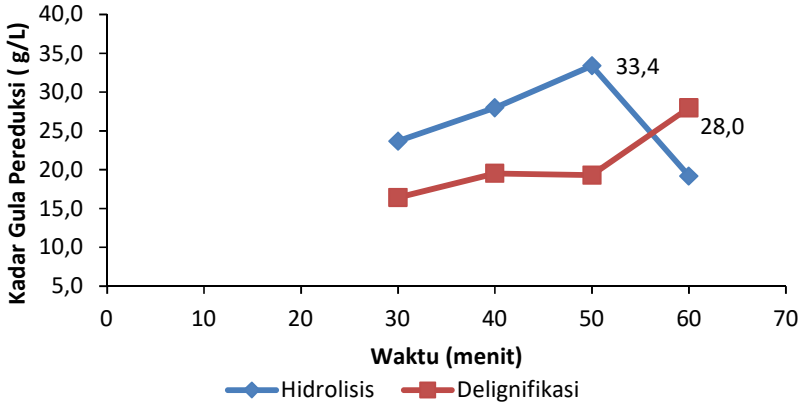
Copyright © 2021, ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, ISSN 1412-4092, e ISSN 2443-4183

optimum yang menghasilkan kadar gula pereduksi optimal tersebut kemudian digunakan untuk optimasi waktu hidrolisis.



Gambar 2. Perbandingan deliginifikasi dan hidrolisis dengan variasi suhu terhadap kadar gula pereduksi.

Pengaruh waktu hidrolisis terhadap kadar gula pereduksi disajikan pada Gambar 3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar gula pereduksi meningkat seiring bertambahnya waktu hidrolisis dari 30 menit ke 50 menit (23,7 sampai 33,4 g/L untuk hidrolisis tanpa delignifikasi) dan mengalami penurunan kadar gula pada waktu 60 menit menjadi 19,2 g/L. Hidrolisis dengan delignifikasi mengalami peningkatan kadar gula sebesar 16,4 – 28 g/L. Hasil analisis DNS (Dinitrosalisilat) menunjukkan bahwa kadar gula pereduksi tertinggi pada waktu 50 menit yakni 33,4 g/L untuk hidrolisis tanpa delignifikasi dan 28 g/L ketika proses hidrolisis dilakukan dengan delignifikasi selama 60 menit. Proses hidrolisis menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi yang rendah akan menghasilkan rendemen glukosa hingga 50% dalam waktu yang cukup singkat (Xiang *et al*., 2003). Waktu optimum yang menghasilkan kadar gula pereduksi optimal tersebut kemudian dipakai untuk produksi dan dilanjutkan proses fermentasi.



Gambar 3. Perbandingan deliginifikasi dan hidrolisis dengan variasi waktu terhadap kadar gula pereduksi.

Menurut Xiang *et al.* (2003), proton dari asam akan berinteraksi secara cepat dengan ikatan glikosidik oksigen pada dua unit gula sehingga akan membentuk asam konjugasi. Keberadaan asam konjugasi menyebabkan konformasi tidak stabil sehingga terjadi pemutusan ikatan C–O dan membebaskan asam konjugasi pada konformasi yang tidak stabil. Keberadaan air pada sistem akan menyebabkan OH^- dari air berikatan dengan ion karbonium sehingga membebaskan gula dan proton. Proton yang terbentuk akan berinteraksi secara cepat dengan ikatan glikosidik oksigen pada dua unit gula yang lain. Proses tersebut terjadi secara kontinyu sampai semua molekul selulosa terhidrolisis menjadi glukosa. Penurunan kadar gula saat suhu mencapai 175 °C disebabkan karena pemanasan yang terlalu tinggi mengakibatkan gula mengalami proses karamelisasi yang ditunjukkan dengan warna hidrolisat yang semakin pekat setelah pemanasan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Copyright © 2021, ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, ISSN 1412-4092, e ISSN 2443-4183

Hidrolisis menggunakan *microwave irradiation* merupakan sebuah metode baru dalam bidang energi terbarukan yang memiliki keunggulan dibandingkan metode konvensional. Pemanasan yang merata dapat meningkatkan hasil gula pereduksi pada proses hidrolisis menggunakan asam encer. Penelitian Teh *et al*. (2017) dengan melakukan hidrolisis *Euchema denticulactum* menggunakan *microwave* dapat meningkatkan hasil gula pereduksi sebesar 51,47 g/L sedangkan Yu *et al*., (2020) menghasilkan gula pereduksi optimum sebesar 98,11 g/L dengan hidrolisis menggunakan *microwave irradiation*. Berdasarkan kedua penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa hidrolisis menggunakan *microwave irradiation* dapat mempengaruhi kadar gula pereduksi.

Nikolić *et al.* (2010) melaporkan bahwa rendahnya rendemen glukosa disebabkan oleh adanya degradasi gula hasil hidrolisis yang terbentuk karena temperatur reaksi yang digunakan sangat tinggi. Temperatur yang dibutuhkan adalah mencapai 200 °C. Degradasi gula tersebut tidak hanya menurunkan konversi reaksi, namun juga dapat meracuni mikroorganisme pada saat reaksi fermentasi pada pembentukan etanol. Oleh karena itu, dalam penelitian ini perlakuan awal dilakukan menggunakan pemanasan dengan bantuan *microwave*. Pemanasan dengan bantuan iradiasi *microwave* dapat digunakan secara langsung dalam reaksi hidrolisis asam encer untuk konversi biomassa berpati menjadi etanol. Rendahnya waktu kontak dan konsumsi energi pada saat operasi reaksi *microwave*, akan menurunkan pembentukan produk sekunder yang tidak diinginkan. Pemanasan dengan *microwave* dapat mengkonversi langsung pati menjadi gula dalam waktu yang relatif rendah. Dibandingkan dengan pemanasan konvensional, laju reaksi hidrolisis pati menjadi glukosa meningkat 100 kali dengan penggunaan iradiasi *microwave*.

Fermentasi Hidrolisat *Ulva reticulata*

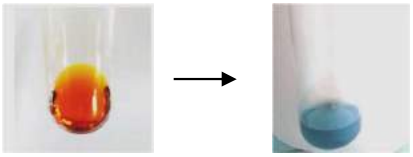
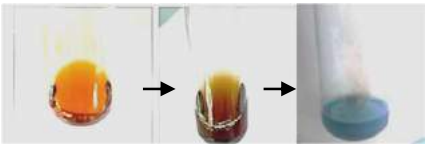
Langkah terakhir dari penelitian ini yakni fermentasi hidrolisat *Ulva reticulata* agar glukosa dikonversi menjadi etanol menggunakan ragi *Saccaromyces cereviceae*. Berdasarkan hasil fermentasi diduga ada kandungan etanol sehingga dilanjutkan dengan tahap pemurnian melalui distilasi sehingga mendapatkan etanol murni.

Analisis Kualitatif Etanol *Ulva reticulata*

Uji kualitatif bioetanol dilakukan dengan metode oksidasi dengan Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$). Hasil positif jika terjadi perubahan dari warna jingga menjadi hijau kebiruan (Tabel 4). Hal ini menunjukkan adanya etanol yang dihasilkan selama proses fermentasi. Reaksi oksidasi yang terjadi ditunjukkan pada persamaan 3.

$$CH_3CH_2OH + 2K_2Cr_2O_7 + 8H_2SO_4 \rightarrow 3CH_3COOH + 2Cr(SO_4)_3 + 2K_2SO_4 + 11H_2O \quad (3)$$

Tabel 4. Hasil uji bioetanol.

Sampel	Hasil uji	Gambar
Etanol Murni	Positif (+)	
Bioetanol Makroalga *Ulva reticulata*	Positif (+)	

Etanol merupakan senyawa alkohol primer dimana pada atom C yang berikatan dengan gugus OH mengikat 2 atom H, sehingga $K_2Cr_2O_7$ akan mengoksidasinya menjadi asam astetat dalam waktu relatif singkat sehingga terjadi perubahan warna pada $K_2Cr_2O_7$ 2% dari jingga ke hijau ketika etanol diteteskan. Warna hijau tersebut berasal dari Cr^{3+} dimana disebabkan karena turunnya biloks Cr^{6+} menjadi Cr^{3+}. H_2SO_4 berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat reaksi tersebut (Ansika, 2014).

Analisis Kuantitatif Kadar Etanol dengan Metode Piknometer dan Kromatografi Gas (GC)

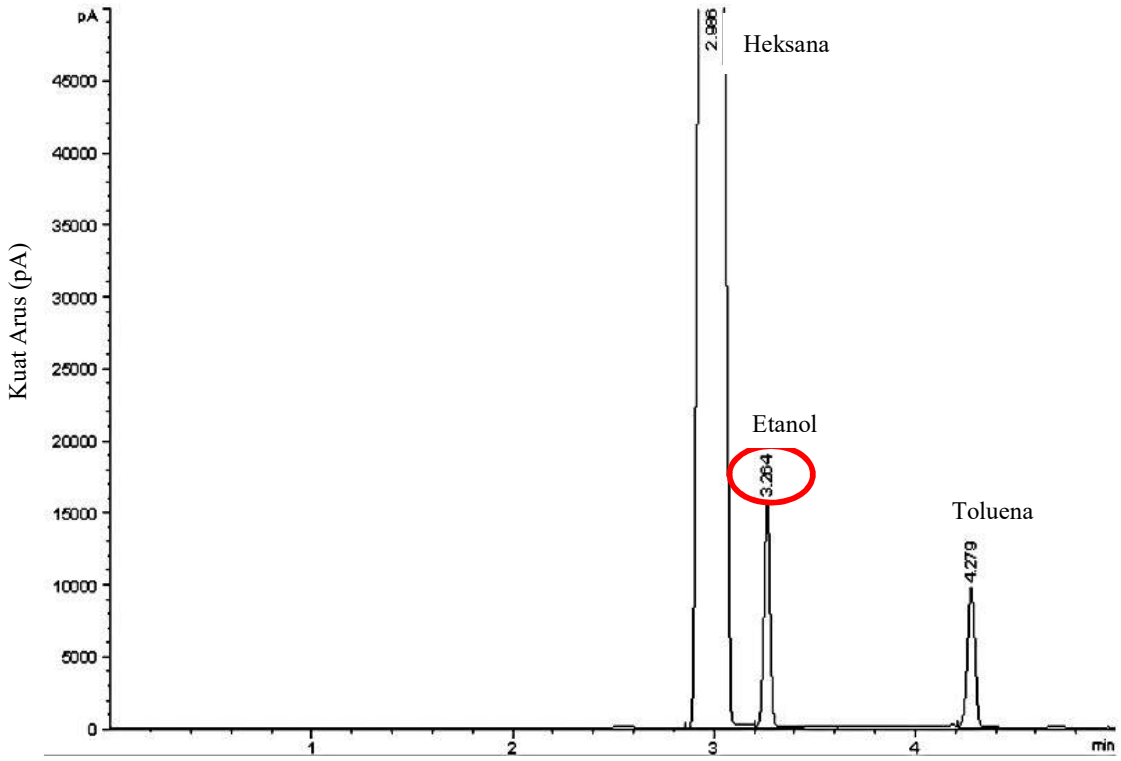
Hasil pengukuran dengan pikometer diperoleh densitas *Ulva reticulata* sebesar 0,9927; masih lebih tinggi dibandingkan densitas etanol absolut yaitu sebesar 0,789. Etanol yang dihasilkan belum murni karena bercampur

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Copyright © 2021, ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, ISSN 1412-4092, e ISSN 2443-4183

dengan air. Hal ini disebabkan oleh tidak dilakukan distilasi secara berulang dan kurang teliti dalam menjaga kestabilan temperatur sehingga uap yang keluar tidak hanya bioetanol melainkan bercampur dengan air. Berdasarkan konversi berat jenis maka etanol yang diperoleh adalah sebesar 1%. Kadar etanol ini lebih tinggi dibandingkan penelitian terdahulu dengan metode *microwave irradiation* pada mikroalga *Chorella* SP GD oleh Yu *et al.* (2020) yang hanya mendapatkan kadar bioetanol sebesar 0,68%.

Hasil analisis kadar etanol menggunakan kromatografi gas (GC) menunjukkan hasil distilasi bioetanol *Ulva reticulata* memiliki kemurnian sebesar 5,02% yang terdeteksi pada waktu retensi 3,264 menit (Gambar 4). Hasil ini lebih tinggi jika dibandingkan penelitian terdahulu oleh Novia *et al.* (2017) yang memproduksi bioetanol dari sekam padi sebesar 1%. Hasil pengukuran kadar etanol makroalga *Ulva reticulata* menggunakan GC lebih tinggi dibandingkan piknometer. Hal ini dapat terjadi karena berbagai faktor yakni jarak waktu antara analisa piknometer dengan analisa GC cukup lama (Windarti *et al*., 2014). Pengukuran kadar etanol menggunakan piknometer yang digunakan adalah densitas campuran etanol dan air, sedangkan pada GC hanya etanol yang dideteksi untuk diukur kadar etanolnya (Novia *et al*., 2017). Tingkat ketelitian alat piknometer dan GC yang berbeda. Kurangnya ketelitian saat mengukur berat jenis menggunakan piknometer sehingga terdapat udara yang masuk yang akan mempengaruhi hasil pada neraca analitik. (Windarti *et al*., 2014).



Gambar 4. Profil kromatogram sampel bioetanol.

Kromatogram sampel makroalga *Ulva reticulata* terdapat 3 komponen yaitu komponen dengan waktu retensi 4,279 menit merupakan standar internal yaitu toluena, waktu retensi 2,988 merupakan heksana yang merupakan pelarut dan waktu retensi 3,264 yang merupakan etanol. Perbandingan antara kromatogram standar dan kromatogram sampel menunjukkan waktu yang hampir sama atau tidak berbeda signifikan. Interaksi antara etanol, toluena, heksana dengan fase diam dapat menghasilkan waktu retensi yang berbeda tergantung titik didih senyawa. Senyawa yang memiliki titik didih lebih rendah akan lebih mudah menjadi gas dan memiliki waktu retensi yang lebih cepat (Ningsih, 2009).

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekstur permukaan serbuk sebelum dan sesudah hidrolisis mengalami perubahan yang signifikan. Kadar gula pereduksi tertinggi yakni sebesar 33,43 g/L dengan suhu optimum

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Copyright © 2021, ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, ISSN 1412-4092, e ISSN 2443-4183

150 °C, konsentrasi asam 2% pada waktu hidrolisis optimum 30 menit. Hasil analisis kualitatif etanol menunjukkan hasil yang positif dengan terjadi perubahan warna sampel dari warna jingga menjadi hijau kebiruan. Hasil analisis kadar etanol dengan metode piknometer yakni sebesar 1% dan metode kromatografi gas sebesar 5,02%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas Timor melalui LPPM yang telah memfasilitasi berupa dana penelitian. Terima kasih kepada Laboratorium Biologi, Laboratorium Faperta Universitas Timor dan UPT Laboratorium Kimia Universitas Katolik Widya Mandira Kupang, Laboratorium Kimia ITS Surabaya serta Laboratorium PT. Gelora Djaja Surabaya dan semua pihak yang telah membantu hingga terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adini, S., Kusdiyantini, E., *and* Budiharjo, A. 2014. Produksi Bioetanol dari Rumput Laut dan Limbah Agar *Gracilaria sp.* dengan Metode Sakarifikasi yang Berbeda. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, *16*(2): 65. doi: 10.14710/bioma.16.2.65-75.

Alfonsín, V., Maceiras, R., *and* Gutiérrez, C. 2019. Bioethanol Production from Industrial Algae Waste. *Waste Management*, *87*: 791–797. doi: 10.1016/j.wasman.2019.03.019.

Bahroni, *and* Istianah. 2017. Pemanfaatan Buah Berenuk (Crescentia Cujete Linn) sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol. *Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta*, *June*, 1–7. doi: 10.17605/OSF.IO/2KXCV.

Jalilnejad, E., *and* Ghasemzadeh, K. 2019. *Chapter 4 - Ethanol for Food or Transportation: A Kind of Competition* (A. Basile, A. Iulianelli, F. Dalena, *and* T. N. B. T.-E. Veziroğlu (eds.); pp. 103–129). Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-811458-2.00004-3.

Kolo, S. M. D., Wahyuningrum, D., *and* Hertadi, R. 2020. The Effects of Microwave-Assisted Pretreatment and Cofermentation on Bioethanol Production from Elephant Grass. *International Journal of Microbiology*, 2020. doi: 10.1155/2020/6562730.

Mathimani, T., *and* Pugazhendhi, A. 2019. Utilization Of Algae for Biofuel, Bio-Products and Bio-Remediation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *17*: 326–330. doi: 10.1016/j.bcab.2018.12.007.

Murdiyatmo, U. 2006. Pengembangan Industri Ethanol : Prospek, Kendala dan Tantangan. *Workshop Nasional Bisnis Biodiesel dan Bioethanol Di Indonesia*, *November*: 80–86.

Nikolić, S., Mojović, L., Rakin, M., Vukašinović-Sekulić, M., Pejin, D., *and* Pejin, J. 2010. Improvement of Bioethanol Production from Corn by Ultrasound and Microwave Pretreatments. *Chemical Engineering Transactions*, *21*(January): 1327–1332. doi: 10.3303/CET1021222.

Ningsih E. Setya. 2009. *Optimasi Konsentrasi Molase dan pH terhadap Produksi Etanol Hasil Fermentasi pada Suhu 28 °C oleh Saccharomyces cerevisiae*. Skripsi. Program Studi Ilmu Farmasi Fakultas Farmasi Universitas Sanata Dharma.

Novia, Wijaya, D., *and* Yanti, P. 2017. Pengaruh Waktu Delignifikasi terhadap Lignin dan Waktu SSF terhadap Etanol Pembuatan Bioetanol dari Sekam Padi. *Teknik Kimia*, *23*(1): 19–27.

Park, J.-H., Hong, J.-Y., Jang, H. C., Oh, S. G., Kim, S.-H., Yoon, J.-J., *and* Kim, Y. J. 2012. Use of Gelidium Amansii as a Promising Resource for Bioethanol: A Practical Approach for Continuous Dilute-Acid Hydrolysis and Fermentation. *Bioresource Technology*, *108*: 83–88. doi: 10.1016/j.biortech.2011.12.065

Rochman, N. N. 2015. *Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi.

Susmiati, Y. 2011. Detoksifikasi Hidrolisat Asam dari Ubi Kayu dengan Metode Arang Aktif untuk Produksi Bioetanol. *AGROINTEK*, *5*(1): 9–15.

Suutari, M., Leskinen, E., Fagerstedt, K., Kuparinen, J., Kuuppo, P., *and* Blomster, J. 2015. Macroalgae In Biofuel Production. In *Phycological Research* (Vol. 63). doi: 10.1111/pre.12078.

Teh, Y. Y., Lee, K. T., Chen, W. H., Lin, S. C., Sheen, H. K., *and* Tan, I. S. 2017. Dilute Sulfuric Acid Hydrolysis of Red Macroalgae *Eucheuma denticulatum* with Microwave-Assisted Heating for Biochar Production and Sugar Recovery. *Bioresource Technology*, *246*: 20–27. doi: 10.1016/j.biortech.2017.07.101.

Wang, H., Maxim, M. L., Gurau, G., *and* Rogers, R. D. 2013. Microwave-Assisted Dissolution and

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Copyright © 2021, ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, ISSN 1412-4092, e ISSN 2443-4183

Delignification Of Wood In 1-Ethyl-3-Methylimidazolium Acetate. *Bioresource Technology*, *136*: 739–742. doi: 10.1016/j.biortech.2013.03.064.

Windarti, A., Novia, *and* Rosmawati. 2014. Pembuatan Bioetanol dari Jerami Padi dengan Metode Ozonolisis-Simultaneous an Fermentation (SSF) –. *Jurnal Teknik Kimia*, *20*(3): 38–48.

Xiang, Q., Lee, Y. Y., Petterson, P. O., *and* Torget, R. W. 2003. Heterogeneous Aspects Of Acid Hydrolysis Of A-Cellulose. *Applied Biochemistry and Biotechnology - Part A Enzyme Engineering and Biotechnology*, *107*(1–3): 505–514. doi: 10.1385/ABAB:107:1-3:505.

Yadav, K. S., Naseeruddin, S., Prashanthi, G. S., Sateesh, L., *and* Rao, L. V. 2011. Bioresource Technology Bioethanol Fermentation of Concentrated Rice Straw Hydrolysate Using Co-Culture of *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia stipitis*. *Bioresource Technology*, *102*(11): 6473–6478. doi: 10.1016/j.biortech.2011.03.019.

Yu-Qing, T., Mahmood, K., Shehzadi, R., *and* Ashraf, M. F. 2016. Ulva Lactuca and Its Polysaccharides: Food and Biomedical Aspects. *In Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* (Vol. 6).

Yu, K. L., Chen, W. H., Sheen, H. K., Chang, J. S., Lin, C. S., Ong, H. C., Show, P. L., *and* Ling, T. C. 2020. Bioethanol Production from Acid Pretreated Microalgal Hydrolysate Using Microwave-Assisted Heating Wet Torrefaction. *Fuel*, *279*(May): 118435. doi: 10.1016/j.fuel.2020.118435.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Copyright © 2021, ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, ISSN 1412-4092, e ISSN 2443-4183

Serambi Engineering, Volume VI, No. 2, April 2021 hal 1702 - 1720
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Prospek Utama Pengembangan Energi Terbarukan Di Negara-Negara ASEAN

Syaifuddin Yana[1*], Muhammad Nizar[2], Ardhana Yulisma[3]

[1]Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas, Serambi Mekkah
[2]Program Studi Teknik, Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah
[3]Program Studi Magister Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala
[*]**Koresponden email:** syaifuddin.yana@serambimekkah.ac.id

Diterima: 11 Februari 2021 Disetujui: 22 Februari 2021

Abstract
The economic development of a country depends on sustainable energy sources that meet basic human needs. Government policy on energy conservation is an effort to maintain the stability of energy security that affects the economic development of a country. Southeast Asia is experiencing rapid economic growth and development, combined with population growth and urbanization, as well as increased access to basic services. This study aimed to determine the seven key factors considered that shape energy in Southeast Asia. Based on the panel data model, it showed that energy demand in the ASEAN region greatly influences GDP per capita; demographics and urbanization; air quality, climate risk, and environmental degradation; energy accessibility, affordability, and security; investment and financial ; as well as energy policies, prices, and regulations.
Keywords: *seven key factors, renewable energy, energy development, energy security, ASEAN*

Abstrak
Perkembangan ekonomi suatu negara tergantung pada pasokan energi berkelanjutan yang mampu memenuhi seluruh kebutuhan dasar masyarakat. Kebijakan pemerintah dalam konservasi energi merupakan upaya menjaga stabilitas keamanan energi yang berpengaruh terhadap pembangunan ekonomi di suatu Negara. Asia Tenggara mengalami pertumbuhan dan perkembangan ekonomi yang cukup pesat, hal tersebut dikombinasikan dengan meningkatnya populasi dan urbanisasi, serta peningkatan akses ke layanan dasar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tujuh faktor kunci yang membentuk energi di kawasan Asia Tenggara. Berdasarkan model data panel menunjukkan bahwa permintaan energi di kawasan ASEAN sangat berpengaruh terhadap PDB per kapita; demografi dan urbanisasi; kualitas udara, risiko iklim, dan degradasi lingkungan; akses, keterjangkauan, dan keamanan energi; investasi dan pembiayaan; serta kebijakan energi, harga, dan regulasi.
Kata Kunci : *tujuh faktor kunci, energi terbarukan, pengembangan energi, keamanan energi, ASEAN*

1. Pendahuluan

Penduduk ASEAN berjumlah lebih dari 500 juta orang yang tersebar di 10 negara dengan luas wilayah sekitar 4,5 juta km^2. Pada Tahun 1990-an terjadi peningkatan pertumbuhan Asia meliputi industrialisasi secara besar, peningkatan migrasi perkotaan ke daerah-daerah populasi yang sangat terkonsentrasi, kelas menengah yang berkembang, dan pendapatan konsumen yang semakin meningkat. Sementara itu, pada Tahun 2001 terjadi perlambatan ekonomi global menghambat permintaan energi dan ekonomi kawasan hal ini dipicu oleh krisis ekonomi Asia pada Tahun 1997 [1]. Asia Tenggara merupakan wilayah yang dinamis dan beragam dalam banyak hal. Hal ini ditandai dengan pertumbuhan demografis dan ekonomi yang signifikan. Juga, oleh berbagai tingkat pembangunan dan sumber daya alam yang tidak merata. Negara-negara berkembang seperti Asia Tenggara mengkonsumsi energi dalam jumlah yang banyak, terutama dalam penggunaan listrik. Sejak Tahun 2000 batu bara menempati posisi terdepan dalam memenuhi tuntutan baru ini, dengan mengorbankan lingkungan [2].

Energi merupakan hal terpenting dalam memenuhi kebutuhan dasar manusia, serta menjadi fundamental dalam mendukung kegiatan industri, transportasi, dan pertanian yang membentuk pertumbuhan ekonomi dunia [3]. Perkembangan ekonomi suatu negara tergantung pada pasokan energi berkelanjutan yang memenuhi semua kebutuhan yang diperlukan. Konservasi energi dan kebijakan pemerintah yang ditetapkan untuk mendukung keamanan energi memainkan peran utama dalam mempertahankan pembangunan ekonomi suatu negara. Setiap penilaian prospek energi global harus

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

memperhitungkan pertumbuhan ekonomi di Asia Tenggara. Kawasan Asia Tenggara merupakan rumah bagi hampir satu dari sepuluh populasi dunia, dimana pertumbuhan ekonomi di kawasan ini secara cepat membentuk banyak aspek dari prospek ekonomi dan energi global. Meningkatnya permintaan bahan bakar, terutama untuk minyak, telah jauh melampaui produksi dari dalam kawasan. Asia Tenggara secara keseluruhan sekarang berada di ambang menjadi importir bersih bahan bakar fosil untuk pertama kalinya. Pada saat yang sama, Asia Tenggara sedang menuju untuk mencapai akses ke listrik secara universal pada Tahun 2030 [4]. Dalam Skenario Pembangunan Berkelanjutan, pangsa energi terbarukan dalam pembangkit listrik hampir tiga kali lipat dari level saat ini pada Tahun 2040, yaitu mencapai 70%. Di dalam dan di luar sektor listrik, Asia Tenggara memiliki potensi besar untuk penggunaan berkelanjutan bioenergi modern, baik dalam hal teknologi saat ini dan dalam pengembangan biofuel maju untuk meningkatkan keberlanjutan sektor transportasi [4].

Menurut Ref. [4], jumlah konsumsi energi di wilayah ASEAN secara praktis akan berlipat ganda pada Tahun 2040. Oleh karena itu, energi konvensional masih dapat digunakan oleh sebagian besar negara-negara ASEAN untuk memenuhi permintaan energi yang terus meningkat, dengan upaya untuk mengurangi dampak lingkungan, dan secara bertahap meningkatkan penggunaan energi terbarukan [5]. Pasar energi di Asia Tenggara berkembang pesat. Permintaan keseluruhan telah meningkat 80% sejak Tahun 2000, dengan jutaan pelanggan baru mendapatkan akses ke listrik. Hal tersebut memberi tekanan pada sistem energi, dan dengan banyak permintaan dipenuhi oleh dua kali lipat penggunaan bahan bakar fosil, emisi CO_2 juga meningkat [6].

Wilayah Asia Tenggara memiliki sumber daya energi terbarukan yang kaya dan sebagian besar belum dimanfaatkan. Ini memiliki beberapa potensi tenaga air terbaik di dunia, terutama di Indonesia, Myanmar dan beberapa negara Mekong. Iradiasi horizontal global merupakan parameter yang dipertimbangkan untuk instalasi fotovoltaik di wilayah tersebut, dengan rata-rata tahunan 1,5-2 MWh / m2 per tahun. Sumber daya angin lebih banyak pada wilayah Indonesia, Filipina, Thailand, dan Vietnam mencapai kecepatan rata-rata antara enam dan tujuh meter per detik. Indonesia dan Filipina memiliki pengaruh yang signifikan potensi panas bumi [7]. Dalam hal "cadangan terbukti" sumber daya yang dapat dieksploitasi secara ekonomi dengan teknologi. Saat ini Indonesia memimpin wilayah dan bertanggung jawab dalam peningkatan kapasitas substansial di masa depan. Meskipun tidak cukup dipetakan, kawasan ini juga memiliki potensi energi laut yang besar, terutama di negara-negara kepulauan seperti Indonesia, Filipina, dan Singapura [8]. Potensi pasokan bioenergi signifikan di seluruh wilayah dengan berbagai pilihan bahan baku yang tersedia, termasuk residu pertanian, limbah ternak, dan hutan perkebunan.

Pembuat kebijakan memerlukan data untuk menginformasikan perencanaan nasional, penetapan target, dan desain kebijakan sektor untuk mengembangkan proposal proyek, mengidentifikasi potensi lokasi dan melakukan studi kelayakan awal, dan investor untuk menilai proposal dan risiko keuangan dalam pengembangan sumber daya energi terbarukan [9]. Keamanan energi adalah konsep yang bergantung pada konteks [9][10][11]. Keamanan energi dapat didefinisikan sebagai pasokan atau permintaan energi yang andal dan memadai dengan harga terjangkau [12][13]. Menurut Ref. [14] keamanan energi merupakan kemampuan rumah tangga, bisnis, dan pemerintah untuk mengakomodasi gangguan pasokan di pasar energi. Beberapa literatur menekankan ketersediaan dan keterjangkauan energi, seperti akses ke sumber energi yang cukup, termasuk infrastruktur untuk transportasi energi [15]. Definisi keamanan energi juga bergantung pada apakah negara tersebut adalah eksportir energi atau importir energi [12][16][17]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tujuh faktor kunci yang membentuk prospek energi dalam pengembangan energi terbarukan di kawasan Asean.

.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif yang bersifat *study literature* yang menggunakan buku-buku dan literatur-literatur terkini. Jenis penelitian yang digunakan adalah kualitatif, yaitu penelitian yang menghasilkan informasi berupa catatan dan data deskriptif yang terdapat di dalam teks yang diteliti. Tabulasi sumber data yang digunakan dalam studi ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 1. Sumber data yang digunakan dalam *study literature*

Literatur	Tahun Terbit Literatur	Asal Negara Literatur	Sumber
ASEAN UP. 4 ASEAN infographics: demography, top cities, urbanization. Diakses pada Tanggal 17 Februari 2020 di https://aseanup.com/asean-infographics-demography-top-cities-urbanization/	2020	-	ASEAN UP
https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/06/24/WEOUpdateJune2020	2020		International Monetary Fund, World Economic Outlook.
The Asean Post, 2019, *ASEAN growth slower than forecasted*, Diakses Tanggal 16 Februari 2021 pada https://theaseanpost.com/article/asean-growth-slower-forecasted	2019	Indonesia	The Asean Post
https://asean.org/storage/2019/06/AEIB_5th_Issue_Released.pdf http://www.aseanstats.org/ (data primer)	2019	Indonesia	Asean Economic Integration Brief No. 5.
Economic Outlook For Southeast Asia, China And India 2019	2019	Indonesia	OECD Development Centre, MPF-2019 (Medium-term Projection Framework)
Towards Smart Urban Transportation, https://www.aseantoday.com/2019/11/the-power-of-people-urbanisation-will-radically-transform-asean-cities-by-2050/	2019	-	www.worldometers.info
https://eneken.ieej.or.jp/data/7748.pdf	2018	-	IEEJ: Asia/World Energy Outlook
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_Market_Southeast_Asia_2018.pdf	2018	ASEAN	IRENA, Renewable Energy Market Analysis Southeast Asia.
Kreft, Sönke, D. Eckstein, I. Melchior, "Global Climate Risk Index 2017: Who Suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2015 and 1996 to 2015	2016	Germany	https://germanwatch.org/de/download/16411.pdf
http://aperc.ieej.or.jp/publications/reports/outlook.php	2013	Tokyo	APERC, APEC Energy Demand and Supply Outlook, 5th Edition, Asia Pacific Energy Research Centre, Tokyo.
P. Ruangrong, "Overview of recent regulatory developments", presentation to the High-Level Meeting of Regional Energy Regulatory Associations of Emerging Markets.	2013	Thailand	http://www.erranet.org/OtherActivities/high-level_meetings

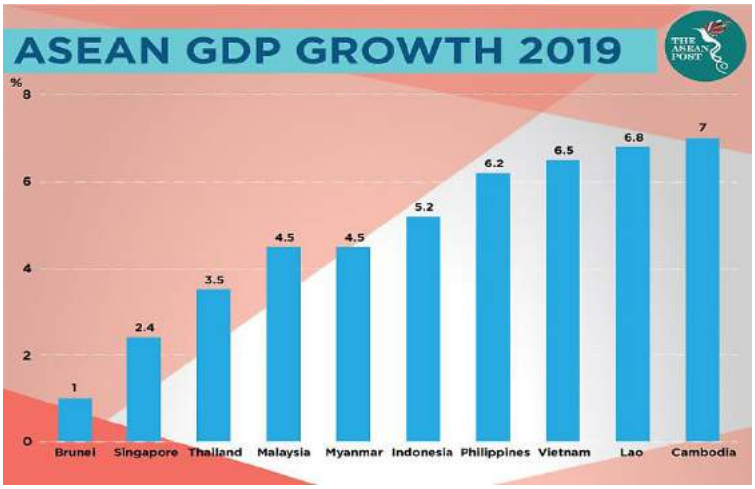
3. Hasil dan Pembahasan

Tren Ekonomi dan Pendapatan yang Meningkat

Data dari Bank Pembangunan Asia (ADB) terbaru menunjukkan bahwa ekonomi Asia Tenggara telah tumbuh kurang dari yang diperkirakan, dimana menghasilkan pertumbuhan dengan perincian, yaitu 4,8% (2019) dan 4,9 persen (2020), turun sekitar 4,9% dan 5,0% untuk masing-masingnya. Sementara itu, inflasi regional untuk Tahun 2019 diperkirakan turun menjadi 2,4% dari perkiraan sebelumnya 2,6%. Terjadinya persaingan dagang di Amerika Serikat (AS) juga berdampak pada pertumbuhan ekonomi di kawasan ASEAN. Hal ini terlihat dari penurunan yang terjadi dalam siklus elektronik, meskipun sebagiannya masih mampu untuk diimbangi oleh permintaan domestik [18]. Pertumbuhan Produk Domestik Bruto (GDP) negara-negara ASEAN tahun 2019 dapat dilihat pada **Gambar 1**.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934



Gambar 1. Pertumbuhan Produk Domestik Bruto (GDP) ASEAN tahun 2019
Sumber: Asian Development Bank, 2019

Gambar 1 menunjukkan bahwa pertumbuhan Produk Domestik Bruto (GDP) terbaik di ASEAN ditempati oleh Kamboja denga pertumbuhan 8%, diikuti oleh Laos (6,8%), Vietnam (6,5%), Piliphina (6,2%), Indonesia (5,2%), Thailand (3,5%), Singapura (2,4%), dan Brunei (1%). Sementara Malaysia dan Myanmar mengalami pertumbuhan GDP yang setara yaitu 4,5%. Ketika konflik perdagangan terus berlanjut, kawasan ini tetap mempertahankan pertumbuhan yang kuat dan moderat. Namun demikian, selama masih terjadi ketegangan antara Amerika Serikat (AS) dan Cina ketidakpastian akan terus membebani prospek secara regional.

PDB di negara berkembang pertumbuhan rata-rata tahunannya yaitu 6,1% pada 2019. Hal ini berdasarkan pada Kerangka Kerja Jangka Menengah OECD Development Centre (MPF-2019) Pusat Pengembangan (MPF-2019) (**Tabel 2**). Permintaan domestik diperkirakan akan mempertahankan momentumnya, khususnya rumah tangga pengeluaran, karena pasar dagang diperkirakan akan tetap cerah. Pasar dagang Asia Tenggara diperkirakan akan terus tumbuh sebesar 5,2% pada 2019, lebih cepat dari tingkat yang dilaporkan pada 2012. Sementara Cina diperkirakan akan memiliki pertumbuhan rata-rata 5,9% pada 2019, lebih lambat dari rata-rata 2012, yaitu sebesar 7,3% [19].

Tabel 2. Pertumbuhan PDB di Asia Tenggara dan Cina

	2017	2018	2019	2019 (rata-rata)	2012 (rata-rata)
Negara ASEAN					
Indonesia	5.1	5.2	5.2	5.3	5.3
Malaysia	5.9	4.9	4.8	4.6	5.1
Filipina	6.7	6.4	6.5	6.6	6.6
Thailand	3.9	4.5	4.1	3.7	3.4
Vietnam	6.8	6.9	6.7	6.5	5.9
Brunei Darussalam dan Singapura					
Brunei Darussalam	1.3	2.0	2.3	2.0	-1.3
Singapura	3.6	3.5	2.9	2.7	3.5
CLM countries					
Kamboja	7.0	7.0	6.9	6.9	7.1
Laos	6.9	6.6	6.8	7.0	7.6
Myanmar	6.8	6.6	6.9	7.0	7.3
Cina					
Cina	6.9	6.6	6.3	5.9	7.3
Rata-rata ASEAN	5.3	5.3	5.2	5.2	5.1
Rata-rata dari Emerging Asia	6.5	6.6	6.3	6.1	6.8

Sumber: OECD Development Centre, Medium-term Projection Framework (MPF), 2019

Bank Dunia baru-baru ini melaporkan bahwa mereka mengharapkan ekonomi global tumbuh lebih kuat dari yang diperkirakan yaitu 3,1%, dengan percepatan lebih dari setengah ekonomi. Menurut laporan Dewan Kebijakan Bisnis Global, ini adalah pertama kalinya sejak Krisis Keuangan Global (GFC) bahwa ekonomi global berada pada kenaikan yang sinkron. Prospek positif datang ketika ekonomi global mengalami pemulihan siklus, yang mencerminkan peningkatan umum dalam investasi, aktivitas

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

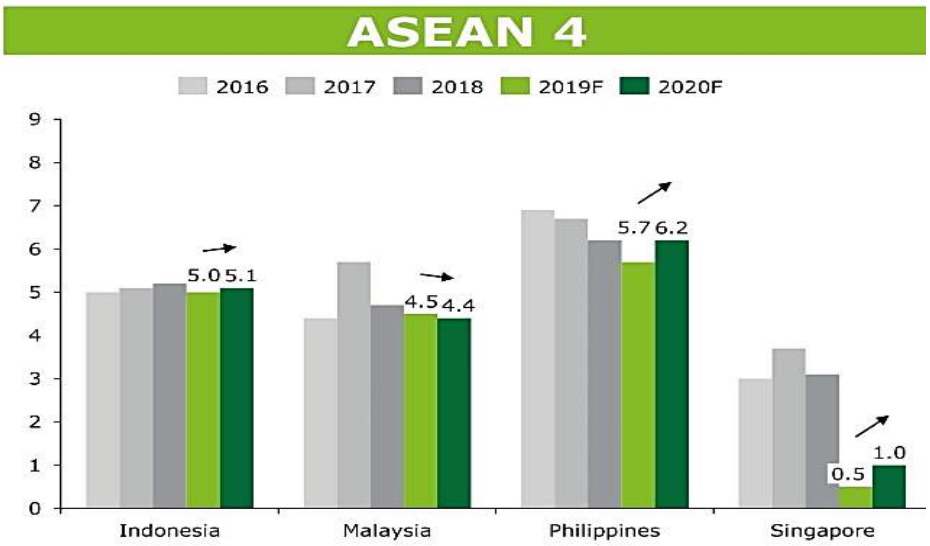
manufaktur, dan perdagangan. Tren kenaikan ini merupakan berita baik bagi ekonomi yang bergantung pada perdagangan, terutama di kawasan ASEAN, karena peningkatan perdagangan internasional akan membuat kemajuan untuk investasi yang lebih pasti. Produksi manufaktur yang tinggi menunjukkan bahwa terjadi peningkatan impor dan ekspor dalam rantai pasokan global dan tingkat pertumbuhan layanan yang lebih tinggi. Pasar ASEAN telah tumbuh dengan stabil pada tingkat 5% selama beberapa tahun terakhir [21].

Tabel 3. Pertumbuhan Ekonomi ASEAN Tahun 2018

Negara	PDB pada harga saat ini (US$b)	Produk Domestik Bruto (GDP) per kapita (US$)	Pertumbuhan nyata Produk domestik Bruto (GDP) (%)	Tingkat inflasi, rata-rata (%)
Brunei Darussalam	13.6	31,895.1	0.1	0.2
Kamboja	24.5	1,535.5	7.0	n.a
Indonesia	1,041.6	3,928.7 2	5.2	3.2
Laos	18.1	2,627.8	6.7	2.0
Malaysia	354.2	10,907.7	4.8	0.9
Myanmar	71.5	1,328.2	6.4	6.9
Filipina	342.6	3,213.3	6.2	5.3
Singapura	361.0	64,273.9	3.3	0.4
Thailand	505.1	7,443.5	4.1	1.1
Vietnam	240.7	2,542.6	7.1	3.5
ASEAN	2,972.9	4,577.1	5.1	0.2-6.9

Sumber: Ref [22]

Dorongan fiskal dan moneter harus tetap menjaga permintaan domestik agar tetap stabil, sementara banyak sektor eksternal terlihat pulih dari kinerja 2019 yang tergolong lesu. Perkembangan dalam negosiasi perdagangan AS dan China akan tetap menjadi faktor penting untuk prospek, mengingat ketergantungan kawasan terhadap perdagangan. Menurut data awal, inflasi regional naik menjadi 2,5% pada bulan Desember dari 2,2% pada bulan November, sebagian besar disebabkan oleh kenaikan tekanan inflasi di Laos, Filipina, Singapura, Thailand, dan Vietnam. Inflasi rata-rata regional diperkirakan akan naik lebih tinggi pada Tahun 2020 karena biaya pinjaman yang lebih rendah, stimulus fiskal, dan permintaan domestik yang kuat [23].

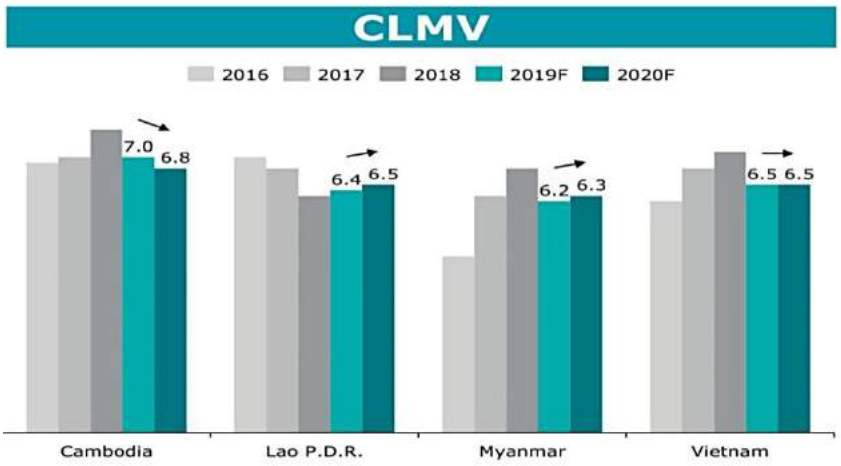


Gambar 2. Kurva pertumbuhan ekonomi Indonesia, Malaysia, Filipina, dan Singapura.
Sumber: IMF WEO, 2020.

Gambar 2 memperlihatkan Indonesia menunjukkan pertumbuhan yang baik pada Tahun 2019 dan 2020. Meskipun terjadi ketidakpastian global, namun prospek ekonomi tetap positif dengan permintaan domestik menjadi pendorong utama pertumbuhan. Malaysia menunjukkan pertumbuhan mereda pada 2019 dan 2020. Permintaan domestik yang menguntungkan, khususnya rumah tangga pengeluaran karena

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

pasar tenaga kerja yang stabil, dan inflasi yang rendah. Di tengah meningkatnya ketidakpastian global, ekonomi Filipina masih tetap kuat. Hal tersebut terlihat dari peningkatan pertumbuhan ekonominya pada Tahun 2020. Singapura menunjukkan tren pertumbuhan menurun pada 2020. Hal tersebut dipengaruhi oleh penurunan siklus elektronik dan ketegangan AS-Cina [24]. Sementara untuk negara lainnya seperti Kamboja, Laos, Myanmar, dan Vietnam dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Kurva pertumbuhan ekonomi Kamboja, Laos, Myanmar, Vietnam
Sumber: IMF WEO, 2020.

Gambar 3 menunjukkan Kamboja menunjukkan fiskal yang relatif besar (lebih dari 3% dari PDB) diharapkan akan diperkenalkan pada Tahun 2020 untuk mengurangi dampak negatif potensial dari penarikan EBA. Laos menunjukkan pertumbuhan di sektor konstruksi dan jasa diperkirakan akan tetap kuat dalam jangka menengah karena investasi infrastruktur yang berkelanjutan. Myanmar menunjukkan risiko kerugian mendominasi ekonomi Myanmar, yang meliputi ketidakpastian ekonomi global, krisis Rakhine, dan domestik konflik. Sentimen ekonomi Vietnam tetap terekspos secara global, mengingat tingginya perdagangan terbuka dan penyangga kebijakan yang terbatas. Pertumbuhan diperkirakan akan lebih moderat di Tahun 2020 dan 2021 ke kecepatan yang lebih berkelanjutan 6,5% [24].

Demografi dan Urbanisasi

Urbanisasi merupakan dinamika terpenting dalam perekonomian Asia Tenggara. Infografis pertama ini merinci evolusi populasi negara-negara ASEAN dan ASEAN dalam beberapa tahun dan dekade mendatang. Asia Tenggara secara keseluruhan siap untuk melihat pertumbuhan demografis yang cepat di sebagian besar negara. Proyeksi yang tercantum pada **Gambar 4** terutama menyoroti pertumbuhan demografis penting ASEAN, dari 630 juta pada 2015, menjadi 660 juta penduduk pada 2020, 720 juta pada 2030, dan lebih banyak 785 juta pada 2050. Pertumbuhan populasi tertinggi ditunjukkan oleh Indonesia dan Filipina.

Population *in millions*	*2015*	*2020*	*2030*	*2050*
ASEAN	632	665	721	785
Brunei	0.43	0.45	0.50	0.55
Cambodia	16	17	19	23
Indonesia	256	269	293	321
Laos	7.02	7.65	8.81	10.6
Malaysia	31	33	37	42
Myanmar	54	56	59	59
Philippines	102	110	128	157
Singapore	5.62	6.05	6.58	7.06
Thailand	67	68	68	62
Vietnam	93	97	102	104

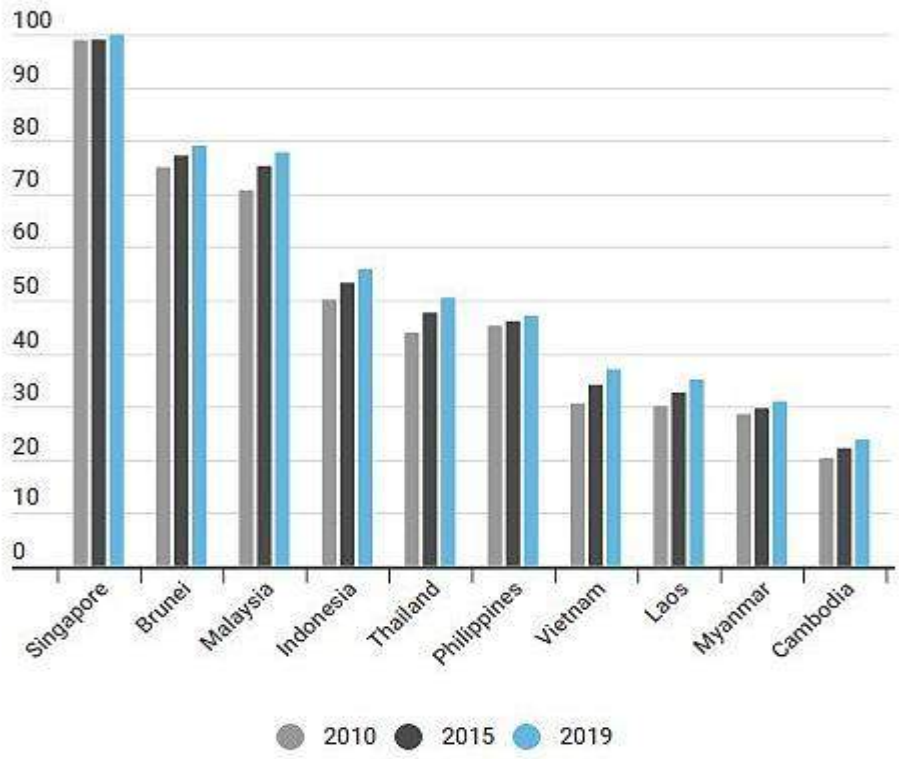
Gambar 3. Pertumbuhan demografi ASEAN
Sumber: Ref. [25]

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Negara-negara ASEAN, secara keseluruhan berada dalam tahap transisi demografis yang lebih maju menuju rasio ketergantungan yang lebih rendah. Disisi lain Cina mendekati akhir kenaikan demografiknya dan akan mengalami defisit demografis. Di banyak negara ASEAN, tingkat kematian dan kesuburan yang rendah, bersama dengan populasi orang dewasa usia kerja yang tumbuh dengan cepat, akan memberikan beberapa peluang untuk pertumbuhan PDB yang luar biasa dalam 20 hingga 30 tahun ke depan. Di Asia Tenggara, tingkat pertumbuhan populasi yang relatif stabil pada kurang dari 1% per tahun melonjak antara Tahun 1950 dan 1990 menjadi lebih dari 2%. Pada tingkat ini, populasi usia kerja di Asia Tenggara akan mencapai 68% dari total populasi di kawasan ini pada Tahun 2025 dan kurang dari 60% pada Tahun 1990. Di samping perubahan ini, rasio ketergantungan telah semakin meningkat dengan cepat ketika ketergantungan kaum muda turun dari 0,77 ke 0,60 [26].

Urbanisasi mengacu pada peningkatan pangsa total populasi yang tinggal di daerah perkotaan, yaitu daerah yang secara administratif didefinisikan sebagai perkotaan, tetapi kenyataannya jauh lebih kompleks. Populasi perkotaan tidak statis, karena migran masuk dan keluar, tinggal dalam waktu yang lebih pendek atau lebih lama, melakukan perjalanan tunggal atau kembali secara teratur. Jika mereka menetap di kota, mereka tidak selalu mendaftar, dan hal ini dapat menyebabkan perbedaan yang signifikan. Menurut Administrasi Metropolitan Bangkok [27], populasi Bangkok adalah 5,7 juta pada 2010, tetapi Kantor Statistik Nasional menghitung 8,2 juta dalam sensus tahun itu [28]. Perbandingan data populasi resmi dan pertumbuhan izin bangunan, lapangan kerja, dan pendaftaran sepeda motor menemukan bahwa populasi Kota Ho Chi Minh pada Tahun 2007 kemungkinan sebesar 8,7 juta dari angka resmi 6,6 juta [29].



Gambar 4. Persentase Kehidupan Populasi Di Lingkungan Urban
Sumber: Worldometers, 2019

Globalisasi dan perdagangan bebas mendorong ekonomi ASEAN dan mereka mendukung kota-kota pesisir. Jadi, pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan populasi hanya terpusat di satu atau dua kota besar per negara seperti, Bangkok, Jakarta, Kota Ho Chi Minh, Kuala Lumpur, dan Manila. Pada Tahun 2015, ASEAN secara resmi memiliki dua kota besar dengan populasi lebih dari 10 juta [30] yaitu Manila (12,9 juta) dan Jakarta (10,3 juta), tetapi wilayah yang dibangun jauh lebih besar dan membentang jauh melampaui batas kota. Sebagian besar populasi "perkotaan" tinggal di luar wilayah perkotaan yang ditentukan secara administratif. Menurut Ref. [31], berdasarkan "area terbangun" diperkirakan populasi Jakarta adalah 31,8 juta dan Manila sebesar 24,3 juta pada 2017.

Kesenjangan yang lebar dalam pembangunan antara berbagai bagian suatu negara tidak diinginkan secara sosial dan politik, dan para politisi dan perencana tata ruang sering kali meminta distribusi yang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

lebih merata. Seruan-seruan semacam itu cenderung bertentangan dengan para ekonom yang berpendapat bahwa demi efisiensi, pasar harus menentukan dimana investasi dan tenaga kerja bergerak, bahkan jika ini memusatkan pertumbuhan ekonomi di satu atau dua kota yang sangat besar [32]. Pengambilan keputusan politik terpusat memperkuat tren ini, karena bisnis di Asia Tenggara lebih suka untuk bertatap muka dengan para pembuat keputusan. Perbedaan mungkin menurun seiring waktu, karena biaya tanah dan tenaga kerja naik lebih cepat di kota-kota besar daripada di kota-kota kecil dan teknologi transportasi dan komunikasi yang canggih mengurangi jarak antar tempat. Di Thailand, pembangunan ekonomi menyebar di luar Bangkok dan sekitarnya, Utara dan Timur Laut, meskipun ini masih merupakan bagian paling miskin di negara ini.

Pada 2019, Asia-Pasifik menjadi populasi perkotaan mayoritas untuk pertama kalinya dalam sejarah. Menurut laporan terbaru dari Perserikatan Bangsa-Bangsa, akan ada 1,2 miliar penduduk kota baru di wilayah ini pada Tahun 2050. Lonjakan tajam penduduk perkotaan ini akan mengubah ekonomi, masyarakat, dan lingkungan regional. Dengan prospek perubahan yang cepat, pembuat kebijakan perlu mulai mengembangkan kapasitas kota untuk ketahanan. Hal-hal seperti manajemen sumber daya dan infrastruktur, risiko bencana, dan ketidaksetaraan dapat secara substansial mengganggu keberlanjutan kota. Namun demikian, potensi pembaruan ekonomi dan sosial tetap ada [33].

Kualitas Udara, Risiko Iklim, dan Degradasi Lingkungan

Akses ke udara bersih adalah penentu utama kesehatan manusia, serta kondisi keseluruhan organisme lain dan proses lingkungan. Polusi udara luar ruang adalah produk sampingan umum dari produksi industri, transportasi bermotor, dan pada kenyataannya proses sentral yang menopang pertumbuhan ekonomi global selama sekitar satu abad terakhir. Di sisi lain, polusi udara dalam ruangan sering dikaitkan dengan kekurangan pembangunan. Tidak adanya alternatif yang terjangkau mendorong pembakaran bahan bakar padat seperti kotoran dan kayu untuk energi, meskipun memiliki efek berbahaya. Polusi udara merupakan masalah utama yang terjadi di kota-kota berkembang di Asia yang menyebabkan penyakit pernapasan hingga kematian. Sifat luas dari masalah ini merongrong produktivitas dan pendapatan angkatan kerja, yang menyebabkan banyak kerugian ekonomi. Sebagai contoh, sebuah studi terbaru memperkirakan bahwa pada Tahun 2005 kesejahteraan mengalami penurunan terkait dengan polusi udara di Tiongkok yaitu sekitar $151 miliar (dolar 2010) [34].

Polusi udara umumnya melebihi tingkat aman di kota-kota Asia yang sedang berkembang. Emisi gas beracun dan bahan partikulat dari kendaraan bermotor, industri, dan penyebab lain menjadi pemicu meningkatnya polusi udara di perkotaan yang dapat meningkatkan risiko penyakit pernapasan dan kanker [35]. Secara global, diperkirakan 65% kematian akibat polusi udara perkotaan terjadi di Asia [36]. Pada tingkat agregat ada peningkatan yang signifikan dalam beberapa waktu terakhir [37], tetapi tanpa upaya mitigasi yang diperbarui, seperti standar emisi yang lebih ketat dan program pemantauan yang lebih kuat, situasinya di seluruh wilayah dapat memburuk secara substansial.

Penurunan kualitas udara di Asia Tenggara, yang disebabkan oleh kebakaran hutan di sebagian wilayah Indonesia dan sub-wilayah Mekong, telah menimbulkan pertanyaan tentang efektivitas perjanjian ASEAN untuk mencegah polusi kabut asap. Perjanjian ASEAN tentang Polusi Asap Lintas Batas adalah perjanjian lingkungan yang mengikat secara hukum yang diterapkan untuk semua 10 negara anggota ASEAN, yang ditandatangani pada Tahun 2002, untuk mengurangi polusi kabut asap terutama melalui kegiatan pemantauan dan pencegahan. Indonesia adalah negara terakhir yang meratifikasi Perjanjian ASEAN tentang Polusi Asap Lintas Batas (AATHP) dan menyerahkan dokumen ratifikasi ke Sekretariat ASEAN pada Januari 2015 [38].

Menurut Indeks Risiko Iklim Global, empat dari sepuluh negara di dunia yang paling terpengaruh oleh perubahan iklim terletak di Asia Tenggara yaitu Myanmar, Filipina, Thailand, dan Vietnam. Negara tetangga Bangladesh juga berada di peringkat sepuluh besar [39]. Demikian pula, Indeks Kerentanan Iklim mengklasifikasikan populasi dan ekosistem kawasan sebagai “sangat” atau “sangat” rentan terhadap perubahan iklim[40]. Geografi khusus Asia Tenggara membuat kemungkinan bahwa perubahan iklim akan memengaruhi hubungan antar negara. Daerah ini memiliki perbatasan internasional yang rumit, seperti diantaranya Thailand dan tetangganya, atau di pulau Kalimantan / Kalimantan, yang terbagi antara Brunei Darussalam, Indonesia, dan Malaysia. Indonesia terdiri dari lebih dari 17.000 pulau dan Filipina memiliki lebih dari 7000 pulau. Saham Myanmar langsung perbatasan darat dengan kekuatan besar Cina dan India, Laos dan Vietnam berbatasan dengan Cina, dan Brunei Darussalam, Indonesia, Malaysia, dan Filipina semua memiliki perbatasan laut dengan Cina. Kompleksitas geografis tersebut menimbulkan banyak risiko perkembangan terkait iklim meluas dari satu negara ke negara lain, tetapi juga peluang untuk negara dalam mengoordinasikan mitigasi iklim mereka dan langkah-langkah adaptasi [41]. Indeks

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Resiko Iklim Global memberi peringkat kerentanan masing-masing negara ASEAN terhadap perubahan iklim seperti yang terlihat pada **Tabel 4.**

Tabel 4. Peringkat resiko iklim di negara ASEAN

Myanmar
Philippines
Vietnam
Thailand
Cambodia
Indonesia
Laos
Malaysia
Brunei Darussalam
Singapore

Sumber: Ref. [39]

Akses, Keterjangkauan Dan Keamanan Energi

Negara-negara ASEAN memiliki tantangan bersama mengenai keamanan energi, yaitu memenuhi permintaan energi yang meningkat dengan cara yang aman, terjangkau, dan berkelanjutan. Dengan memperluas model gravitasi dan spesifikasi model dapat memperkenalkan serangkaian variabel kunci untuk menangkap penyebaran energi terbarukan, efisiensi energi, dan tingkat integrasi ekonomi regional. Tiga langkah penting dalam tantangan ini yaitu memastikan pasokan energi terbarukan, peningkatan efisiensi energi, dan integrasi ekonomi yang lebih kuat. Dengan menggunakan data tahunan di 440 negara selama periode 1995-2016 yang menunjukkan peran pasokan energi terbarukan, peningkatan efisiensi energi, dan integrasi ekonomi dalam perdagangan energi bilateral. Berdasarkan temuan tersebut, rekomendasi kebijakan disediakan untuk membantu pengambil keputusan ASEAN menentukan kebijakan keamanan energi di masa depan [42].

Asia Tenggara adalah kawasan yang sangat berpotensi sebagai energi global, dengan kecepatan permintaan energi tumbuh dua kali lipat dari Cina. Masa sekarang hingga 2040, permintaan energi di kawasan itu diperkirakan akan tumbuh hampir dua pertiga, yang berkontribusi terhadap 12% dari permintaan global. Pada saat yang sama, ekonomi regional akan lebih dari tiga kali lipat, dan populasi akan naik seperlima, dengan populasi perkotaan saja tumbuh lebih dari 150 juta orang. Ada perbedaan besar dalam situasi dan tren energi diantara sepuluh negara ASEAN. Brunei Darussalam ukurannya serupa dengan Luksemburg dalam hal populasi (kurang dari 0,5 juta) dan penggunaan energi per kapita, yang melebihi rata-rata negara-negara anggota IEA sebesar 45%, sementara Kamboja, Myanmar, dan Filipina masih dibawah seperdelapan dari rata-rata IEA. Namun secara bersamaan, penggunaan energi per kapita kini telah mencapai sekitar setengah dari rata-rata dunia, menunjukkan ruang lingkup yang besar untuk pertumbuhan permintaan energi di masa depan [43].

Indonesia memiliki permintaan energi tertinggi, terhitung lebih dari 35% dari total wilayah, diikuti oleh Thailand. Bahan bakar fosil mendominasi energi primer di kawasan tersebut, terhitung hampir 75% dari total pada 2016. Pangsa ini diperkirakan akan tetap stabil hingga 2040. Namun, Asia Tenggara akan berubah dari daerah ekspor bersih menjadi daerah yang akan perlu mengimpor untuk memenuhi permintaan energinya yang terus meningkat. Permintaan minyak akan naik sekitar 40% dan konsumsi gas alam hampir 60%, sementara produksi minyak turun sepertiga dan gas produksi hampir tetap level. Batubara sendiri menyumbang hampir 40% dari permintaan energi pertumbuhan dan menyusul gas dalam campuran listrik. Energi rendah karbon juga tumbuh dengan kuat. Pangsa energi terbarukan akan hampir berlipat ganda karena penyebarannya membantu memenuhi kenaikan listrik menuntut dan memperluas akses energi [43].

Masih terbatasnya akses penggunaan listrik dan bahan bakar memasak modern merupakan bentuk dari kemiskinan energi. Akses ke energi modern membutuhkan teknologi dan instrumen dan sumber pembiayaan yang lebih baik. Model kemitraan publik-swasta yang berpihak pada masyarakat miskin adalah motor penggerak yang berguna untuk meningkatkan modal investasi. Lima faktor tampaknya diperlukan dalam kombinasi untuk program dan kemitraan untuk berhasil mempromosikan akses energi dan memberantas kemiskinan energi yaitu memilih teknologi yang tepat, mempromosikan partisipasi masyarakat, menekankan pemeliharaan dan layanan, menggabungkan layanan dengan pendapatan, dan membangun kapasitas lokal [44].

Wilayah ASEAN diberkahi dengan sumber daya energi konvensional, yaitu minyak, gas, dan batubara. Namun sumber daya tersebut tidak merata diantara negara-negara dan kadang-kadang terletak

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

jauh dari pusat-pusat permintaan. Berdasarkan Ref. [45], pada Tahun 2015, wilayah ASEAN menghasilkan total 2,4 juta barel minyak per hari dan produksi minyak diperkirakan akan menurun pada tingkat 1,4% per tahun dari 2015 hingga 2040, yang menghasilkan 1,6 juta barel produksi minyak per hari pada Tahun 2040. Tren penurunan ini terutama disebabkan oleh ladang minyak yang berada dalam fase penurunan. Adapun produksi gas alami wilayah ASEAN telah menghasilkan total 205 miliar meter kubik gas alam pada Tahun 2015 dan volume itu diperkirakan akan menurun pada tingkat 0,6% per tahun mencapai 177 miliar meter kubik pada Tahun 2040. Perlu dicatat bahwa tren produksi gas alam bervariasi diantara negara-negara anggota, misalnya produksi gas alam tahunan di Brunei Darusssalam diperkirakan akan stabil sedangkan produksi di Indonesia diperkirakan akan menghadapi tren yang sedikit menurun dan produksi gas alam Vietnam diharapkan meningkat. Akhirnya, produksi batubara di kawasan ASEAN diperkirakan akan meningkat pada Tahun 2040, sebesar 487 juta ton dari 434 juta ton batubara pada Tahun 2015. Mayoritas produksi batubara berasal dari Indonesia.

Terlepas dari melimpahnya bahan bakar fosil konvensional, wilayah ini juga relatif diberkahi dengan sumber energi terbarukan terutama dalam hidro dan matahari serta jenis energi terbarukan lainnya, meskipun tingkat dan jenis energi terbarukan mungkin berbeda dari satu negara ke negara lain. Wilayah ini telah menetapkan target untuk berkontribusi 23% dari pasokan energi primernya dari energi terbarukan pada Tahun 2025 [7]. Total permintaan energi final, total pasokan energi primer, dan total produksi listrik oleh negara-negara anggota ASEAN antara 2015 dan 2050 dapat dilihat pada **Tabel 5.**

Tabel 5. Total permintaan energi, total pasokan energi primer, dan total produksi listrik

	Total keseluruhan kebutuhan energi (Mtoe)				Total Pasokan Energi Primer (Mtoe)				Produksi Listrik Total (TWh)			
	2015	2030	2040	2050	2015	2030	2040	2050	2015	2030	2040	2050
Indonesia	163	245	314	382	225	394	511	619	234	520	762	1035
Thailand	98	122	144	168	135	174	210	245	178	260	341	422
Vietnam	58	96	128	167	74	128	178	240	153	320	487	716
Philippines	30	58	82	114	52	97	132	175	82	186	287	434
Malaysia	52	71	82	92	86	120	142	158	150	250	321	388
Myanmar	18	31	43	59	20	35	50	69	16	66	103	149
Other ASEAN	17	22	24	24	29	34	36	38	55	68	73	76

Sumber: IEEJ, 2018 [46]

Tabel 5 menunjukkan bahwa pada Tahun 2050, Indonesia, Thailand, dan Vietnam memiliki total permintaan energi final tertinggi dengan 382Mtoe, 168Mtoe, dan 167Mtoe, masing-masing diikuti oleh Filipina, Malaysia, dan Myanmar masing-masing dengan 114Mtoe, 92Mtoe, dan 59Mtoe. Secara keseluruhan, negara-negara anggota ASEAN menunjukkan peningkatan permintaan energi final antara 2015 dan 2050. Dalam hal pembangkit listrik, pada 2015 Indonesia adalah produsen listrik terbesar di kawasan ini dengan total listrik yang dihasilkan adalah 234TWh dan diproyeksikan akan meningkat lebih dari empat kali lipat pada Tahun 2050 hingga 1.035TWh. Penghasil listrik terbesar kedua di wilayah ini adalah Thailand, diikuti oleh Vietnam, Malaysia, Filipina, Myanmar, dan negara ASEAN lainnya. Impor energi bersih oleh masing-masing negara anggota ASEAN antara 2010 dan 2030 dapat dilihat pada **Tabel 6**. Negara dengan impor bersih negatif mencerminkan bahwa negara tersebut merupakan negara pengekspor neto. Indikator ini membantu menentukan kemungkinan mengamankan pasokan energi di kawasan melalui interkoneksi infrastruktur energi yang ada dan yang akan datang.

Tabel 6. Impor batubara, migas, dan listrik

	Impor Batubara Bersih (Mtoe)			Impor Minyak Bersih (Mtoe)			Impor Gas Alam Bersih (Mtoe)			Impor Listrik Bersih (Mtoe)		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Brunei Darussalam	0	0	0	7.54	-6.66	-5.09	-7.99	-7.1	-5.6	0	0	0
Indonesia	-142	-196	-279	19.28	53.63	98.74	-27.06	-6.5	36.2	0	0	0
Thailand	10.02	14.95	17.56	34.5	49.32	69.74	4.16	11.2	19.3	0.49	2.63	3.85
Malaysia	9.37	14.05	11.99	-7.7	11.45	25.16	-21.81	-36	-32	-0	-0	-0.02
Philippines	2.87	7.74	18.59	13.72	17.1	25.14	0	0	0	0	0	0
Singapore	0.12	0.63	0.49	56.8	72.15	85.13	7.82	8.91	9.5	0	0	0
Vietnam	-7.7	-4.03	7.45	-2.96	6.48	23.09	0.22	-1.7	9.34	0.48	0.69	0.69

Sumber: APERC, 2013 [47]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Berdasarkan **Tabel 6**, Indonesia tetap menjadi eksportir batubara utama di wilayah ini antara 2010 dan 2030. Di sisi lain, Thailand, Malaysia, Filipina, dan Singapura adalah importir bersih batubara hingga 2030. Brunei Darussalam diproyeksikan akan tetap sebagai eksportir minyak netto antara 2010 dan 2030 dan negara-negara anggota ASEAN lainnya tetap sebagai importir minyak bersih pada 2030. Malaysia dan Vietnam akan mengubah posisinya dari eksportir minyak bersih pada 2010 menjadi importir minyak bersih pada 2020. Dalam hal gas alam, Brunei Darussalam dan Malaysia diperkirakan akan tetap sebagai eksportir bersih antara 2010 dan 2030. Namun, Indonesia dan Vietnam diperkirakan akan mengubah posisi mereka dari eksportir bersih gas alam pada Tahun 2020 menjadi importir bersih gas alam pada Tahun 2030. Thailand dan Singapura diperkirakan akan tetap sebagai importir gas alam. Pada impor listrik bersih, Thailand dan Vietnam diproyeksikan tetap sebagai importir bersih listrik hingga Tahun 2030. Di sisi lain, Malaysia akan tetap sebagai eksportir listrik bersih yang tidak signifikan [48].

Investasi dan Pembiayaan

Ekonomi digital ASEAN telah berkembang pesat, didukung oleh jaringan digital yang berkembang pesat dan jumlah pengguna ponsel dan internet. ASEAN memiliki jumlah pengguna internet terbesar ketiga di dunia setelah Cina dan India. Partisipasi aktif wilayah ini dalam pengembangan digital dan promosi investasi dalam infrastruktur teknologi informasi dan komunikasi (TIK) adalah pendorong utama pertumbuhan ini. Ekonomi internet (transaksi yang dilakukan secara online) diperkirakan bernilai $50 miliar pada Tahun 2017 dan diharapkan menjadi ekonomi $200 miliar pada Tahun 2025. Namun, untuk memenuhi potensi ini, diperlukan kebijakan dan kerangka kerja regulasi yang tepat untuk mendorong partisipasi dan investasi lebih lanjut oleh sektor swasta. Hal ini juga membutuhkan penanganan berupa tantangan dan potensi kelemahan terkait dengan pertumbuhan ekonomi digital yang cepat [49].

Meningkatkan konektivitas digital dan investasi ke dalam ruang digital ASEAN untuk mendukung basis konsumen yang berkembang di kawasan ini, dapat meningkatkan potensi rantai pasokan kawasan dan meningkatkan tarikan gravitasi untuk perusahaan multi-nasional dan perusahaan. Masterplan tentang Konektivitas ASEAN 2025 telah menyatakan hal tersebut $220 miliar hingga $650 miliar dalam dampak ekonomi tahunan tambahan di ASEAN pada Tahun 2030 dapat disuntikkan ke ASEAN melalui teknologi baru dan ekonomi internet [50]. Potensinya dipahami dengan jelas oleh perusahaan-perusahaan AS, Cina, dan Jepang yang berinvestasi dalam teknologi informasi dan komunikasi (TIK) selama dua tahun terakhir. Tetapi kemajuan digital ASEAN masih beragam [51]. Misalnya, di lima negara ASEAN, *E-Commerce* mewakili dibawah 3% atau kurang dari total penjualan ritel, dibandingkan dengan Cina dengan 23% [52]. Namun ada titik terang. Anggota ASEAN menandatangani Perjanjian ASEAN tentang *E-Commerce* pada bulan November untuk pertama kali di dunia [53]. Namun, mengubah perjanjian menjadi bukti fisik seperti infrastruktur pembayaran elektronik regional atau memungkinkan pergerakan bisnis lintas batas, kolaborasi keamanan *cyber* untuk menanamkan kepercayaan konsumen dan pemerintah, dan pengembangan rezim akses pasar sangat penting.

Daya tarik Perhimpunan Bangsa Bangsa Asia Tenggara (ASEAN) sebagai kawasan ekonomi modern yang lebih terintegrasi dapat dikaitkan dengan banyak faktor termasuk eksekusi yang tak kenal lelah dan datang bersama berbagai kebijakannya, memperdalam kerja sama Negara Anggota ASEAN (AMS), keterbukaan untuk berdialog, dan perbaikan menyeluruh berkelanjutan dalam kemudahan melakukan bisnis [54] yang mewakili kebijakan dalam praktik pasar. Daya tarik paling baik dibuktikan dengan pertumbuhan FDI yang stabil ke ASEAN yang mencapai ketinggian $137 miliar pada Tahun 2017, bagian yang mengesankan 20% dari semua FDI global untuk pengembangan ekonomi. FDI juga beragam dari manufaktur menjadi layanan ritel dan nilai tambah baru industri seperti kesehatan, R&D, dan *E-Commerce* [55]. Kebijakan dan inisiatif pertumbuhan baru untuk diperhatikan pada 2018 dan awal 2019, kebijakan berwawasan ke depan baru terus diperkenalkan yang sangat relevan dengan komunitas global peserta ASEAN. Misalnya, kerangka kerja ASEAN tingkat tinggi tentang *Elektronic Commerce* [55] setuju untuk mengenali dan mendorong AMS kerjasama untuk membangun *E-Commerce* lintas batasnya fitur termasuk perdagangan tanpa kertas, interoperable otentikasi elektronik dan tanda tangan elektronik untuk meminimalkan hambatan terhadap arus informasi. Itu diikuti oleh survei tata kelola data ASEAN untuk sektor swasta ke mengkalibrasi kebijakan terkait data. *Letter of Intent* telah ditandatangani antara bank sentral Thailand, Malaysia, Indonesia, dan Filipina untuk memulai diskusi tentang suatu pembentukan kerangka kerja penyelesaian mata uang lokal yang akan memfasilitasi *E-Commerce* lintas batas yaitu diantisipasi pada akhir 2019 [56]. Sebagai langkah awal, pusat bank juga bekerja pada pembayaran instan lintas batas dengan hubungan langsung pertama antara Thailand dan Singapura diharapkan pada Tahun 2020.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Kebijakan Energi, Harga, dan Regulasi

Energi memegang peran sentral dan posisi strategis dalam sektor sosial, ekonomi, budaya, dan politik yang menggerakkan roda peradaban dengan menopang semua kebutuhan masyarakat. Energi dapat dimanfaatkan untuk kegiatan yang berkaitan dengan pembangkit listrik, pendinginan, dan pemanasan [57,58]. Energi juga digunakan untuk berbagai kebutuhan rumah tangga, bisnis dan industri pendukung, dan perdagangan komersial. Peran energi dalam memenuhi kebutuhan rumah tangga, bisnis, dan industri, serta barang-barang yang diperdagangkan, mendorong penggunaannya dalam skala besar. Dengan demikian, meningkatnya kebutuhan komunitas energi membutuhkan pasokan energi yang tidak terbatas dan berlimpah. Namun, peningkatan kebutuhan masyarakat tidak diimbangi dengan pasokan sumber daya energi yang terbatas, karena telah dieksploitasi secara masif untuk memenuhi kebutuhan manusia.

Saat ini, negara-negara Asia Tenggara telah mengalami kesenjangan yang signifikan antara jumlah produksi energi dan konsumsi saat dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya. Pemerintah negara-negara Asia Tenggara mempromosikan untuk mengembangkan sumber energi baru dan terbarukan karena wilayah tersebut kaya akan sumber energi yang berlimpah [59][60][61]. Saat ini, teknologi energi terbarukan telah dikenal secara luas sebagai alat untuk membatasi emisi gas rumah kaca dan memberikan solusi terintegrasi di sebagian besar negara [62][63]. Energi terbarukan dianggap sebagai energi yang ramah lingkungan, lebih bersih, ramah, dan lebih terjangkau [64][65][66]. Hal ini juga diduga dapat mendorong pertumbuhan ekonomi bangsa. Populasi yang terus meningkat, pertumbuhan ekonomi yang cepat dan sumber energi yang melimpah, mendorong adopsi energi terbarukan di negara-negara Asia Tenggara [67][68][69][70]. Beberapa negara di Asia Tenggara kini berupaya meningkatkan porsi sumber energi terbarukan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil [71][72][73]. Kesenjangan yang lebih signifikan antara potensi pasokan dan permintaan energi dapat menghambat pembangunan ekonomi dan sosial di Asia Tenggara [74][75][16][76]. Energi terbarukan adalah sumber listrik yang tidak dapat dihindari untuk mengurangi emisi gas rumah kaca di wilayah tersebut [77][78][76][79].

Kebijakan untuk mempromosikan kepercayaan pada internet dan kegiatan digital sangat penting untuk meningkatkan partisipasi dalam ekonomi digital. Ini termasuk kebijakan dan peraturan tentang transaksi elektronik, arus data lintas batas, keamanan siber, privasi data, dan konsumen perlindungan. Sementara undang-undang tentang transaksi elektronik telah diberlakukan di sekitar kawasan Asia Tenggara, sebagian besar kebijakan dan peraturan data belum dikembangkan. Dalam beberapa kasus, mereka menimbulkan resiko potensial terhadap pertumbuhan ekonomi digital. Sebagai contoh, negara-negara yang mengadopsi kebijakan yang mengambil pendekatan menyeluruh yang membutuhkan pelokalan data didalam batas-batas nasional membatasi potensi perusahaan mereka sendiri untuk memanfaatkan teknologi digital sebagai kendaraan untuk pertumbuhan, dan resiko yang memicu pendekatan yang hampir sama terhadap kebijakan data di negara lain. Jika pemerintah mendefinisikan kebutuhan untuk melokalkan data, itu harus disyaratkan hanya dalam situasi yang terdefinisi dengan jelas, berdasarkan klasifikasi jenis dan penggunaan data, seperti nasional keamanan atau data kesehatan pribadi [80].

Kebijakan energi di Malaysia berfokus pada konservasi lingkungan, keberlanjutan, konsumsi sumber daya yang efektif, dan penyediaan layanan berkualitas tinggi bagi semua pemangku kepentingan [81]. Pembentukan kebijakan energi terbarukan di Malaysia telah melihat banyak upaya yang dilakukan oleh pemerintah untuk mengembangkan dan mempromosikan penggunaan sumber daya terbarukan, sementara juga terus mensubsidi harga produk minyak bumi terlepas dari kenaikan global harga mereka. Pada saat yang sama, program energi terbarukan skala kecil sedang dipromosikan. Sedangkan di Indonesia, konsumsi energi diperkirakan meningkat tiga kali lipat selama periode 2010-2030. Produksi energi tradisional dari bahan bakar fosil telah gagal mengimbangi perkembangan dan pertumbuhan. Untuk memastikan pasokan energi yang berkelanjutan, pemerintah memperkenalkan kebijakan untuk mengamankan energi untuk masa depan [82]. Salah satu faktor yang memiliki pengaruh besar pada dukungan energi non-fosil di Indonesia terkait dengan tata kelola multi-level. Kurangnya kesadaran akan niat nasional di antara otoritas daerah, bersama dengan konsultasi yang buruk dalam proses pembuatan kebijakan di antara para pembuat keputusan baik secara vertikal dan horizontal menyebabkan kesalahpahaman tentang keadaan lokal di antara para pembuat kebijakan nasional [83]. Faktor-faktor ini mewakili hambatan utama untuk pengembangan energi terbarukan. Ketika tata kelola multi-level mempromosikan energi terbarukan menjadi jauh lebih rumit tergantung pada sumber energi tertentu. Diferensiasi vertikal sejalan dengan proses pengambilan keputusan perlu ditambahkan pada fragmentasi tanggung jawab horisontal terkait regulasi energi [84] untuk memahami hambatan dan potensi dukungan energi terbarukan di Indonesia.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 7. Kebijakan lanskap Asia Tenggara

Negara	Kebijakan Lanskap
Malaysia	Target Energi Terbarukan, FiTs, RPS, kewajiban biofuel, insentif fiskal, pembiayaan publik
Indonesia	Target Energi Terbarukan, FiTs, RPS, kewajiban biofuel, intensif fiskal, pembiayaan publik, pelelangan umum
Singapura	Pembiayaan publik, pelelangan umum, pengukuran bersih
Thailand	Target Energi Terbarukan, FiTs, kewajiban biofuel, insentif fiskal, pembiayaan publik
Filipina	Target Energi Terbarukan, FiTs, RPS, kewajiban biofuel, insentif fiskal, pembiayaan publik, pelelangan umum, pengukuran bersih
Vietnam	Target Energi Terbarukan, REC yang dapat diperdagangkan, insentif fiskal
Laos	N/A
Kamboja	N/A
Brunei Darussalam	N/A
Myanmar	N/A

Sumber: [9]

ASEAN diberkahi dengan sumber daya energi terbarukan yang berlimpah seperti energi angin, biomassa, tenaga air, panas bumi, energi surya dan lainnya. Meskipun memiliki potensi besar, pemanfaatannya saat ini relatif sedikit dibandingkan dengan sumber daya energi fosil dan mineral. Secara global, pengembangan energi angin adalah salah satu yang tercepat diantara sumber daya energi terbarukan. Kapasitas angin telah berlipat dua setiap 3 tahun sejak dekade terakhir sementara biaya teknologi telah menurun. Biaya saat ini adalah $ 850-950 / kW untuk onshore dan $1.100-1.200 / kW untuk lepas pantai [85]. Negara-negara ASEAN dengan rezim angin yang dapat dieksploitasi secara komersial adalah Kamboja, Indonesia, Laos, Filipina, Thailand, dan Vietnam. Pengukuran angin, studi proyek dan pengembangan secara aktif dilakukan di Filipina, Vietnam, dan Thailand. Meskipun potensi energi angin sangat besar, pemanfaatan sumber daya angin relatif kecil. ASEAN Pricing Standardization bertujuan untuk mempromosikan paritas harga perangkat lunak dan perangkat keras TI yang dijual kepada perusahaan di berbagai negara anggota ASEAN. Inisiatif Standardisasi Harga ASEAN selaras dengan tujuan Cetak Biru AEC 2025, untuk menciptakan 'Ekonomi Yang Sangat Terintegrasi dan Kohesif' dan 'A Global ASEAN'. Dengan mempromosikan paritas ASEAN dimulai dengan harga barang dan jasa, untuk memperkuat konsep identitas ASEAN yang harmonis di kancah internasional [86].

Menurut laporan IMF (2013) tentang subsidi energi, sebagian besar anggota ASEAN menyediakan energi subsidi. Laporan IMF juga menunjukkan bahwa dalam hal subsidi sebelum pajak, Indonesia memberikan subsidi tertinggi untuk produk minyak bumi (2,58 persen dari PDB) sementara Thailand memberikan subsidi tertinggi untuk listrik dan batubara (1,64 persen dan 0,25 persen dari PDB), masing-masing) dan Malaysia memberikan subsidi tertinggi untuk gas alam (0,31 persen dari PDB) [87]. Amandemen hukum nasional kemungkinan akan menjadi masalah rumit di antara anggota ASEAN; pada awalnya, ketika harmonisasi undang-undang sedang dikerjakan, potensi keuntungan dari perdagangan energi dan investasi masih harus dieksplorasi sambil mengakui batas-batas yang ditetapkan oleh hukum nasional. Berkenaan dengan reformasi peraturan untuk membantu liberalisasi perdagangan dan investasi, alternatifnya bisa dilanjutkan dengan tujuan bersama yaitu restrukturisasi pasar dan kompetisi yang dipimpin swasta atau untuk melanjutkan meskipun ada industri yang terintegrasi secara vertikal dan monopoli milik negara. Reformasi peraturan merupakan tantangan serius, mengingat beberapa anggota ASEAN bahkan tidak memiliki regulator independen (**Tabel 8**) [88].

Singapura pertama kali merilis panduan e-pajak tentang kerangka Pelaporan Negara demi Negara (CbCR) untuk perusahaan multinasional yang berkantor pusat di Singapura pada Oktober 2016. Indonesia merilis peraturan Menteri Keuangan PMK 213 pada Desember 2016, memberikan tenggat waktu yang sangat ketat bagi wajib pajak untuk mematuhi dengan peraturan baru tersebut. Malaysia dan Vietnam segera merilis pedoman mereka sendiri pada awal 2017. Kamboja memperkenalkan aturan TP pada Oktober 2017. Pada Januari 2018, Kabinet Thailand menyetujui Rancangan Undang-Undang penentuan harga transfer yang akan menambahkan ketentuan TP spesifik ke Kode Pendapatan, yang akan berlaku efektif untuk tahun-tahun akuntansi yang dimulai pada atau setelah 1 Januari 2017. Dengan beberapa perubahan legislatif diberlakukan pada Februari 2018, Singapura sekarang sepenuhnya berlangganan Tindakan 13 dan telah menerbitkan pedoman TP yang diperbarui, sepenuhnya mengadopsi Tindakan 8 hingga 10 tentang menyelaraskan hasil-hasil TP dengan penciptaan nilai [90].

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Tabel 8. Situasi regulasi energi anggota ASEAN

Negara	Regulator	Independen	Struktur
Brunei Darussalam	Departemen Pelayanan Listrik	Tidak independen; di bawah Kementerian Energi	Konsumen Tunggal
Kamboja	Otoritas Listrik Kamboja	Independen; didirikan pada tahun 2001	Konsumen Tunggal
Indonesia	Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral	Tidak independen; di bawah Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral	Konsumen Tunggal
Laos	Departemen Kelistrikan	Tidak independen; di bawah Kementerian Energi dan Pertambangan	Konsumen Tunggal
Malaysia	Komisi Energi	Independen; didirikan pada tahun 2001	Konsumen Tunggal
Myanmar	Kementerian Tenaga Listrik 1 dan 2	Tidak independen; di bawah Kementerian Tenaga Listrik 1 dan 2	Konsumen Tunggal
Filipina	Komisi Pengaturan Energi	Independen; didirikan pada 2001b	*Price Pool*
Singapura	Otoritas Pasar Energi	Tidak independen; di bawah Kementerian Perdagangan dan Industri	*Price Pool*
Thailand	Komisi Pengaturan Energi	Independen; didirikan pada tahun 2007	Konsumen Tunggal
Vietnam	Otoritas Pengaturan Ketenagalistrikan	Tidak independen; di bawah Kementerian Perindustrian	Cost-based Pool

Sumber: Ref. [89]

Proyek Ekonomi

Revolusi digital telah membawa banyak manfaat bagi Asia Tenggara, kawasan ini memiliki peluang unik untuk mencapai kemajuan yang lebih cepat dengan memperkuat fondasi ekonomi digitalnya yang terus tumbuh. Setiap sektor ekonomi di negara-negara ASEAN dapat berbuat lebih banyak untuk menggunakan teknologi digital dan model bisnis yang lebih cerdas. Untuk membantu sektor swasta, pemerintah juga perlu mengubah diri dalam menggunakan teknologi seperti analisis data dan sistem intelijen, mengembangkan platform digital, dan menyelaraskan pendekatan dengan prosedur pengaturan khusus untuk keamanan siber, identitas digital, dan manajemen data [91].

Salah satu cara bagi pemerintah untuk meningkatkan ekonomi adalah dengan memberikan peluang kepada investor dalam mengembangkan energi terbarukan [92][93]. Pemerintah negara-negara Asia Tenggara diharapkan dapat mengatasi masalah kekurangan energi dengan merumuskan kebijakan energi yang tepat. Akses ke energi terbarukan yang terlokalisasi dapat secara ekstensif meningkatkan kondisi ekonomi dengan cara memberdayakan masyarakat dan kelompok untuk mewujudkan kontrol atas pasokan energi, mengurangi harga energi, dan meningkatkan/menciptakan lapangan pekerjaan. Keuntungan finansial dari sumber listrik lokal yang berkelanjutan di daerah pedesaan, khususnya di antara orang miskin dan pulau-pulau terpencil di Asia Tenggara harus dinilai. Ada indikasi yang meningkat bahwa solusi energi terbarukan mengurangi penggunaan bahan bakar dan memfasilitasi penciptaan pendapatan dan penciptaan lapangan kerja, baik dalam rantai pasokan listrik terbarukan.

Sumber energi terbarukan terutama meliputi biomassa, teknologi limbah menjadi energi, angin, matahari, aliran sungai, sumber tenaga air yang menyumbat, lautan, sistem panas bumi dan hibrida. Lonjakan energi terbarukan saat ini sebagian besar disebabkan oleh penyebaran panel surya di Cina dan di seluruh dunia. Ini tumbuh 50 persen menjadi sekitar 74 gigawatt, menurut Badan Energi Internasional (IEA) [4]. Dengan perkiraan total permintaan energi mereka akan tumbuh hampir dua pertiga selama dua dekade berikutnya, sepuluh negara dari Perhimpunan Bangsa Bangsa Asia Tenggara (ASEAN) akan menjadi pengubah permainan yang signifikan bagi lanskap energi global. Wilayah ini diproyeksikan menjadi ekonomi terbesar keempat di dunia pada Tahun 2030. Populasi diperkirakan akan meningkat lebih dari 10% menjadi 690 juta pada Tahun 2020. Energi sangat penting untuk pertumbuhan ekonomi seperti itu. Investasi dalam kapasitas pembangkit listrik dan infrastruktur akan diperlukan untuk memenuhi permintaan energi ASEAN, yang telah tumbuh sebesar 60% di masa lalu 15 tahun. Badan Energi Internasional (IEA) memperkirakan bahwa investasi akan berlanjut tumbuh dua pertiga lagi pada

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Tahun 2040 [85]. Studi ini berfokus pada kawasan ASEAN untuk mengembangkan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana dan untuk sejauh mana tiga pilar memperkuat perdagangan energi regional, memastikan investasi masuk pasokan energi terbarukan, dan meningkatkan efisiensi energi dapat membantu memperkuat energi keamanan di negara-negara berkembang ini.

ASEAN adalah pasar Internet dengan pertumbuhan tercepat di dunia. Dengan 125.000 pengguna baru masuk ke Internet setiap hari, ekonomi digital ASEAN diproyeksikan akan tumbuh secara signifikan, menambahkan sekitar $ 1 triliun untuk PDB regional selama sepuluh tahun ke depan. Tetapi banyak hambatan besar menghalangi jalannya potensi ini. ASEAN telah menetapkan langkah-langkah kebijakan dan kerangka kerja penting, termasuk Cetak Biru AEC 2025, Masterplan tentang Konektivitas ASEAN 2025, dan Perjanjian Kerangka Kerja e-ASEAN, untuk mengatasi hambatan ini. Namun, tujuan ambisius ini akan menuntut penelitian terperinci, pembuatan kebijakan visioner, dan penerimaan substansial dari para pemangku kepentingan regional [6].

4. Kesimpulan

Energi terbarukan merupakan solusi pragmatis yang harus dikembangkan di kawasan ASEAN. Dimana Negara-negara ASEAN menghadapi sebuah tantangan terbesar untuk memenuhi kebutuhan dasar masyarakat ASEAN. Seiring dengan pertambahan jumlah populasi yang terus meningkat khususnya di daerah perkotaan (urban) menyebabkan permintaan energi yang juga meningkat. Namun dalam pemenuhan permintaan energi, Negara-negara ASEAN tetap harus memperhatikan pengembangan energi yang aman, terjangkau, dan berkelanjutan. Studi ini berfokus pada pengembangan pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh tiga pilar dalam memperkuat perdagangan energi regional, memastikan investasi pasokan energi terbarukan, dan meningkatkan efisiensi energi yang dapat membantu dalam memperkuat energi keamanan di negara-negara berkembang.

5. Referensi

[1] Asia Pacific Review Trans-Asian pipe, "Building the TransAsean gas pipeline," Asia Pacific Review, 2003.
[2] R. Zissler, "Renewable Energy to Replace Coal Power in Southeast Asia October 2019 Pragmatism to Deliver a Sustainable Bright Future," 2019.
[3] S.M. Shafie, T.M.I. Mahlia, H.H. Masjuki, A. Andriyana, "Current energy usage and sustainable energy in Malaysia: a review Renew Sust Energ Rev," 15, pp. 4370-4377, 2015
[4] International Energy Agency (IEA), Southeast Asia Energy Outlook, 2019.
[5] ERIA, Energy diakses pada Tanggal 23 Februari 2020 di https://www.eria.org/research/topic/energy/?keyword=all&sort=date-desc&start_rec=0&page_size=40
[6] World Economic Forum. Can Southeast Asia keep up with growing energy demand? Diakses pada tanggal 23 Februari 2020 di https://www.weforum.org/agenda/2019/12/asean-southeast-asia-energy-emissions-renewables/
[7] IRENA and ACE (ASEAN Centre for Energy), Renewable Energy Outlook for ASEAN: A REmap Analysis, Abu Dhabi and Jakarta, www.irena.org/. 2016.
[8] ASEAN RESP, "Renewable energy support programme for ASEAN", www.giz.de/en/ worldwide/16395.html. 2016.
[9] IRENA, Renewable Energy Market Analysis Southeast Asia, 2018
[10] S. W. Ang, W. L. Choong, T. S. Ng, "Energy Security: Definitions, Dimensions and Indexes. Renewable and Sustainable Energy Reviews," 42: 1077–1093, 2015.
[11] C. Winzer, "Conceptualizing Energy Security," *Energy Policy*, 46: 36–48, 2012.
[12] U. Aydin, D. Azhgaliyeva, "Assessing Energy Security in Caspian Region: The Geopolitical Implications to European Energy Strategy, In Achieving Energy Security in Asia: Diversification, Integration and Policy Implications, Farhad Taghizadeh-Hesary, Naoyuki Yoshino, Young Ho Chang and Aladdin Rillo (eds.) Singapore: World Scientific, p.257–290, 2019.
[13] D. Yergin, "Ensuring Energy Security," *Foreign Affairs*, 85(2): 69–82, 2006.
[14] G. E. Metcalf, "The Economics of Energy Security," In Annual Review of Resource Economics, Vol 6, edited by G. C. Rausser, 155–174. Palo Alto: Annual Reviews, 2014.
[15] B. K. Sovacool, I. Mukherjee, "Conceptualizing and Measuring Energy Security: A Synthesized Approach Energy," 36 (8): 5343–5355, 2011.
[16] S. Tongsopit, N. Kittner, Y. Chang, A. Aksornkij, W. Wangjiraniran, "Energy Security in ASEAN: A Quantitative Approach for Sustainable Energy Policy," *Energy Policy*, 90: 60–72, 2016.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

[17] L. Yao, Y. Chang, "Energy Security in China: A Quantitative Analysis and Policy Implications," *Energy Policy*, 67: 595–604, 2014.
[18] The Asean Post, 30 December 2019, ASEAN growth slower than forecasted, Diakses pada Tanggal 16 Februari 2020 di https://theaseanpost.com/article/asean-growth-slower-forecasted
[19] OECD Developmnent Centre, Economic Outlook For Southeast Asia, China, and India 2019: Towards Smart Urban Transportation.
[20] OECD Development Centre, Medium-term Projection Framework (MPF-2019).
[21] Global-is-Asian Staff, ASEAN economic trends in 2018, Diakses pada https://lkyspp.nus.edu.sg/gia/article/asean-economic-trends-in-2018
[22] Asean. Asean Economic Integration Brief No. 05/June 2019
[23] Focus Economics, Economic Forecasts from the World's Leading Economist, Diakses pada 17 Februari 2020 di https://www.focus-economics.com/regions/asean
[24] Economic Outlook Report 2020, *Southeast Asia Economic Overview*, 2020.
[25] ASEAN UP. 4 ASEAN infographics: demography, top cities, urbanization. Diakses pada Tanggal 17 Februari 2020 di https://aseanup.com/asean-infographics-demography-top-cities-urbanization/
[26] Shawn Greene, ASEAN's Demographic Dividend. 2013 yang diakses pada Tanggal 16 February 2020 di https://www.aseanbriefing.com/news/asean-demographic-dividend/
[27] BMA – Bangkok Metropolitan Administration (2013) Statistical Profile of Bangkok 2013, Bangkok: Bangkok Metropolitan Administration.
[28] National Solar Observatory (NSO), Annual Report, 2011.
[29] Dapice, David, A. Jose, Gomez-Ibanez, N.X. Thanh, Ho Chi Minh City: The Challenges of Growth, Policy Dialogue Paper Number 2, Ho Chi Minh City: Harvard Kennedy School and United Nations Development Programme, 2010.
[30] UNPD – United Nations Population Division (2015) World Urbanization Prospects – The 2014 Revision, New York: United Nations.
[31] Demographia World Urban Areas, 13th Annual Edition, Belleville: Demographia, 2017.
[32] The World Bank, Annual Report, 2009.
[33] ASEAN Today, Kekuatan orang: urbanisasi secara radikal akan mengubah kota ASEAN oleh 2050. Diakses pada Tanggal 17 Februari 2020 di https://www.aseantoday.com/2019/11/the-power-of-people-urbanisation-will-radically-transform-asean-cities-by-2050/?lang=id
[34] K, Matus, K. M. Nam, N. E. Selin, L. N. Lamsal, J. M. Reilly, S. Paltsev, "Health Damages from Air Pollution in China," MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change," Report No. 196, 2011.
[35] HEI (Health Effects Institute) (2010), "Outdoor Air Pollution and Health in the Developing Countries of Asia: A Comprehensive Review," HEI International Scientific Oversight Committee, Special Report 18. Available at: http://ehs.sph.berkeley.edu/krsmith/publications/2011/heiasiareview.pdf.
[36] A.J. Cohen, H. R. Anderson, B. Ostra, K. D. Pandey, M. Kryzyanowski, N. Kunzli, K. Gutschmidt, A. Pope, I. Romieu, J. M. Samet, K. Smith, "The Global Burden of Disease Due to Outdoor Air Pollution," *J. of Toxicology and Environmental Health Part A*, 68, pp.1–7, 2005.
[37] CAI (Clean Air Initiative) (2010), Air Quality in Asia: Status and Trends 2010 Edition, Available at: http://cleanairinitiative.org/portal/sites/default/files/ documents/AQ_in_Asia.pdf.
[38] Greenpeace Southeast Asia, 2019, A haze-free ASEAN by 2020 – are we there yet? . diakses pada Tanggal 17 February 2020 di https://www.greenpeace.org/malaysia/press/2605/a-haze-free-asean-by-2020-are-we-there-yet/
[39] Kreft, Sönke, D. Eckstein, I. Melchior, 2016, "Global Climate Risk Index 2017: Who Suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2015 and 1996 to 2015," https:// germanwatch.org/de/download/16411.pdf, accessed June 8, 2017.
[40] Maplecroft, "Climate Vulnerability Index 2017," http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/verisk%20index.pdf, accessed February 22, 2020.
[41] NUPI, Impact of Climate Change on ASEAN International Affairs Risk and Opportunity Multiplier, ISSN: 1894-650X, 2017.
[42] Liu, Yang, Sheng, Zhong, Azhgaliyeva, Dina, *Toward Energy Security in ASEAN: Impacts of Regional Integration, Renewables, and Energy Efficiency*, 2019.
[43] International Energy Agency (IEA), *Energy Security in ASEAN +6*, 2019.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

[44] Sovacool, K. Benjamin, *Energy Access and Energy Security in Asia and the Pacific*, ISSN 1655-5252, 2013.
[45] ACE (2017), The 5th ASEAN Energy Outlook 2015-2040. ASEAN Centre for Energy, Jakarta. (http://www.aseanenergy.org/resources/the-5th-asean-energy-outlook/)
[46] IEEJ (2017), Asia/World Energy Outlook 2018, (https://eneken.ieej.or.jp/data/7748.pdf)
[47] APERC (2013), APEC Energy Demand and Supply Outlook, 5th Edition. Asia Pacific Energy Research Centre, Tokyo. (http://aperc.ieej.or.jp/publications/reports/outlook.php)
[48] Endang Jati Mat Sahid, T. C. Sin, G. C. Hock, "Energy Security in ASEAN Region: Its challenges. IOP Conf," *Series: Earth and Environmental Science*, 268, 012168, 2019.
[49] ASEAN Investment Report, Foreign Direct Investment and the Digital Economy in ASEAN, 2018.
[50] Master Plan on ASEAN Connectivity 2025, p.48.
[51] http://www.southeast-asia.atkearney.com/documents/10192/6986374/ASEAN+Digital+Revolution.pdf/86c51659-c7fb-4bc5-b6e1-22be3d801ad2
[52] https://sbr.com.sg/retail/news/chart-day-singapore-lags-japan-and-china-e-commerce-use
[53] https://www.mti.gov.sg/te-IN/Newsroom/Speeches/2018/11/Opening-remarks-for-the-ASEAN-Agreement-on-Electronic-Commerce
[54] https://www.bangkokpost.com/business/news/1586378/trade-department-pushes-12-priorities-for-asean-chair
[55] https://www.rsis.edu.sg/rsis-publication/cms/co18003-aseans-electronics-sector-facing-the-disruptive-trends/#.XD2IjPlubIU
[56] http://asw.asean.org/
[57] G. Faninger, *Economic Perspectives of Renewable Energy Systems*, pp. 1–119, 2012.
[58] E. Park, *Potentiality of renewable resources: economic feasibility perspectives in South Korea*, 2017.
[59] Y. Chang, Z. Fang, Y. Li, "Renewable energy policies in promoting financing and investment among the East Asia Summit countries: quantitative assessment and policy implications," *Energy Policy 95*, 427–436, 2016 https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.02.017
[60] L. Hu, X. Shi, S. Qiao, T. Lin, Y. Li, Y. Bai, B. Wu, S. Liu, N. Kornkanitnan, S. Khokiattiwong, "Sources and mass inventory of sedimentary polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gulf of Thailand: implications for pathways and energy structure in SE. Asia. Sci. *Total Environ*. 575, 982–995, 2017. https://doi.org/ 10.1016/j.scitotenv.2016.09.158.
[61] S. Kumar, "Assessment of renewables for energy security and carbon mitigation in Southeast Asia: the case of Indonesia and Thailand," *Appl. Energy*, 163: 63–70, 2016. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.019.
[62] B. Geng, X. Zhang, Y. Liang, H. Bao, "Do favorable land price policy affect renewable energy industry? Evidence from photovoltaics, *J. Clean. Prod*. 119, 187–195, 2016. https:// doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.062.
[63] K. Morita, K. Matsumoto, "Synergies among climate change and biodiversity conservation measures and policies in the forest sector: a case study of Southeast Asian countries," *For. Policy Econ*, 87, 59–69, 2018. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.10.013.
[64] H. Hu, N. Xie, D. Fang, X. Zhang, "The role of renewable energy consumption and commercial services trade in carbon dioxide reduction: evidence from 25 developing countries," *Appl. Energy*, 211, 1229–1244, 2018. https://doi.org/10.1016/j. apenergy.2017.12.019.
[65] B. Kahouli, "The causality link between energy electricity consumption, CO2 emissions, R&D stocks and economic growth in Mediterranean countries (MCs)," *Energy 145*, 388–399, 2018. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.136.
[66] S. Nasreen, S. Anwar, I. Ozturk, "Financial stability, energy consumption and environmental quality: evidence from South Asian economies," *Renew. Sust. Energ. Rev*. 67, 1105–1122, 2017. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.021.
[67] E. Biyik, M. Araz, A. Hepbasli, M. Shahrestani, R. Yao, L. Shao, E. Essah, A.C. Oliveira, T. del Caño, E. Rico, J.L. Lechón, L. Andrade, A. Mendes, Y.B. Atlı, "A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems," *Eng. Sci. Technol. an Int. J*. 20, 833–858, 2017. https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.01.009
[68] N. Jakica, "State-of-the-art review of solar design tools and methods for assessing daylighting and solar potential for building-integrated photovoltaics," *Renew. Sust. Energ. Rev*. 81, 1296–1328, 2018. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.080.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

[69] F. Obeidat, "A comprehensive review of future photovoltaic systems," *Sol. Energy* 163, 545–551, 2018. https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.050.
[70] A. K. Shukla, K. Sudhakar, P. Baredar, "A comprehensive review on design of building integrated photovoltaic system. Energy Build," 128: pp. 99–110, 2016. https://doi.org/ 10.1016/j.enbuild.2016.06.077.
[71] Y. B. Assoa, L. Gaillard, C. Ménézo, N. Negri, F. Sauzedde, "Dynamic prediction of a building integrated photovoltaic system thermal behaviour," *Appl. Energy*, 214, 73–82, 2018. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.078
[72] N. Gupta, A. Tiwari, G.N. Tiwari, "Exergy analysis of building integrated semitransparent photovoltaic thermal (BiSPVT) system. Eng. Sci. Technol," *an Int. J*., 20, 41–50, 2017. https://doi.org/10.1016/j.jestch.2016.09.013.
[73] M. Tripathy, H. Joshi, S. K. Panda, "Energy payback time and life-cycle cost analysis of building integrated photovoltaic thermal system influenced by adverse effect of shadow. Appl. Energy 208, 376–389, 2017. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.025
[74] T. Ahmed, S. Mekhilef, R. Shah, N. Mithulananthan, M. Seyedmahmoudian, B. Horan, "ASEAN power grid: a secure transmission infrastructure for clean and sustainable energy for South-East Asia," *Renew. Sust. Energ. Rev*. 67, 1420–1435, 2017, https://doi. org/10.1016/j.rser.2016.09.055
[75] P. H. Shaikh, N. B. M. Nor, A. A. Sahito, P. Nallagownden, I. Elamvazuthi, M. S. "Shaikh, Building energy for sustainable development in Malaysia: a review," *Renew. Sust. Energ. Rev*. 75, 1392–1403, 2017. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.128.
[76] N. Wang, P. E. Phelan, C. Harris, J. Langevin, B. Nelson, K. Sawyer, "Past visions, current trends, and future context: a review of building energy, carbon, and sustainability," *Renew. Sust. Energ. Rev*. 82, 976–993, 2018. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.114.
[77] S. A. Sarkodie, V. Strezov, "Assessment of contribution of Australia's energy production to CO2 emissions and environmental degradation using statistical dynamic approach. Sci," *Total Environ*, 639, 888–899, 2018. https://doi.org/10.1016/j. scitotenv.2018.05.204.
[78] S. T. Tan, H. Hashim, P.Y. Hoo, A. H. A Rashid, J. S. Lim, W. S. Ho, "Mitigation the transboundary haze in ASEAN country: biomass to energy GHG emission assessment," Energy Procedia 105, 1178–1183, 2017. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.406
[79] H. Zhu, L. Duan, Y. Guo, K. Yu, "The effects of FDI, economic growth and energy consumption on carbon emissions in ASEAN-5: evidence from panel quantile regression," *Econ. Model*, 58, 237–248, 2016. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.05.003.
[80] ASEAN, Investing in ASEAN 2019/2020, 2019.
[81] T.H. Oh, M. Hasanuzzaman, J. Selvaraj, S.C. Teo, S.C. Chua, "Energy policy and alternative energy in Malaysia: issues and challenges for sustainable growth – an update Renew Sust Energ Rev," 81 (2018), pp. 3021-3031.
[82] S. Mujiyanto, G. TiessSecure energy supply in 2025: Indonesia's need for an energy policy strategy Energy Policy, 61 (2013), pp. 31-41
[83] F.W. Geels The multi-level perspective on sustainability transitions: responses to seven criticisms Environ Innov Soc Transit, 1 (2011), pp. 24-40
[84] J. Marquardt, "How power affects policy implementation: lessons from the Philippines," *J Curr Southeast Asian Aff*, 36 (2017), pp. 3-27.
[85] IEA, The Electricity Act 2003, 2017.
[86] ACIOA. ASEAN Pricing Standardization. Diakses pada Tanggal 23 February 2020 di https://acioa.com/asean-pricing-standardization/
[87] IMF, 2013. "Energy subsidy reform: Lessons and implications". International Monetary Fund, Washington, D.C.
[88] Navarro, M. Adoracion, Sambodo, M. Tri, *Working Paper The Pathway to ASEAN Energy Market Integration PIDS Discussion Paper Series*, No. 2013-49, 2013.
[89] P. Ruangrong, 2013, "Overview of recent regulatory developments", presentation to the High-Level Meeting of Regional Energy Regulatory Associations of Emerging Markets. Available at http://www.erranet.org/OtherActivities/high-level_meetings (accessed 10 July 2013].
[90] L. Coronado, EY, 2018, Transfer Pricing Updates: A Southeast Asia Perspective. Diakses pada Tanggal 23 February 2020 di https://www.expertguides.com/articles/transfer-pricing-updates-a-southeast-asia-perspective/ARRXILLY
[91] The world Bank, With the Right Policies and Investment, Southeast Asia can Take its Digital Economy to the Next Level. Diakses pada Tanggal 24 February 2020 di

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2019/06/05/with-the-right-policies-and-investment-southeast-asia-can-take-its-digital-economy-to-the-next-level

[92] C. A. Gabriel, J. Kirkwood, 2016, Business models for model businesses: lessons from renewable energy entrepreneurs in developing countries. Energy Policy 95, 336–349. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.05.006.

[93] S. Sen, S. Ganguly, 2017, Opportunities, barriers and issues with renewable energy development – a discussion. Renew. Sust. Energ. Rev. 69, 1170–1181. https://doi.org/ 10.1016/j.rser.2016.09.137.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Semesta Teknika
Vol. 25, No. 1, 40-46, Mei 2022
DOI: https://doi.org/10.18196/st.v25i1.13180
© The Author (s) 2022

Prototipe Sistem Monitoring pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Prototype of Monitoring System for Micro-hydro Power Plant

Ramadoni Syahputra*, Revi Muhammad Fasha, Anna Nur Nazilah Chamim, Kunnu Purwanto

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia.

*Corresponding author email: ramadoni@umy.ac.id

Kata Kunci:
Mikro-hidro; energi terbarukan; sistem monitoring; sistem cerdas

Abstrak
Energi potensial hidro, sumber energi baru dan berkelanjutan yang mencakup pembangkit listrik tenaga mikro-hidro, penting untuk dikembangkan sebagai sumber daya alternatif yang sangat bermanfaat bagi lingkungan. Pengaturan inlet air mikro hidro saat ini masih dilakukan secara manual. Hal ini menjadi perhatian karena memerlukan banyak sumber daya manusia dan jika dilakukan secara manual, akurasinya tidak terlalu baik. Sebelumnya, sistem pemantauan hanya dapat diamati di dekat generator dan tidak dari jarak jauh. Dalam penelitian ini dikembangkan sistem monitoring sehingga dapat diakses kapan saja dan dari lokasi manapun menggunakan aplikasi smartphone. Saluran masuk air dirancang untuk diatur secara otomatis menggunakan aplikasi smartphone untuk mengatasi masalah tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang telah dibangun dapat bekerja dengan baik.

Keywords:
Micro-hydro; *renewable energy*; *monitoring system*; *smart system*

Abstract
Hydro potential energy, a new and sustainable energy source that includes a micro hydropower plant, needs to be created as an alternative resource that is very environmentally beneficial. The micro-hydro water inlet's regulation is still made manually at this moment. This is a concern because it consumes a lot of human resources and, if done manually, the accuracy is not very good. Previously, the monitoring system could only be observed close to the generator and not remotely. Furthermore, the monitoring system will be developed and coded such that it can be accessed at any time and from any location using a smartphone application. The water inlet is designed to be regulated automatically using a smartphone application to address the issues. The findings suggest that the system that has been constructed can perform admirably.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat dari tahun ke tahun (Suripto dkk, 2019). Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan penduduk dan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang memungkinkan pertumbuhan penggunaan produk-produk yang membutuhkan tenaga listrik (Younas dkk, 2018; Ardiyanto dkk, 2019; Chamim dkk, 2020). Dengan demikian, potensi energi air yang merupakan sumber energi baru dan terbarukan harus dikembangkan sebagai sumber daya alternatif yang ramah lingkungan, salah satunya Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). PLTMH adalah pembangkit listrik skala kecil yang memanfaatkan tenaga air sebagai penggeraknya, seperti saluran irigasi, sungai, atau air terjun alami, dengan memanfaatkan head dan volume air yang dibuang (Sirad dkk, 2017; Has dkk, 2018; Syahputra dkk, 2020). Kontrol PLTMH terhadap aliran masuk air saat ini masih dioperasikan secara manual. Ini menjadi masalah karena membutuhkan jumlah personel yang berlebihan dan jika dilakukan secara manual, tingkat akurasinya juga tidak memadai. Sebelumnya, sistem pemantauan hanya dapat diamati di dekat generator dan tidak dapat diperiksa dari jarak jauh. Untuk mengatasi kekurangan PLTMH saat ini dibangun dan dikodekan sedemikian rupa sehingga saluran masuk air dapat diatur secara otomatis menggunakan aplikasi smartphone. Selain itu, sistem pemantauan akan dikembangkan dan dikonfigurasi sedemikian rupa sehingga dapat dipantau setiap saat dan dari lokasi mana pun melalui aplikasi smartphone.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK I

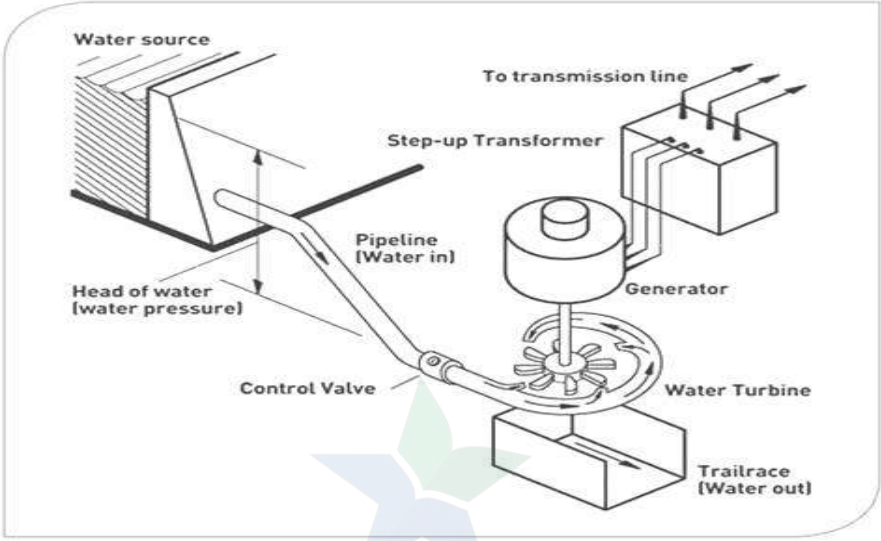
Suyono dkk (2018) melakukan penelitian pada penyulang pada sistem distribusi 20 kV untuk mengetahui dampak pembangkit energi terbarukan pada sistem yang ada. Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro telah dilaksanakan berdasarkan potensi yang ada. Injeksi dua jenis pembangkit listrik energi terbarukan yang berbeda dapat memenuhi kebutuhan listrik sistem sekaligus meningkatkan profil tegangan dan rugi daya sistem. Injeksi memiliki efek yang lebih besar pada sistem dinamis daripada sistem sebelumnya. Status sistem sebelum dan selama injeksi pembangkit listrik energi terbarukan ke dalam sistem distribusi menunjukkan bahwa tetap stabil dan dalam batas toleransi. Penelitian lain terkait desain PLTMH untuk meningkatkan kinerjanya telah dilakukan oleh Ginting dkk (2018) dan Rahmat dkk (2020).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memastikan proses yang terlibat dalam merancang dan mengimplementasikan Prototipe Sistem Pemantauan dan Pengendali PLTMH dan untuk memeriksa operasi sistem. Pembaca dapat memperoleh wawasan tentang pengembangan Prototipe Sistem Monitoring dan Pengendali PLTMH dengan memanfaatkan aplikasi blynk hasil penelitian ini. Selain itu, dapat berfungsi sebagai panduan untuk mengembangkan Prototipe Sistem Monitoring dan Pengendali PLTMH.

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Mikrohidro Pembangkit Listrik Tenaga Listrik Skala Kecil adalah pembangkit listrik skala kecil yang beroperasi atas dasar tenaga air, seperti saluran irigasi, sungai, atau air terjun alami, dengan memanfaatkan head dan volume air dibuang. Mikrohidro, dalam bentuknya yang paling sederhana, memanfaatkan energi potensial yang terkandung dalam air yang jatuh. Semakin besar ketinggian tetesan air, semakin banyak energi potensial yang ada di dalam air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Mikrohidro juga disebut sebagai sumber daya putih atau “energi putih” karena instalasi pembangkit listrik ini memanfaatkan sumber daya alam dan bermanfaat bagi lingkungan. Pembangkit listrik PLTMH adalah pembangkit dengan kapasitas kurang dari 200 kW.

Mikrohidro terdiri dari tiga komponen utama, yaitu air (sumber energi), turbin, dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu dialirkan ke rumah instalasi pada ketinggian tertentu. Di rumah instalasi, air akan menyerang turbin, yang akan menyerap energi dari air dan mengubahnya menjadi energi mekanik melalui putaran poros turbin. Sambungan kemudian mentransmisikan poros yang berputar ke generator. Energi listrik dibuat oleh generator dan kemudian disalurkan melalui sistem kontrol arus listrik ke beban.

Mikrohidro memiliki potensi yang sangat besar dan harus dibina oleh negara sebagai sumber energi alternatif yang mampu memenuhi kebutuhan listrik di daerah terpencil. Penggunaan baru tersebut mewakili 13,5 persen dari kapasitas terpasang 75.000 MW. Masih tersisa sekitar 10.125 MW yang belum termanfaatkan secara maksimal. Sisanya 64.875 MW belum terpakai. Gambar 1 menunjukkan tipikal skema pembangkit listrik tenaga mikro hidro.



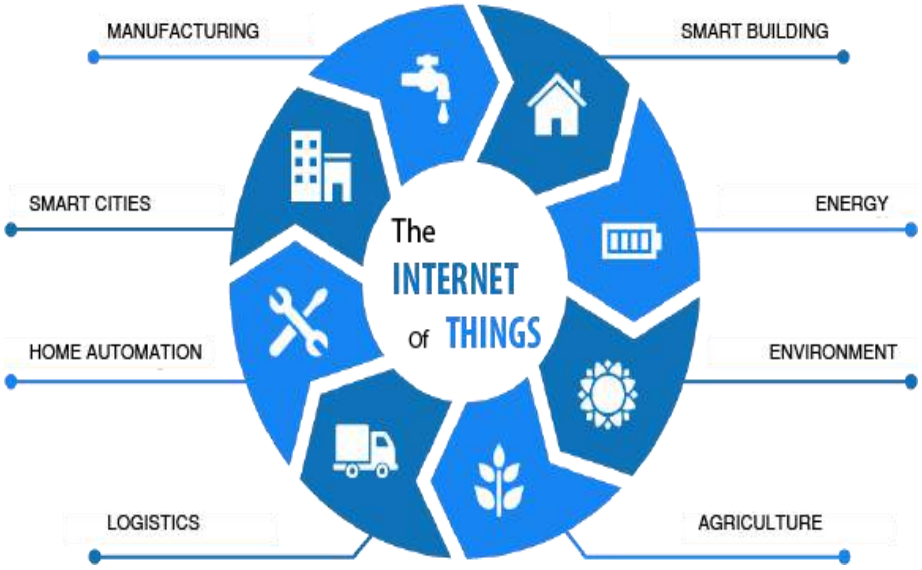
Gambar 1. Skema pembangkit listrik tenaga mikro hidro

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Internet for everything, atau yang lebih sering disebut dengan *Internet of Things* (IoT), adalah sebuah konsep yang memanfaatkan jaringan internet untuk terus terhubung ke sesuatu, seperti berbagi informasi dari departemen manajemen sumber daya di area tertentu. Gambar 2 mengilustrasikan hierarki *Internet of Things*. Dalam bentuknya yang paling sederhana, *Internet of Things* mengacu pada objek yang ditetapkan sebagai perwujudan virtual dalam sistem berbasis internet. *Internet of Things* awalnya disebutkan pada tahun 1999 oleh seorang karakter bernama Kevin Ashton. Auto-ID Center di MIT mempopulerkan istilah tersebut.

IoT adalah jaringan perangkat komputasi yang saling berhubungan, mesin mekanis dan digital, objek, hewan, dan orang-orang yang diberi pengenal unik (UID) dan mampu bertukar data melalui jaringan tanpa memerlukan manusia-ke-manusia atau manusia-ke- interaksi komputer. Pada *Internet of Things*, sesuatu dapat berupa seseorang yang ditanamkan dengan monitor jantung, hewan ternak yang ditanamkan dengan transponder biochip, mobil yang dilengkapi dengan sensor built-in yang memperingatkan pengemudi ketika tekanan ban rendah, atau lainnya. objek buatan manusia yang dapat diberi alamat Protokol Internet (IP) dan mampu mentransfer data melalui jaringan.

Saat ini, aplikasi IoT sudah merambah banyak bidang. Berbagai industri dan organisasi sudah mulai banyak menerapkan IoT. Organisasi di berbagai industri semakin memanfaatkan IoT untuk meningkatkan efisiensi operasional, lebih memahami pelanggan untuk memberikan layanan pelanggan yang unggul, meningkatkan pengambilan keputusan, dan meningkatkan nilai bisnis. Ekosistem IoT terdiri dari perangkat pintar berkemampuan web yang mengumpulkan, mengirim, dan bertindak berdasarkan data yang diperoleh dari lingkungan mereka melalui sistem tertanam seperti prosesor, sensor, dan perangkat keras komunikasi.



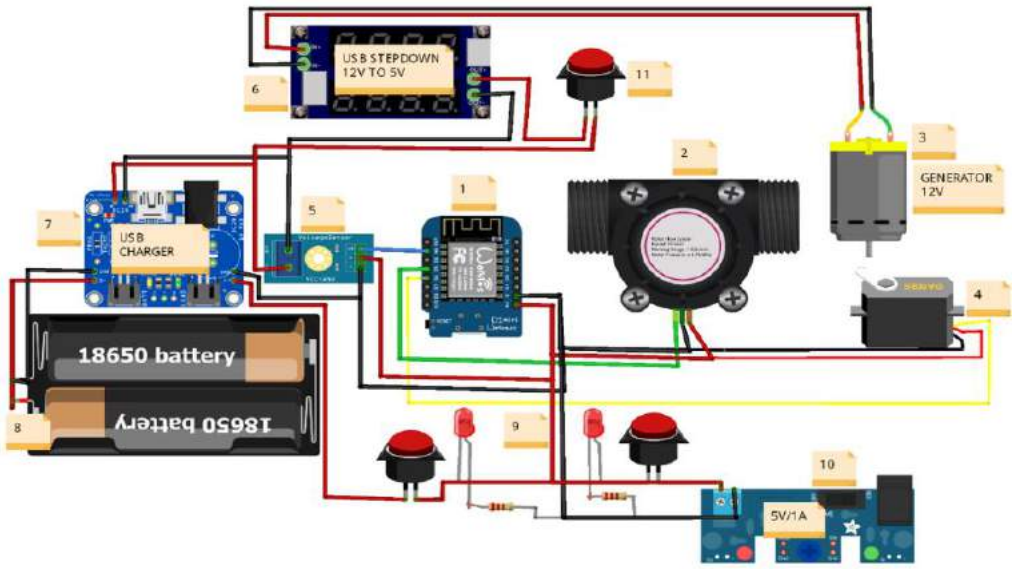
Gambar 2. Konsep *internet of things*

Popularitas IoT telah menyalip sistem manual atau semi manual dalam berbagai kegunaan. IoT sangat diuntungkan dengan tersedianya jaringan internet yang semakin luas di seluruh dunia. Perangkat IoT bertukar data sensor dengan menghubungkan ke *gateway* IoT atau perangkat edge lainnya, yang menganalisis data baik di *cloud* atau secara lokal. Kadang-kadang, perangkat ini berkomunikasi satu sama lain dan bertindak berdasarkan informasi yang mereka terima. Meskipun manusia dapat terlibat dengan perangkat – misalnya, untuk mengaturnya, memberi mereka instruksi, atau mengambil data – gadget melakukan sebagian besar pekerjaan mereka tanpa bantuan manusia.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem monitoring dan kontrol untuk PLTMH berbasis IoT. Perancangan alat diawali dengan melakukan observasi dengan tujuan mengumpulkan data sehingga dapat menjawab permasalahan secara detail dan tepat. Selain pengumpulan data, perlu juga penggalian informasi dari berbagai sumber agar diperoleh data yang akurat. Penelitian juga dilakukan secara langsung dalam proses perancangan alat. Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan, dibuat diagram blok untuk mendapatkan gambaran dari sistem yang dibuat, selanjutnya dilakukan perancangan wiring sistem, perancangan PCB, penentuan komponen, dan simulasi sistem menggunakan *software*. Komposisi PLTMH berbasis IoT ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram komponen sistem monitoring PLTMH berbasis IoT

Setelah sistem dirancang, maka dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem beroperasi sebagaimana dimaksud dan sesuai dengan spesifikasi. Pada tahap ini, ditentukan apakah setiap sensor beroperasi dengan baik atau sinkron dengan output aplikasi Blynk, dan apakah generator dapat menyimpan energi listrik yang cukup dalam baterai untuk menyalakan lampu LED. Jika ada masalah dengan sistem, prosedur perbaikan diikuti, dan jika semuanya berfungsi sebagaimana dimaksud, sistem dikembalikan ke layanan.

Pengambilan data hanya mungkin jika sistem lengkap beroperasi. Akibatnya, pengumpulan data adalah tahap akhir dari proses studi. Tujuan pengumpulan data ini adalah untuk memastikan reaksi dan keandalan sistem yang diusulkan. Langkah ini mengumpulkan data dari masing-masing sensor, khususnya sensor aliran air dan sensor tegangan. Pengumpulan data juga dapat menjadi faktor penentu dalam menentukan apakah suatu sistem bekerja dengan baik atau tidak.

Kami mengembangkan sistem pemantauan prototipe dan pengontrol PLTMH menggunakan IoT dalam proyek ini. Dua sensor dan satu motor servo terdiri dari alat ini. Sensor tegangan dan sensor aliran air digunakan. Sensor tegangan alat ini mengukur besarnya tegangan yang diberikan pada generator, sedangkan sensor aliran air mengukur jumlah air yang mengalir. Motor servo digunakan untuk menggerakkan kran sesuai dengan perintah aplikasi blynk. Alhasil, saat pahat dijalankan, semua keluaran dari sensor dan pengontrol ditampilkan pada aplikasi blynk. Selain itu, gadget ini menggunakan stepdown USB untuk mengurangi dan menyeimbangkan tegangan generator, mengubahnya dari 12 menjadi 5 volt.

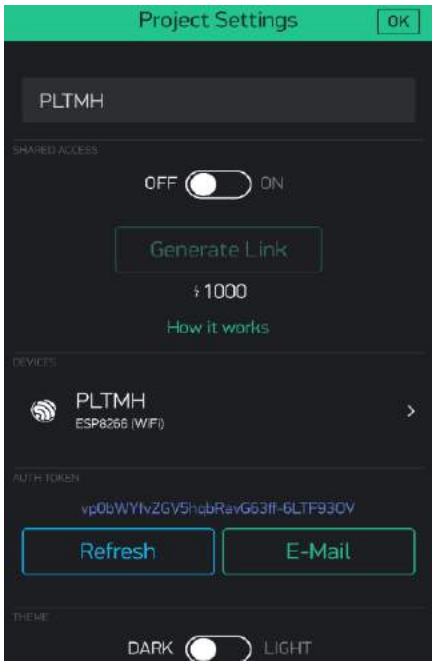
HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan Antarmuka Perangkat lunak Blynk

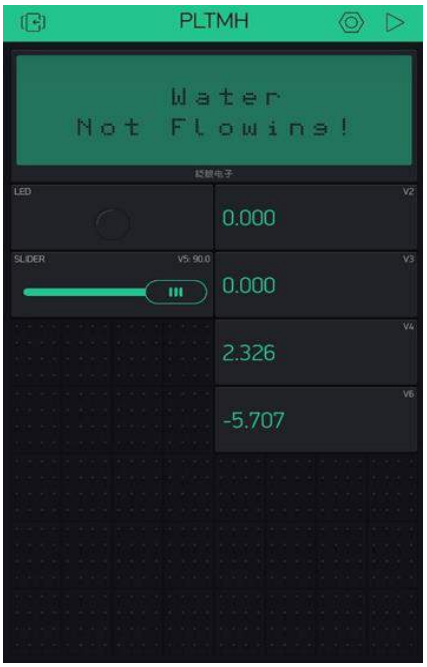
Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini membahas tentang hasil pengujian alat, dan keterbatasan yang ada pada alat ini. Hasil pengujian alat dilakukan dengan analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif berupa keberhasilan alat dalam menyimpan energi listrik pada baterai. Analisis kuantitatif pada alat ini berupa nilai tegangan, nilai debit arus air yang dipengaruhi oleh perubahan volume air. Keterbatasan alat ini dapat dijadikan sebagai pembanding untuk penelitian selanjutnya.

Program blynk diperlukan untuk menyediakan antarmuka pemantauan tegangan pada PLTMH yang dapat diakses dari ponsel berbasis Android. Aplikasi blynk tersedia untuk diunduh gratis dari Google Play Store. Setelah meluncurkan blynk, navigasikan ke >> Masuk >> Proyek Baru >> Edit nama proyek dan konfigurasi perangkat >> Buat. Kode otentikasi dalam perangkat lunak blynk menggunakan token unik. Salin kode otentikasi secara langsung atau kirimkan melalui email, seperti diilustrasikan pada Gambar 4.

Kita bisa menambahkan widget ke aplikasi blynk sesuai kebutuhan. Widget yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 5. Widget aplikasi Blynk akan mengeluarkan data dari sensor aliran air (V1, V2, V3, dan V4), sensor tegangan (V6), dan pengontrol motor servo (V5).



Gambar 4. Tampilan pengaturan proyek pada aplikasi blynk



Gambar 5. Tampilan widget yang digunakan dalam aplikasi blynk

Uji Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Perancangan model sistem monitoring PLTMH berbasis *internet of things* (IoT) pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan mini wemos d1, generator, sensor aliran air, motor servo, dan beberapa komponen lainnya. Selanjutnya menggunakan sensor tegangan dan baterai sebagai penyimpan energi listrik dari generator. Pengujian alat terdiri dari pengukuran tegangan yang dihasilkan oleh generator, kecepatan aliran air pada sensor aliran air, dan pengujian keberhasilan alat menggunakan pengujian baterai.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pengukuran tegangan dilakukan untuk membandingkan nilai tegangan pada beberapa kondisi keran terbuka hingga akhirnya tertutup. Pengukuran tegangan dilakukan dua kali yaitu pengukuran tegangan tanpa menggunakan USB *stepdown* dan dengan USB *stepdown*. Setiap percobaan dilakukan dengan enam kondisi keran yang berbeda, mulai dari keran terbuka penuh hingga keran tertutup. Hasil pengukuran tegangan tanpa dan dengan USB *stepdown* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran tegangan tanpa dan dengan USB *stepdown*

Nomor	Posisi kran (°)	Debit air (L/menit)	Tegangan Output AC (volt)	
			Tanpa USB *Stepdown*	Dengan USB *Stepdown*
1	0	0,34145	11,750	5,642
2	20	0,33336	11,701	5,568
3	40	0,30631	11,677	5,471
4	60	0,27575	6,622	1,349
5	80	0,22811	0	0
6	90	0	0	0

Pada Tabel 1 dapat dijelaskan bahwa tegangan maksimum yang diperoleh tanpa stepdown adalah 11,750 volt, dan dengan step-down adalah 5,642 volt. Perbedaan hasil ini bisa karena mengikuti step down yaitu sebagai penurun tegangan, sehingga genset dengan tegangan maksimal 12 volt menjadi 5 volt. Penggunaan stepdown pada alat ini bertujuan untuk mengisi baterai yang tegangannya hanya 4,7 volt. Jika tegangan pada generator tidak diturunkan, maka akan terjadi tegangan lebih. Tegangan yang dihasilkan jika generator tidak menggunakan step-down tidak stabil. Namun, setelah menggunakan stepdown, tegangan menjadi stabil sesuai dengan fungsi step-down, menyesuaikan tegangan.

Dari hasil percobaan tersebut dapat dikatakan bahwa semakin banyak debit air generator maka semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan. Fakta ini mengikuti energi potensial yang dimilikinya. Semakin besar energi potensial suatu benda, semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan.

Pengujian baterai dapat digunakan untuk menentukan keberhasilan alat. Pada tahap pengujian baterai, periksa untuk memverifikasi apakah alat berfungsi dengan baik dengan melihat apakah generator dapat mengisi baterai. Percobaan dilakukan dalam pengujian ini untuk menentukan berapa lama generator dapat mengisi baterai dan berapa hari yang diperlukan untuk menentukan apakah generator dapat mengisi baterai. Temuan eksperimen berikut menunjukkan hasil pengujian baterai. koneksi Tegangan awal baterai adalah 4,06 volt.

Tegangan baterai meningkat sebesar 0,015 volt menjadi 4,075 volt setelah generator berputar selama 2 menit dengan debit air sebesar 0,34145 liter/menit. Dibutuhkan 626,67 menit atau 10 jam 44 menit untuk mengisi penuh baterai dari baterai kosong.

Percobaan ini dilakukan untuk melihat apakah generator dapat mengisi baterai dan berapa lama waktu yang dibutuhkan generator untuk mengisi baterai dari kosong hingga terisi penuh. Hasil pengujian dan perhitungan menunjukkan bahwa generator dapat mengisi baterai 0,015 volt setiap 2 menit dan ingin mengisi baterai sepenuhnya jika kosong, yang membutuhkan waktu 10 jam 44 menit.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan prototipe sistem monitoring PLTMH yang dirancang-bangun telah bekerja secara memuaskan. Generator yang dipasang di bawah kran air dapat menghasilkan tegangan tertinggi mencapai 11,750 volt. Setelah dipasang USB *stepdown* menghasilkan tegangan tertinggi mencapai 5,642 volt dengan debit air 0,3 liter/menit. Sistem monitoring dan pengendali pada

PERPUSTAKAAN NASIONAL
INDONESIA

prototipe PLTMH berbasis aplikasi Blynk berjalan dengan baik. Dua sensor yang digunakan adalah sensor tegangan dan sensor aliran air yang membaca sesuai dengan inputnya. Sensor tegangan dan sensor aliran air berhenti membaca jika kran air ditutup oleh motor servo pada 80°. Motor servo berjalan dengan baik sehingga bergerak sesuai perintah pada aplikasi Blynk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek RI) dan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta atas kontribusinya dalam penelitian ini.

REFERENSI

Ardiyanto, Y., Sujoko, I. T., Wibowo, W. A., Nugraha, V. D. H., & Saputra, F. E. (2019). Prototype design of unmanned surface ship to detect illegal fishing using solar power generation technology. *Journal of Electrical Technology UMY*, *3*(1), 14-18. https://doi.org/10.18196/jet.3149

Chamim, A. N. N., Irawan, A. P., & Syahputra, R. (2020). Implementation of automatic transfer switch on the solar home system at the goat farm houses. *Journal of Electrical Technology UMY*, 4(2), 79-86. https://doi.org/10.18196/jet.v4i2.10680

Ginting, S., Simatupang, J. W., Bukhori, I., & Kaburuan, E. R. (2018). Monitoring of electrical output power-based internet of things for micro-hydro power plant. *International Conference on Orange Technologies (ICOT)*, 1-7. http://doi.org/10.1109/ICOT.2018.8705786.

Has, Z., Rosyidi, A. Z., Pakaya, I., Mardiyah, N. A., Nurhadi, N., & Effendy, M. (2018). Integrated frequency control of microhydro power plant based flow valve control and electronic load controller, *IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC*), 244-249. http://doi.org/10.1109/SPC.2018.8704153

Rahmat, A., Kurniawan, A., & Yusmar, Y. (2020). Challenges and strategies to reduce cost of production in isolated electricity systems with optimization of renewable energy at Central Sulawesi. *International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP)*, 121-124. http://doi.org/10.1109/ICT-PEP50916.2020.9249831

Sirad, M. A. H. (2017). Analysis of the potential of renewable energy in South Sulawesi as power electrical needs. *Journal of Electrical Technology UMY*, *1*(4), 196-201. https://doi.org/10.18196/jet.1426

Suripto, S., Al Hasibi, R. A., Wiyagi, R. O., Sanupal, S., Jusman, Y., & Aribowo, D. (2019). Analysis of the utilization of Putri Cempo landfill waste for power plants and their effects on the Surakarta electric power distribution network. *Journal of Electrical Technology UMY*, *3*(4), 125-134. https://doi.org/10.18196/jet.3463

Suyono, H., Shidiq, M., Ferdianzah, A. N., Utomo, T., Musirin, I., & Awalin, L. J. (2018). Dynamic stability impact of the hybrid wind and microhydro renewable energy sources on the distribution system. *Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*, 15-20. https://doi.org/10.1109/EECCIS.2018.8692793.

Syahputra, R., & Soesanti, I. (2020). Planning of hybrid micro-hydro and solar photovoltaic systems for rural areas of Central Java, Indonesia. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, *2020*, 1-16. https://doi.org/10.1155/2020/5972342

Younas, M., Kamal, R., Khalid, M. S., & Qamar, A. (2018). Economic planning for remote community microgrid containing solar PV, biomass gasifier and microhydro. *Clemson University Power Systems Conference (PSC)*, 1 – 7. https://doi.org/10.1109/PSC.2018.8664025

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK I

Proyeksi Masa Depan Kendaraan Listrik di Indonesia: Analisis Perspektif Regulasi dan Pengendalian Dampak Perubahan Iklim yang Berkelanjutan

Asrul Ibrahim Nur[1] *dan Andrian Dwi Kurniawan*[2]

Abstrak

Produksi dan penjualan kendaraan listrik di berbagai negara dan kawasan mengalami kemajuan yang sangat signifikan terutama di Tiongkok, Uni Eropa, dan Amerika Serikat. Indonesia cenderung tertinggal dari negara lain dalam penggunaan kendaraan listrik secara masif. Keberadaan kendaraan listrik yang mensubstitusi kendaraan berbahan bakar fosil akan berdampak pada berkurangnya emisi karbon. Masa depan kendaraan listrik sangat menjanjikan bagi pengendalian perubahan iklim yang berkelanjutan dengan syarat tertentu. Rekomendasi kebijakan naskah ini adalah peningkatan bauran energi terbarukan sebagai energi primer pada pembangkit listrik, pengaturan ketat kegiatan pertambangan terkhusus mineral bahan baku baterai, fasilitas dan sistem pengolahan limbah baterai wajib tersedia terlebih dahulu sebelum adanya peningkatan penggunaan kendaraan listrik secara signifikan, insentif fiskal bagi kendaraan listrik disertai pemberian disinsentif terhadap kendaraan konvensional, serta pengaturan komprehensif dan terintegrasi terkait kendaraan listrik sejak industri hulu sampai dengan hilir perlu ditetapkan dalam peraturan perundang-undangan yang memberikan kepastian hukum baik bagi investor, publik, dan bagi lingkungan.

Kata Kunci: kendaraan listrik, regulasi, perubahan iklim

Abstract

Sales and production of electric vehicles (EV) in various countries and regions have made significant progress, especially in China, the European Union and the United States. Indonesia tends to lag behind other countries in the massive use of electric vehicles. The existence of EV that substitute fossil fuel vehicles will reduce carbon emissions. The future of EV is auspicious for sustainable climate change control under certain conditions. The policy recommendations of this article are to increase the mix of renewable energy as primary energy in power plants, strict regulation of mining activities, especially mineral raw materials for batteries, facilities and battery waste treatment systems must be available before there is a significant increase in the use of EV, fiscal incentives are carried out to EV dan disincentives for conventional vehicles, as well as comprehensive and integrated arrangements related to EV from upstream to down-

[1] Penulis adalah Staf Pengajar Tidak Tetap pada Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung.

[2] Penulis adalah *Junior Sustainability Consultant* pada Trisakti Sustainability Center dan *Co Coordinator* 2030 Youth Force Indonesia.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

stream industries need to be stipulated in-laws and regulations that provide legal certainty for investors, the public, and for the environment.

Keywords: *electric vehicles, regulation, climate change*

I. Pendahuluan

Perubahan iklim memiliki dampak yang nyata bagi bumi dan penghuninya. Suhu rata-rata secara global mengalami kenaikan 1°C dan berpengaruh pada peningkatan bencana alam.[3] Khusus di Indonesia, hal tersebut salah satunya tercermin dari meningkatnya jumlah bencana alam setidaknya dalam sepuluh tahun terakhir.[4] Pada 2009 jumlah bencana alam di Indonesia sebanyak 1.245 kejadian dan meningkat secara signifikan menjadi 3.814 kejadian pada 2019.[5] Menurut laporan yang disusun oleh Intergovermental Panel on Climate Change (IPCC),[6] perubahan iklim yang mengakibatkan kenaikan suhu bumi lebih jauh dapat berdampak pada kepunahan spesies dan keanekaragaman hayati di laut yang akan berpengaruh pada manusia.

Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) menjadi faktor penentu semakin memanasnya suhu global, oleh karena itu negara-negara yang berkomitmen dalam *Paris Agreement* wajib mengurangi emisi GRK sesuai target yang telah ditetapkan.[7] Indonesia

[3] Hans Nicholas Jong, "Indonesia Won't Sacrifice Economy for More Ambitious Emissions Cuts", https://news.mongabay.com/2020/04/indonesia-emissions-reduction-climate-carbon-economy-growth/, diakses 8 Februari 2021.

[4] *United States Geological Survey* (USGS) menyatakan bahwa peningkatan suhu muka bumi dan pemanasan global dapat menyebabkan terjadinya lebih banyak badai. Akibat lain yang mungkin timbul adalah meningkatnya permukaan air laut yang berpengaruh terhadap ekosistem disekitarnya. Lihat https://www.usgs.gov/faqs/how-can-climate-change-affect-natural-disasters-1?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products, diakses 31 Maret 2021. Pendapat lain diungkapkan oleh *United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat* (UNISDR) yang menyebutkan bahwa perubahan iklim dapat meningkatkan degradasi lingkungan yang berpengaruh pada rapuhnya komunitas, lihat United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat, *Climate Changer and Disater Risk Reduction*, (Jenewa: Briefing Note 01, September 2008). hlm. 3.

[5] Badan Nasional Penanggulangan Bencana, https://www.bnpb.go.id/infografis/kejadian-bencana-tahun-2019, diakses tanggal 8 Februari 2021.

[6] Intergovermental Panel on Climate Change, *Global Warming of 1.5 °C an IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty Summary for Policymakers*, (Switzerland: Intergovermental Panel on Climate Change, 2018), hlm. 9-10.

[7] Indonesia telah meratifikasi *Paris Agreement* melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-bangsa Mengenai Perubahan Iklim) (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2016 Nomor 204, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5939)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sebagai salah satu negara yang telah meratifikasi konvensi perubahan iklim juga terikat akan komitmen tersebut. Sebagai negara dengan penggunaan energi fosil yang cukup besar, Indonesia menghasilkan 1.637.156 juta ton emisi GRK pada 2018.[8] Jumlah ini menempatkan Indonesia pada papan tengah peringkat negara penghasil emisi terbesar di dunia.[9]

Salah satu sektor yang menyumbang emisi sangat signifikan adalah energi, khususnya transportasi. Pada 2018, jumlah emisi GRK dari sektor energi mencapai 595 Juta tCO_2e (ton setara CO_2) [10] dan dari jumlah tersebut sebanyak 28% berasal dari sektor transportasi.[11] Fenomena ini tentu saja meresahkan banyak pihak, terlebih pertumbuhan kendaraan konvensional yang terus bertambah. Sepanjang 2018 dan 2019 tercatat tujuh juta lebih kendaraan bertambah baik itu roda dua dan empat.[12]

Inovasi kendaraan ramah lingkungan dan beremisi rendah adalah salah satu solusi yang dianggap dapat mengurangi emisi GRK dan berkorelasi terhadap pengendalian dampak perubahan iklim. Negara-negara di Eropa, Tiongkok, dan Amerika Serikat telah menggunakan kendaraan listrik secara masif.[13]

Kendaraan listrik[14] di Indonesia terbilang baru dan masih belum sepenuhnya mendapatkan perhatian publik. Salah satu peristiwa yang pernah menjadi sorotan adalah ketika momentum Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) APEC Tahun 2013 di Bali. Menteri Badan Usaha Milik Negara saat itu, Dahlan Iskan, mempromosikan mobil listrik karya Ricky Elson, seorang inovator mobil listrik yang lama

[8] Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, *Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Monitoring, Pelaporan, dan Verifikasi 2020*, (Jakarta: Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2020), hlm 41.

[9] Yosepha Pusparisa, "Rapor Indonesia Menahan Laju Perubahan Iklim", https://katadata.co.id/arsip/analisisdata/602de2e0ee7f6/rapor-indonesia-menahan-laju-perubahan-iklim, diakses 31 Maret 2021.

[10] Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, *Statistik 2019*, (Jakarta: Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2020), hlm 91.

[11] Julius Christian Adiatma dan Idoan Marciano, *Ringkasan untuk Para Pembuat Kebijakan: Peranan Kendaraan Listrik dalam Dekarbonisasi Sektor Transportasi Darat Indonesia*, (Jakarta: Institute for Essential Services Reform, 2020), hlm 9.

[12] Badan Pusat Statistik, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit) 2017-2019", https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/jumlah-kendaraan-bermotor.html, diakses 2 Februari 2021.

[13] Erika Farkas Csamangó, *The Legal Environment of Electromobility in Hungary*. (Journal of Agricultural and Environmental Law, 2020), hlm 182.

[14] Kendaraan listrik dalam naskah ini mencakup *Pure Electric Vehicle* (PHV) atau *Battery Electric Vehicle* (BEV) dan *Hybrid Electric Vehicle* (HEV). Bacaan lebih lanjut Ning Ding, K. Prasad, dan T.T.Lie, "The Electric Vehicle: a Review", *International Journal of Electric and Hybrid Vehicle*, Januari 2017).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

bermukim di Jepang. Sejak 2012, mobil listrik disosialisasikan dengan gencar, namun usahanya kandas karena mobil listrik tersebut dianggap tidak layak jalan oleh instansi terkait.[15]

Mobil listrik kembali mendapatkan perhatian serius saat Presiden Joko Widodo menetapkan Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan (Perpres No. 55 Tahun 2019). Konsideran pembentukan regulasi tersebut menyebutkan aspek ketahanan dan konservasi energi, penurunan emisi GRK, serta penguasaan teknologi industri menjadi latar belakang penerbitannya.

Regulasi ini diharapkan mampu menciptakan iklim yang kondusif bagi perkembangan produksi dan penggunaan kendaraan listrik oleh publik. Populasi kendaraan listrik di Indonesia hingga bulan September 2020 hanya sebanyak 2.278 unit, jumlah ini merupakan jumlah sertifikasi untuk kendaraan listrik yang diterbitkan oleh Kementerian Perhubungan.[16] Jumlah ini tentu sangat jauh jika dibandingkan dengan jumlah kendaraan listrik yang ada di Eropa (khususnya Kawasan Skandinavia) yang mencapai 1,2 juta unit atau Tiongkok yang mencapai 2,5 juta unit pada 2019.[17]

Jumlah kendaraan listrik, khususnya mobil, di Indonesia yang tidak sebanding dengan kendaraan berbahan bakar fosil ini sebenarnya tercermin dari target yang tercantum dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yaitu sebanyak 2.200 unit kendaraan roda empat dan 2,1 juta unit kendaraan roda dua yang wajib dicapai setidaknya sampai tahun 2050.[18]

Perpres No. 55 Tahun 2019 memberikan angin segar dan harapan agar kendaraan listrik semakin berkembang di Indonesia. Selain itu, diharapkan bertumbuhnya populasi kendaraan listrik berbanding lurus dengan pengurangan emisi GRK sebagai bagian dari pengendalian dampak perubahan iklim di Indonesia. Mengarusutamakan penggunaan kendaraan listrik di Indonesia bukan suatu hal yang mudah. Banyak tantangan dan hambatan dalam berbagai aspek seperti lingkungan, tata kelola, kultural, ekonomi bahkan psikologis. Meskipun

[15] Dahkan Iskan, "Manufacturing Hope 123: Main-Main Nasib Ahli yang Mahal", https://www.jpnn.com/news/main-main-nasib-ahli-yang-mahal?page=3, diakses 2 Februari 2021.

[16] Ruly Kurniawan, "Pelan tapi Pasti, Jumlah Kendaraan Listrik di Indonesia Mencapai 2.278 Unit", https://otomotif.kompas.com/read/2020/09/09/090200215/pelan-tetapi-pasti-populasi-kendaraan-listrik-di-indonesia-2278-unit, diakses 2 Februari 2021.

[17] Jamie Hamilton, et al, *Electric Vehicles Setting a Course for 2030* (London: Deloitte Insights, 2020), hlm. 4-5.

[18] Lampiran I Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2017 Nomor 43).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

demikian, meningkatkan populasi kendaraan masa depan ini menjadi kewajiban bagi Indonesia jika tidak ingin tertinggal dengan negara lain baik dalam teknologi transportasi, pertumbuhan ekonomi dan juga reduksi emisi GRK.

Dampak perubahan iklim yang sudah nyata di Indonesia seharusnya menjadi momentum untuk mengubah regulasi agar dapat beradaptasi dan bahkan mengendalikannya. Meskipun demikian, terdapat tantangan dan hambatan multiaspek terkait regulasi hijau, salah satunya terkait pengembangan kendaraan listrik.

Tulisan ini akan mengulas prospek kendaraan listrik sebagai salah satu solusi untuk mengurangi emisi GRK sehingga dapat mengendalikan dampak perubahan iklim secara berkelanjutan. Pertama adalah pembahasan mengenai korelasi kendaraan listrik dan pengendalian dampak perubahan iklim. Bagian ini akan membahas mengenai sejarah kendaraan listrik, perkembangan regulasi kendaraan listrik di berbagai negara, dan prasyarat kendaraan listrik sebagai solusi atau bahkan masalah baru. Selanjutnya, pada bagian kedua akan dibahas mengenai ekosistem regulasi kendaraan listrik di Indonesia yang meliputi Peraturan Presiden (Perpres) dan peraturan teknis dalam bentuk Peraturan Menteri. Bagian pembahasan akhir akan diulas mengenai masa depan kendaraan listrik dan pengendalian dampak perubahan iklim di Indonesia. Sebagai penutup, naskah ini akan memberikan beberapa rekomendasi kebijakan terkait kendaraan listrik.

II. Kendaraan Listrik dan Pengendalian Dampak Perubahan Iklim

Kendaraan listrik sebenarnya bukan teknologi yang benar-benar baru. Pada 1828 seorang biarawan Benediktin sekaligus insinyur Hongaria, Jedlik Anyos, telah mengembangkan jenis kendaraan ini.[19] Meskipun demikian, pada akhirnya karena dianggap tidak komersil maka pengembangan kendaraan oleh penemu asal Eropa Tengah tersebut dihentikan.

Pada perkembangan selanjutnya, kendaraan listrik banyak dilakukan oleh ilmuwan di luar Hongaria, di antaranya Thomas Parker (Inggris, 1884),[20] Camille Jenatzy (Belgia, 1899),[21] serta A.L Ryker dan William Morrison (Amerika Serikat, 1891).[22] Tingginya harga produksi terutama baterai dan penemuan banyak sumur minyak di berbagai belahan dunia yang

[19] Erika Farkas Csamangó, *Op.Cit.*

[20] Joeri van Mierlo, "The World Electric Vehicle Journal, The Open Access Journal for the e-Mobility Scene", *World Electric Vehicle Journal,* (2018), hlm. 1.

[21] *Ibid*.

[22] C. C. Chan, *The Rise and Fall of Electric Vehicles in 1828-1930: Lessons Learned*, (Proceedings of the IEEE, Vol. 101, No.1, Januari, 2013), hlm. 2017

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

berimplikasi semakin murahnya harga bahan bakar minyak pada saat itu membuat industri kendaraan listrik menjadi tidak ekonomis dan semakin ditinggalkan.[23]

Kelangkaan sumber minyak bumi dan semakin parahnya dampak perubahan iklim memutarbalikkan anggapan bahwa kendaraan listrik tidak layak digunakan karena alasan ekonomis. Berbagai studi membuktikan penggunaan kendaraan listrik lebih ekonomis daripada kendaraan berbahan bakar fosil,[24] selain itu juga secara signifikan mengurangi emisi.[25] Oleh karena itu, banyak negara mulai mengembangkan teknologi kendaraan listrik dan mengenalkannya secara luas kepada publik.

A. Perkembangan Regulasi Kendaraan Listrik di berbagai Negara

Secara umum saat ini episentrum produksi dan konsumsi kendaraan listrik berada pada tiga kawasan, yaitu Tiongkok, Eropa, dan Amerika Serikat. Separuh penjualan kendaraan listrik dunia pada tahun 2019 dikuasai oleh Tiongkok, lalu diikuti oleh Uni Eropa dan Amerika Serikat.[26] Keunggulan Tiongkok dalam penggunaan kendaraan listrik dimulai pada tahun 2001 dengan meluncurkan Program Nasional Penelitian dan Pengembangan Teknologi Tinggi.[27] Kemudian pada tahun 2009 dilanjutkan dengan kebijakan "Kendaraan Energi Baru" secara nasional, lalu diikuti oleh pemberian insentif, subsidi, dan mulai mewajibkan penggunaan kendaraan hibrida. Regulasi yang mengatur kendaraan listrik ini bukan hanya ada di level nasional tetapi juga hingga daerah.[28]

Motivasi Tiongkok untuk mengembangkan teknologi kendaraan listrik tidak terlepas dari keinginan kuat pemerintahnya untuk menurunkan tingkat polusi udara dan emisi.[29] Kebijakan untuk mengurangi polusi dan emisi tersebut ditetapkan dalam skala nasional dan lokal. Dukungan dan aksi nyata pemerintah lokal, khususnya kota besar di Tiongkok membantu meningkatkan penjualan

[23] Sharon L. Poczter dan Luka M. Jankovic, "General Motors: The Electric Revolution", *Journal of Business Case Studies*, (Second Quarter 2014), hlm. 185.

[24] Patrick Moriarty dan Stephen Jia Wang, *Can Electric Vehicles Deliver Energy and Carbon Reductions?*, (The 8th International Confrence on Applied Energy Proceedings, 2017), hlm. 2938.

[25] Julius Christian Adiatma dan Idoan Marciano, *Op.Cit.* hlm. 17.

[26] International Energy Agency, "Global EV Outlook 2020: Entering the Decade of Electric Drive?", *International Energy Agency,* (2020), hlm. 44.

[27] Wang Tao, "Recharging China's Electric Vehicle Plocy", *Carnegie-Tsinghua Center for Global Policy, Policy Outlook*, (2013), hlm. 2.

[28] Hui He *et al.*, *Assessment of Electric Car Promotion Policies in Chinese Cities*, (Washington DC: International Council on Clean Transportation, 2018), hlm. 12-13.

[29] Sabrina Howell, *et.al.*, *Leapfrogging or Stalling Out? Electric Vehicles in China*, (Cambridge: Harvard Kennedy School, 2015), hlm. 4.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

kendaraan listrik secara signifikan. Pada tahun 2020 sebanyak 42% pemilik kendaraan listrik terdapat pada 25 kota di Tiongkok dengan Shanghai sebagai kota dengan populasi kendaraan listrik terbanyak.[30]

Berbeda dengan Tiongkok, Uni Eropa sebagai entitas internasional yang terdiri dari banyak negara anggota menetapkan beberapa kebijakan organisasi yang kemudian menjadi kebijakan nasional masing-masing anggotanya. Perkembangan kendaraan listrik di Uni Eropa tidak terlepas dari komitmen untuk mengurangi emisi GRK, polusi udara, dan polusi suara yang berimplikasi pada kualitas lingkungan dan kesehatan.[31]

Untuk mendukung komitmen tersebut, Uni Eropa pada 2016 kemudian menetapkan dokumen *A European Strategy for Low-Emission Mobility*. Dokumen ini secara umum memperkenalkan kerangka kerja untuk mempromosikan kendaraan rendah emisi di kawasan. Motivasi ini merupakan salah satu upaya untuk memodernisasi ekonomi, menurunkan emisi dari sektor transportasi, dan bagian komitmen Uni Eropa dalam melaksanakan *Paris Agreement*.[32] Uni Eropa juga menetapkan *the 2018/1999 Regulation (EU) of The European Parliament and of The Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action* dan *the Directive (EU) 2018/2001 of The European Parliament and of The Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources*.[33] Kebijakan ini ditindaklanjuti oleh masing-masing negara anggota dengan menetapkan regulasi terkait kendaraan listrik.

Kunci dari keberhasilan negara-negara Uni Eropa meningkatkan penggunaan kendaraan listrik adalah dengan menetapkan regulasi yang memberikan insentif fiskal dan non fiskal (berimplikasi pada penurunan harga) secara signifikan, jaringan pengisian baterai yang luas dan masif, serta promosi dan edukasi kepada publik mengenai keuntungan menggunakan kendaraan listrik. Direktif Uni Eropa ini meningkatkan penetrasi kendaraan listrik di Uni Eropa secara signifikan

[30] Hui He, "China New Energy Vehicle Market and Policies", *The International Council on Clean Transportation*, (2020), hlm. 15.

[31] Maria Niestadt dan Amalie Bjornavold, "Electric Road Vehicles in the European Union: Trends, Impacts, and Policies", *European Parliament Briefing*, (April 2019), hlm. 4.

[32] European Commission, "A European Strategy for Low-Emission Mobility", *European Commission, Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*, (2016), hlm. 13.

[33] Terkait dengan kendaraan listrik, dokumen hukum ini memberikan arahan bagi negara-negara anggota Uni Eropa untuk mempromosikan penggunaan kendaraan listrik kepada warga negaranya dan juga penggunaan energi terbarukan sebagai sumber pembangkit listrik yang akan digunakan untuk pengisian baterai kendaraan listrik sebagai moda transportasi. Dokumen ini dapat diakses di https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=fr

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dari 2% menjadi 61% dalam tempo dua tahun.[34]

Tidak seperti Uni Eropa yang terdiri dari banyak negara anggota dan memiliki kedaulatan masing-masing, kondisi regulasi terkait kendaraan listrik di Amerika Serikat hampir sama dengan Tiongkok yaitu terdapat regulasi pada level nasional (federal) dan lokal (negara bagian). Sebanyak 47 dari 50 negara bagian di Amerika Serikat telah memiliki regulasi lokal untuk mempromosikan penggunaan kendaraan listrik kepada publik.[35]

Regulasi kendaraan listrik pada tingkat federal bermula sejak Badan Perlindungan Lingkungan Hidup Amerika Serikat (US EPA) pada tahun 2012 menetapkan pengurangan emisi GRK. Selanjutnya insentif berupa pinjaman dan hibah diberikan kepada perusahaan yang mengembangkan teknologi baterai kendaraan listrik, insentif perpajakan juga diberikan dalam skala federal. Dana penelitian dan pengembangan terkait kendaraan listrik juga digulirkan. Selain itu, edukasi dan promosi kepada publik juga dilaksanakan dengan gencar.[36]

Kebijakan lain yang juga diambil oleh pemerintah federal Amerika Serikat adalah dengan membantu elektrifikasi moda transportasi milik pemerintah kota (*municipal*) dan memberikan insentif non fiskal seperti tarif parkir, biaya registrasi, dan pengurangan biaya tes emisi.[37] Berbagai kebijakan federal dan lokal tersebut cukup meningkatkan penjualan kendaraan listrik bahkan pada 2018 mencapai hingga 80%. Meskipun demikian pada tahun 2020 tren penjualan menurun akibat ketidakpastian ekonomi yang ditimbulkan pandemi COVID-19.[38]

B. Kendaraan Listrik: Solusi atau Masalah Baru bagi Perubahan Iklim?

Tiongkok, Uni Eropa, dan Amerika Serikat sebagai pemimpin produksi dan pasar kendaraan listrik memiliki latar belakang yang sama, yaitu kepedulian akan lingkungan dan dampak perubahan iklim. Dengan kata lain, regulasi yang mengatur tentang kendaraan listrik sangat memperhatikan aspek keberlanjutan (*sustainability*) dan menyadari bahwa bahan bakar fosil memiliki dampak negatif

[34] Sandra Wappelhorst, *et.al.*, *Analyzing Policies to Grow the Electric Vehicle Market in European Cities* (Berlin: International Council on Clean Transportation White Paper, 2020), hlm. 27.

[35] International Energy Agency, "United States-Policies and Legislation", http://www.ieahev.org/by-country/united-states-policy-and-legislation/. Diakses 15 Februari 2021.

[36] Deborah Gordon, *et.al.*, *Policy Priorities for Advancing the U.S. Electric Vehicle Market*, (Washington D.C: Carnegie Endowment for International Peace Publication Department, 2012), hlm. 6.

[37] Bill Canis, *et.al.*, "Vehicle Electrification: Federal and State Issues Affecting Deployment", *Congressional Research Service,* (3 Juni 2019), hlm. 16.

[38] McKinsey, *McKinsey Electric Vehicle Index: Europe Cushions a Global Plunge in EV Sales*, https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mckinsey-electric-vehicle-index-europe-cushions-a-global-plunge-in-ev-sales#, diakses 15 Februari 2021.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

terhadap lingkungan.[39] Kendaraan listrik sebenarnya dapat menjadi salah satu solusi bagi pengendalian dampak perubahan iklim, dengan salah satunya dapat membantu mengurangi emisi GRK dari sektor transportasi. Selain itu, keberadaan kendaraan listrik wajib didukung dengan ketersediaan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik dari energi terbarukan.[40]

Jika tidak memenuhi persyaratan tersebut, maka kehadiran kendaraan listrik justru akan menimbulkan masalah baru bagi perubahan iklim. Konsumsi listrik yang meningkat di tengah masih tingginya penggunaan bahan bakar fosil sebagai energi primer pembangkit listrik akan membuat peningkatan emisi dari sektor energi. Oleh karena itu, ketersediaan pembangkit listrik bersumber energi ramah lingkungan menjadi syarat wajib bagi penggunaan kendaraan listrik secara masif.

Sebagai negara yang meratifikasi *Paris Agreement*, Indonesia memiliki komitmen untuk menurunkan emisi GRK sesuai target yang dituangkan dalam *Nationally Determined Contribution* (NDC). Dalam dokumen NDC Indonesia bulan November 2016 disebutkan bahwa target penurunan emisi GRK pada tahun 2030 sebesar 29% dengan kemampuan sendiri dan 41% dengan dukungan internasional. Angka ini adalah sebesar 834 juta ton CO_2e pada target *unconditional* (CM1) dan sebesar 1.081 juta ton CO_2e pada target *conditional* (CM2).[41]

Penggunaan kendaraan listrik yang masif tentu akan membantu memenuhi target tersebut, terutama penurunan emisi GRK dari sektor energi. Proyeksi yang dilakukan oleh Institute for Essential Sevice Reform (IESR)[42] menunjukkan bahwa kontribusi kendaraan listrik dalam penurunan emisi GRK harus disertai transformasi sumber energi primer yang digunakan oleh pembangkit listrik.[43] Untuk jangka pendek pada skenario ambisius penetrasi kendaraan listrik, penurunan emisi GRK mencapai 10 juta ton CO_2. Angka ini memang hanya 3%

[39] Idoan Marciano, *Mengembangkan Ekosistem Kendaraan Listrik di Indonesia Pelajaran dari Pengalaman Amerika Serikat, Norwegia, dan Cina,* (Jakarta: Institute for Essential Services Reform, 2021), hlm. 23 dan 29.

[40] Patrick Moriarty dan Stephen Jia Wang, *Op.Cit.* hlm. 2987.

[41] Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, *Strategi Implementasis NDC (Nationally Determined Contribution)*, (Jakarta: Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017), hlm. 9.

[42] Julius Christian Adiatma dan Idoan Marciano, *The Role of Electric Vehicles in decarbonizing Indonesia's Road Transport Sector*, (Jakarta: Institute for Essential Services Reform, 2020), hlm. 39.

Menurut data yang dirilis Direktorat Jenderal Energi Terbarukan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral hingga 2020 bauran energi terbarukan pada pembangkit listrik mencapai 14,21%. Jauh dari target yang ditetapkan yaitu 23% pada tahun 2025. Sumber https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/07/28/2593/fact.sheet.update.kinerja.subsektor.ebtke.tahun.2020 , diakses 10 April 2021.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dari target yang ditetapkan oleh NDC, meskipun demikian dalam jangka panjang penurunan emisi ini menjanjikan secara signifikan.

Masalah lain yang dapat timbul dari kendaraan listrik adalah terkait produksi dan limbah baterai. Sebagai salah satu komponen utama, baterai memiliki peranan vital dan menjadi penentu harga jual kendaraan listrik.[44] Bahan baku dari baterai tersebut adalah bahan tambang mineral seperti lithium, nikel, kobalt, dan mangan. Oleh karena itu, penggunaan kendaraan listrik yang masif tidak bisa menghindari peningkatan permintaan keempat mineral tersebut[45] dan berimplikasi pada kegiatan pertambangannya. Solusi untuk menyelamatkan bumi ternyata tetap harus mengorbankan bagian bumi yang lain.

Dampak negatif lain yang akan timbul adalah terkait pengolahan limbah baterai kendaraan listrik yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) seperti nikel beracun dan lanthanum.[46] Untuk mengatasinya maka fasilitas daur ulang limbah baterai menjadi sebuah kewajiban yang harus diwujudkan. Selain itu, penukaran atau pembelian baterai baru juga mesti diatur dengan baik agar dapat mengendalikan potensi jumlah limbah baterai. Produsen kendaraan listrik juga perlu memikirkan mengenai biaya lingkungan untuk memitigasi potensi kerusakan lingkungan, deteksi kerusakan lingkungan, pengolahan limbah, serta aktivitas untuk memperbaiki lingkungan.[47]

Dengan demikian, tiga syarat yang wajib dipenuhi secara kumulatif untuk dapat memaksimalkan potensi kendaraan listrik dalam mengendalikan dampak perubahan iklim adalah pembangkit listrik dengan sumber energi primer yang ramah lingkungan, pengendalian kegiatan pertambangan mineral sebagai bahan baku baterai, dan penyediaan fasilitas pengolahan limbah baterai. Regulasi tanpa ketiga hal tersebut tidak akan menjadikan kendaraan listrik sebagai solusi, justru dapat menjadi masalah baru bagi pengendalian dampak perubahan iklim.

---

[44] David Coffin dan Jeff Horowitz, "The Supply Chain for Electric Vehicle Batteries", United States International Trade Commision, *Journal of International Commerce and Economics*, (2018), hlm. 4.

[45] Xu, C., Dai, Q., Gaines, L. *et al.,* "Future material demand for automotive lithium-based batteries". *Communication Materials*, **(**2020). https://doi.org/10.1038/s43246-020-00095-x

[46] Yuanan Hu, *et.al*., *Retired Electric Vehicle (EV) Batteries: Integrated Waste Management and Research Needs*, (American Chemical Society, Environmental Science and Technology, 2017), hlm. 1028.

[47] Arif Dwi Santoso, "Penerapan Biaya Lingkungan dalam Perlindungan Sumberdaya Alam dan Kelestarian Lingkungan", *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, Vol. 11, No. 1, (Juni 2018), hlm. 1-6.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

III. Ekosistem Regulasi Kendaraan Listrik di Indonesia

A. Peraturan Presiden sebagai Regulasi Utama

Ibarat sebuah organisme biologis, kendaraan listrik membutuhkan ekosistem dan lingkungan yang mendukung untuk tumbuh dan berkembang dengan baik. Langkah yang dilakukan oleh pemerintah dengan menetapkan Perpres No. 55 Tahun 2019 dapat dikatakan tepat, meskipun cukup terlambat. Regulasi tersebut menjadikan kehadiran kendaraan listrik di Indonesia memiliki landasan hukum yang cukup kuat. Dipilihnya bentuk peraturan perundang-undangan berupa Peraturan Presiden dikarenakan tidak adanya Undang-Undang yang secara eksplisit mengamanatkan untuk pengembangan kendaraan listrik.

Jika menelisik dari tata cara pembentukan peraturan perundang-undangan, Perpres merupakan bentuk peraturan perundang-undangan yang memiliki materi muatan dan fungsi tertentu. Materi muatan yang diatur oleh Perpres adalah materi yang diperintahkan oleh Undang-Undang, untuk melaksanakan Peraturan Pemerintah, atau untuk menyelenggarakan kekuasaan pemerintahan.[48] Maria Farida Indrati, Guru Besar Fakultas Hukum Universitas Indonesia, berpendapat bahwa setidaknya terdapat tiga fungsi Perpres, yaitu untuk menyelenggarakan pengaturan secara umum dalam rangka penyelenggaran kekuasaan pemerintahan, pengaturan lebih lanjut ketentuan dalam Peraturan Pemerintah baik secara eksplisit maupun implisit disebut.[49]

Perpres No. 55 Tahun 2019 secara jelas bukan dibentuk untuk melaksanakan perintah Undang-Undang atau Peraturan Pemerintah, melainkan untuk melaksanakan kekuasaan pemerintahan dalam hal ini dilaksanakan oleh Presiden sebagai kepala pemerintahan. Dengan kata lain, Perpres yang mengatur kendaraan listrik dapat dikategorikan sebagai Perpres yang mandiri[50] dan tidak dibentuk untuk melaksanakan perintah peraturan perundang-undangan yang lebih tinggi hierarkinya namun sebagai instrumen Presiden dalam menyelenggarakan kekuasaan pemerintahan yang diberikan oleh Undang-Undang Dasar.

Sistem presidensial yang dianut oleh Indonesia memiliki implikasi otoritas

[48] Indonesia, Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan, LN Tahun 2011 No. 82, TLN No. 5234, Ps. 13.

[49] Maria Farida Indrati S., *Ilmu Perundang-undangan Jenis, Fungsi, dan Materi Muatan*, (Yogyakarta: Penerbit Kanisius, 2019), hlm. 223-224.

[50] Prischa Listiningrum, "Eksistensi dan Kedudukan Peraturan Presiden dalam Hierarki Peraturan Perundang-undangan di Indonesia", *Jurnal Arena Hukum*, Vol. 12, No. 2, (Agustus 2019), hlm. 342.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

yang dimiliki Presiden cukup besar.[51] Kondisi tersebut memiliki sisi positif dan negatif yang saling mempengaruhi satu sama lain. Sisi positif dari besarnya otoritas yang dimiliki kepala pemerintahan adalah Presiden dapat menetapkan peraturan perundang-undangan baik itu Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang, Peraturan Pemerintah, Peraturan Presiden, peraturan kebijakan (*beleidsregel*), ketetapan administrasi negara (*beschikking*), dan perencanaan (*plannen*) [52] secara leluasa untuk merealisasikan janji politik dan program pemerintahannya. Sisi negatif yang harus dihadapi adalah kondisi demikian membuat pergantian rezim pemerintahan akan menimbulkan ketidakpastian terhadap kesinambungan program pemerintahan sebelumnya.

Keberadaan kendaraan listrik seharusnya bukan hanya menjadi program pemerintahan tetapi sebaiknya menjadi program negara, oleh karena itu instrumen hukum yang digunakan dapat lebih kuat dari Perpres. Hal ini untuk menjamin kesinambungan pertumbuhan kendaraan listrik di Indonesia yang dalam jangka panjang akan berpengaruh terhadap pengurangan emisi GRK dari sektor transportasi secara signifikan. Kestabilan dan kesinambungan juga sangat dibutuhkan dalam perspektif investasi, terlebih industri kendaraan listrik membutuhkan modal yang tidak sedikit. Oleh karena itu, kepastian hukum berupa regulasi yang mengatur harus kuat dan tidak mudah berganti akibat beralihnya rezim atau pemerintahan.[53]

Disamping itu, Indonesia sangat menarik bagi investor karena memiliki jumlah penduduk yang besar dan sumber daya alam yang melimpah. Salah satu perusahaan global yang memproduksi kendaraan listrik, Tesla, dikabarkan tertarik untuk berinvestasi di Indonesia dalam bidang energi terbarukan dan kendaraan listrik.[54] Meskipun pada perkembangan selanjutnya intensi produsen raksasa kendaraan listrik tersebut terganjal lemahnya aspek *environmental, social,* dan *governance* (ESG) pada praktik investasi perusahaan di Indonesia.[55]

---

[51] Fajlurrahman Jurdi, "Format Kekuasaan Presiden dalam UUD NRI 1945 (Relasi Horizontal dan Vertikal kekuasaan Presiden dalam Sistem Presidensial)", *Jurnal Amanna Gappa*, Vol. 25, No. 2, (September 2017), hlm. 43.

[52] Bagir Manan, *Teori dan Politik Konstitusi,* (Yogyakarta: FH UII Press, 2003), hlm. 229.

[53] Amanda Perry, "An Ideal Legal System for Attracting Foreign Direct Investment? Some Theory and Reality", *American University International Law Review,* Vol. 15, Issue 6, (2000), hlm. 1631.

[54] Reuters, "Indonesia says in early talks with Tesla on potential investment", https://www.reuters.com/article/us-tesla-indonesia/indonesia-says-in-early-talks-with-tesla-on-potential-investment-idINKBN26Q16I, diakses 11 Februari 2021.

Vincent Fabian Thomas, "Potensi Investasi Tesla Terganjal Karena Indonesia Tak Ramah ESG", https://tirto.id/potensi-investasi-tesla-terganjal-karena-indonesia-tak-ramah-esg-gaa9, diakses 11 Februari 2021.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kehadiran regulasi yang stabil dan berkesinambungan juga dibutuhkan untuk menciptakan kondisi penerimaan publik terhadap kendaraan listrik. Transformasi energi semacam ini pernah dialami oleh Indonesia pada tahun 2007, yaitu konversi minyak tanah ke gas elpiji. Pada awalnya terdapat resistensi besar di masyarakat, bahkan kerap kali terjadi ledakan pada masa adaptasi penggunaan gas di rumah tangga.[56] Namun demikian, pada akhirnya karena tidak ada pilihan lain bagi masyarakat selain beradaptasi maka kebijakan ini dapat mengubah kebiasaan masyarakat dalam penggunaan minyak tanah menjadi gas.

Transformasi dari kendaraan berbahan bakar fosil ke kendaraan listrik memiliki dimensi perubahan yang jauh lebih besar, karena bukan saja mengubah kebiasaan tetapi juga budaya masyarakat dalam menggunakan kendaraan dan bahan bakarnya. Oleh karena itu, mutlak diperlukan regulasi dalam bentuk yang kuat dan menjamin stabilitas perubahan.

B. Kebijakan Teknis: Mendukung Ekosistem Kendaraan Listrik?

Perpres No. 55 Tahun 2019 secara umum mengatur tentang percepatan pengembangan industri dan pemberian insentif, penyediaan infrastruktur pengisian listrik dan pengaturan tarif tenaga listrik, teknis kendaraan, perlindungan lingkungan hidup, dan koordinasi pelaksanaan. Perpres ini mengamanatkan pembentukan berbagai regulasi yang lebih teknis. Setidaknya terdapat 14 Peraturan Menteri yang harus ditetapkan agar ketentuan dalam Perpres dapat terlaksana. Menteri yang diberikan delegasi untuk mengatur lebih lanjut adalah Menteri Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi,[57] Menteri Perindustrian,[58] Menteri Perhubungan,[59] Menteri Keuangan,[60] Menteri Dalam Negeri,[61] Menteri Perdagangan,[62] Menteri Kehutanan dan Lingkungan Hidup,[63] dan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral.[64]

Menteri Perindustrian mendapatkan porsi paling banyak untuk menetapkan

[56] Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, *Konversi Mitan ke Gas*, (Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, tt), hlm. 33.

[57] Indonesia, *Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai* (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan, LN Tahun 2019 Nomor 146, Pasal 34 ayat 5.

[58] *Ibid.*, Pasal 2 ayat 3, Pasal 4 ayat 2, Pasal 8 ayat 2, Pasal 11 ayat 3, Pasal 12 ayat 3, dan Pasal 13 ayat 2.

[59] *Ibid.*, Pasal 29 ayat 7, Pasal 31 ayat 3 dan 4.

[60] *Ibid.*, Pasal 12 ayat 3.

[61] *Ibid.*, Pasal 19 ayat 3.

[62] *Ibid.*, Pasal 12 ayat 3.

[63] *Ibid.*, Pasal 33.

[64] *Ibid.*, Pasal 27.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

peraturan, yakni sebanyak enam Peraturan Menteri Perindustrian. Lainnya, dua Peraturan Menteri Perhubungan dan masing-masing satu Peraturan Menteri untuk sektor Pemerintahan Dalam Negeri, Perdagangan, Keuangan, Lingkungan Hidup, Energi dan Sumber Daya Mineral dan Kemaritiman.

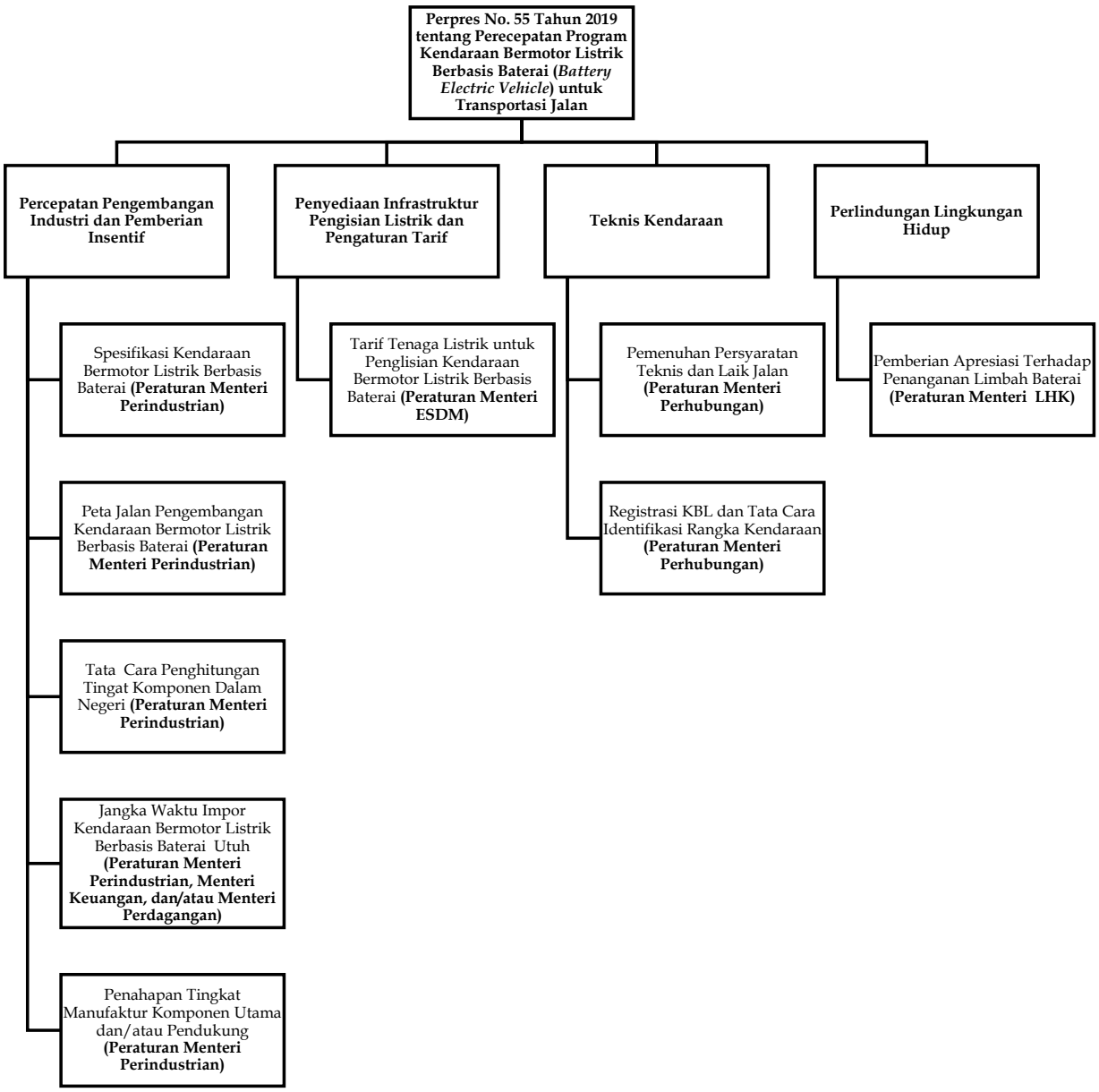
Pembentukan lembaga khusus juga diamanatkan dalam Perpres No. 55 Tahun 2019, bukan hanya satu melainkan dua lembaga dengan nomenklatur Tim Koordinasi Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai dan Tim Kelompok Kerja Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai. Menteri Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi ditugaskan untuk mengatur tata kerja kedua tim tersebut.

Kehadiran lembaga atau tim khusus untuk percepatan program kendaraan listrik ini dapat diartikan sebagai upaya untuk mengharmoniskan kebijakan antar sektor dan kementerian/lembaga terkait. Di sisi lain, kehadiran lembaga khusus ini berpotensi akan menambah rantai birokrasi dan menghambat percepatan program tersebut. Seluruh Kementerian yang terlibat dalam tim ini sebaiknya memastikan bahwa keberadaan tim khusus berdampak positif terhadap percepatan produksi dan penggunaan kendaraan listrik di Indonesia.[65]

[65] Hal ini sesuai dengan Pidato Presiden Republik Indonesia pada Sidang Paripurna MPR RI dalam rangka Pelantikan Presiden dan Wakil Presiden Terpilih Periode 2019-2024. Jakarta, 24 Oktober 2019.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar 1. Struktur Peraturan Pelaksana Perpres No. 55 Tahun 2019



Sumber: Perpres No. 55 Tahun 2019 (Diolah oleh Penulis)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gambar menunjukkan bahwa Perpres No. 55 Tahun 2019 memang lebih menitikberatkan aspek industri dan kelaikan kendaraan untuk digunakan secara masif. Ketentuan tentang aspek lingkungan hidup yang diatur dalam Perpres sangat minim dan memberikan kesan tidak dijadikan prioritas. Eksistensi populasi kendaraan listrik di Indonesia dan bahkan seluruh dunia sangat memberikan kontribusi baik langsung maupun tidak langsung bagi lingkungan hidup, khususnya pengendalian dampak perubahan iklim.[66]

Perpres mobil listrik dan segenap peraturan teknisnya seharusnya mampu menciptakan ekosistem hukum yang layak dan komprehensif untuk mendukung perkembangan serta pertumbuhan kendaraan listrik di Indonesia. Dimensi yang perlu diperhatikan bukan hanya industri semata melainkan juga aspek lain khususnya lingkungan hidup yang secara historis mendorong berkembangnya teknologi kendaraan listrik.

Pendapat menarik diungkapkan oleh Guru Besar Emeritus Hukum Energi pada Universitas Adelaide, Australia, yaitu Adrian J. Bradbrook. Setidaknya terdapat lima alasan esensial teknologi masa depan harus dibentuk oleh ekosistem hukum dengan kriteria tertentu. Pertama, pengembangan teknologi masa depan sangat membutuhkan investasi, oleh karena itu perlindungan hukum wajib diatur secara adil, rasional, serta melindungi kepentingan hukum konsumen (publik) dan investor.[67]

Kedua, pengembangan energi dengan teknologi dan resiko tinggi membutuhkan rezim hukum yang komprehensif, termasuk pengaturan mengenai pemberian kesempatan bagi swasta untuk berpartisipasi serta hak negara untuk memungut royalti dan melindungi kepentingan nasionalnya. Ketiga, tren teknologi masa depan adalah berkurangnya keterlibatan perusahaan besar. Perusahaan kecil dan individual dapat menjadi investor baik skala lokal maupun nasional dengan perlindungan hukum yang maksimal.[68]

Keempat, edukasi bagi konsumen sangat penting untuk diatur karena teknologi baru akan membutuhkan adaptasi dan kebiasaan baru. Peningkatan kepedulian publik dapat dilakukan dengan promosi dan kampanye yang intensif. Kelima, pemerintah wajib menetapkan rezim hukum teknologi baru yang menggantikan teknologi lama. Oleh karena itu, hukum dan kebijakan tersebut harus menempatkan teknologi baru sebagai

[66] Idoan Marciano. *Op. Cit.* hlm. 39.

[67] Adrian J. Bradbrook, "Creating Law For Next Generation Energy Technologies", *Journal of Energy and Environmental Law*, (Winter 2011), hlm. 19.

[68] *Ibid.*, hlm. 20.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

satu-satunya solusi, bukan sebagai alternatif atau bahkan sebagai cadangan.[69]

Secara umum baik Perpres No. 55 Tahun 2019 maupun peraturan menteri yang telah ditetapkan dan mengatur kendaraan listrik masih belum sepenuhnya memenuhi lima kriteria di atas. Perlindungan hukum bagi konsumen (publik) dan investor belum diatur secara rinci, edukasi dan peningkatan kepedulian publik juga belum jelas diatur. Perangkat regulasi ini juga belum menempatkan kendaraan listrik sebagai satu-satunya solusi bagi publik dalam menggunakan kendaraan. Hal yang telah diatur dengan cukup baik adalah terkait insentif (fiskal dan nonfiskal), keselamatan berkendara, teknis kendaraan, dan teknis penyediaan infrastruktur.

Pemberian kesempatan bagi swasta untuk pengembangan kendaraan listrik juga telah diatur dengan baik, khususnya pada sektor hulu industri produksi kendaraan listrik. Namun demikian, pada sektor hilir yaitu penyediaan infrastruktur pengisian dan penggantian baterai untuk tahap awal akan dilakukan oleh badan usaha milik negara. Pemerintah perlu memikirkan pemberian kesempatan bagi swasta dalam rangka mengembangkan infrastruktur penunjang kendaraan listrik untuk membantu penetrasi teknologi masa depan ke masyarakat Indonesia menjadi semakin cepat.

IV. Masa Depan Kendaraan Listrik dan Pengendalian Dampak Perubahan Iklim di Indonesia

16 bulan setelah penetapan Perpres Nomor 55 Tahun 2019, akhirnya pada 17 Desember 2020 Pemerintah Indonesia melakukan *public launching* Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (KBLBB). Dalam Siaran Pers yang dirilis oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, disebutkan salah satu tujuan percepatan program KBLBB adalah untuk mengurangi tekanan pada neraca pembayaran Indonesia akibat impor bahan bakar minyak. Implikasinya adalah peningkatan ketahanan energi nasional. Oleh karena itu, penggunaan energi terbarukan dan gas sebagai energi primer pada pembangkit listrik menjadi keniscayaan. Sehingga kualitas udara dapat meningkat dan mendukung pengurangan emisi GRK secara nasional.[70]

Pernyataan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tersebut sesuai dengan target pemanfaatan energi terbarukan pada bauran energi nasional yang ditetapkan dalam Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) sebe-

[69] *Ibid*.

[70] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, *Sambut Era Kendaraan Listrik, Pemerintah Lakukan Public Launching Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai,* Siaran Pers Nomor 341. Pers/04/SJI/2020 tanggal 17 Desember 2020.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sar 23%.[71] Namun demikian, realisasi pemanfaatan energi terbarukan pada bauran energi nasional hingga Mei 2020 tercatat masih jauh dari target yaitu sebesar 14,21% yang didominasi dari energi panas bumi.[72]

Bauran energi terbarukan sebagai energi primer pada pembangkit listrik memang menjadi salah satu syarat mutlak bagi keberlanjutan kendaraan listrik dan berimplikasi pada pengendalian dampak perubahan iklim di Indonesia. Selain itu, setidaknya terdapat empat syarat lain yang harus dipenuhi, Pertama, pengaturan ketat kegiatan pertambangan khusus terkait mineral bahan baku baterai. Peningkatan standar keamanan dan keselamatan lingkungan menjadi wajib dilakukan untuk menghindari kerusakan alam akibat pertambangan.

Kedua, mekanisme pengolahan limbah baterai wajib tersedia terlebih dahulu sebelum adanya peningkatan penggunaan kendaraan listrik secara signifikan. Pemerintah dan publik tentu tidak menginginkan adanya kasus pencemaran lingkungan akibat limbah baterai. Oleh karena itu, instalasi pengolahan limbah perlu diatur dengan rinci dan ketat. Sebagai catatan, bahwa Perpres Nomor 55 Tahun tidak mengatur secara detail terkait pengolahan limbah.

Ketiga, insentif fiskal (berupa pengurangan atau bahkan penghapusan pajak tertentu) dan non fiskal dilakukan disertai pemberian disinsentif terhadap kendaraan yang menggunakan bahan bakar fosil. Tanpa hal ini, maka transformasi penggunaan kendaraan dari konvensional ke berbasis listrik tidak akan berjalan dengan progresif. Pemerintah juga perlu mempertimbangkan pemberian subsidi harga untuk mempercepat pertumbuhan penggunaan kendaraan listrik. Masalah harga sangat mempengaruhi tingkat penjualan kendaraan listrik pada suatu negara.[73]

Terakhir, pengaturan komprehensif dan terintegrasi terkait kendaraan listrik sejak industri hulu sampai dengan hilir perlu ditetapkan dalam peraturan perundang-undangan yang memberikan kepastian hukum baik bagi investor, publik, maupun bagi lingkungan. Pergantian rezim yang selalu identik dengan bergantinya kebijakan memungkinkan terjadinya gangguan dalam pengembangan kendaraan listrik. Meskipun demiki-

[71] Indonesia, *Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional* Lampiran I, LN Tahun 2017 Nomor 43.

[72] Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, *Update Kinerja Subsektor EBTKE*, (Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020).

[73] Jonathan J. Gomez Vilchez dan Christian Thiel, "The Effect of Reducing Electring Car Purchase Incentives in the European Union", *World Electric Vehicle Journal,* (2019), hlm. 10.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

an, pada tahap tertentu perlu dilakukan penyempurnaan kebijakan jika terjadi kondisi stagnan.

V. Penutup

Kendaraan listrik adalah salah satu harapan bagi dunia untuk mengendalikan dampak perubahan iklim. Indonesia berkewajiban untuk berperan aktif dalam upaya tersebut sebagai negara yang berkomitmen dalam *Paris Agreement*. Oleh karena itu, Indonesia perlu mempelajari keberhasilan Tiongkok, Uni Eropa, dan Amerika Serikat dalam mengimplementasikan regulasi kendaraan listrik.

Perpres No. 55 Tahun 2019 sebagai instrumen hukum utama percepatan program kendaraan listrik perlu memperkuat perlindungan hukum bagi publik dan investor, mengatur promosi dan edukasi kepada publik, serta memastikan tidak adanya tumpang tindih kewenangan antar instansi. Jika diperlukan, RUEN sebaiknya disesuaikan agar lebih progresif pada target produksi dan penggunaan kendaraan listrik, khususnya roda empat.

Pemerintah juga perlu mempertimbangkan untuk mengatur kendaraan listrik melalui bentuk peraturan perundang-undangan yang hierarkinya lebih tinggi dari peraturan presiden, mengingat urgensi pengaturan dan keterlibatan banyak pemangku kepentingan. Peraturan Pemerintah atau bahkan Undang-Undang dapat menjadi pilihan peraturan perundang-undangan yang lebih kuat dan dapat menjangkau seluruh sektor terkait, termasuk pemerintah daerah. Peraturan perundang-undangan terkait kendaraan listrik baik dilevel nasional maupun daerah wajib harmonis dan menunjukkan komitmen yang kuat bagi pengembangan program tersebut.

Regulasi yang diperlukan untuk mendukung percepatan program kendaraan listrik adalah meningkatkan penggunaan energi terbarukan pada pembangkit listrik, mengatur kegiatan pertambangan pada bahan baku baterai secara cermat, menyediakan fasilitas dan sistem pengolahan limbah baterai yang memadai sebelum adanya meningkatkan penggunaan kendaraan listrik, memberikan insentif kepada kendaraan listrik dan disinsentif terhadap kendaraan konvensional, serta mengatur kendaraan listrik secara komprehensif dan terintegrasi dengan peraturan perundang-undangan yang memberikan kepastian hukum baik bagi investor, publik, dan lingkungan. Jika tidak meregulasi lima hal tersebut maka akan menjadi bom waktu bagi kondisi lingkungan hidup dan pengendalian dampak perubahan iklim. Kondisi seperti ini tidak menjadikan kendaraan listrik sebagai solusi, justru berpotensi menjadi masalah baru.

Negara wajib memastikan bahwa kebijakan transformasi energi sebagai upaya pengendalian dampak perubahan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

iklim bukan hanya *business as usual* semata, perlu adanya intervensi yang konsisten dan terintegrasi. Jika tidak, maka Indonesia akan kurang berkontribusi dalam pengendalian dampak perubahan iklim dan hanya dapat menjadi penonton perubahan modernisasi energi di dunia.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DAFTAR PUSTAKA

Peraturan perundang-undangan

Indonesia. *Undang-Undang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan*, UU No. 12 Tahun 2011, LN Tahun 2011 No.82, TLN No. 5234).

_____. *Undang-Undang Pengesahan Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change (Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-bangsa Mengenai Perubahan Iklim),* UU No. 16 Tahun 2016, LN Tahun 2016 Nomor 204, TLN No. 5939)

_____. *Peraturan Presiden Rencana Umum Energi Nasional*, Perpres No. 22 Tahun 2017, LN Tahun 2017 No. 43).

_____. *Peraturan Presiden Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Electric Vehicle) untuk Transportasi Jalan,* Perpres No. 55 Tahun 2019, LN Tahun 2019 No. 146).

Buku

Adiatma, Julius Christian dan Idoan Marciano. *Ringkasan untuk Para pembuat Kebijakan: Peranan Kendaraan Listrik dalam Dekarbonisasi Sektor Transportasi Darat Indonesia*. Jakarta: Institute for Essential Services Reform. 2020.

_____. *The Role of Electric Vehicles in Decarbonizing Indonesia's Road Transport Sector*. Jakarta: Institute for Essential Services Reform. 2020.

Canis, Bill *et.al.*, "Vehicle Electrification: Federal and State Issues Affecting Deployment,". Congressional Research Service. 2019.

Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. *Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Monitoring, Pelaporan, dan Verifikasi 2020*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2020.

_____. *Statistik 2019*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2020.

Gordon, Deborah *et.al*. *Policy Priorities for Advancing the U.S. Electric Vehicle Market*. Washington D.C: Carnegie Endowment for International Peace Publication Department. 2012.

Hamilton, Jamie, *et al*. *Electric Vehicles Setting a Course for 2030*. London: Deloitte Insights. 2020.

He, Hui *et al. Assessment of Electric Car Promotion Policies in Chinese Cities*. Washington DC: International Council on Clean Transportation. 2018.

Howell, Sabrina et.al. *Leapfrogging or Stalling Out? Electric Vehicles in China*. Cambridge: Harvard Kennedy School. 2015.

Indrati S, Maria Farida. *Ilmu Perundang-undangan Jenis, Fungsi, dan Materi Muatan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius. 2019.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

International Energy Agency, "Global EV Outlook 2020: Entering the Decade of Electric Drive?," International Energy Agency. 2020.

Intergovermental Panel on Climate Change, *Global Warming of 1.5 °C an IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty Summary for Policymakers*. Switzerland: Intergovermental Panel on Climate Change. 2018.

Manan, Bagir. *Teori dan Politik Konstitusi*. Yogyakarta: FH UII Press. 2003.

Marciano, Idoan. *Mengembangkan Ekosistem Kendaraan Listrik di Indonesia Pelajaran dari Pengalaman Amerika Serikat, Norwegia, dan Cina*. Jakarta: Institute for Essential Services Reform. 2021. Niestadt, Maria dan Amalie Bjornavold, "Electric Road Vehicles in the European Union: Trends, Impacts, and Policies," European Parliament Briefing. 2019.

Wang Tao. "Recharging China's Electric Vehicle Policy," Carnegie-Tsinghua Center for Global Policy, Policy Outlook. 2013.

Wappelhorst, Sandra *et.al*. *Analyzing Policies to Grow the Electric Vehicle Market in European Cities*. Berlin: International Council on Clean Transportation White Paper. 2020.

Artikel jurnal/media massa

Bradbrook, Adrian J. "Creating Law For Next Generation Energy Technologies," *Journal of Energy and Environmental Law*, Winter 2011.

Chan, C. C. "The Rise and Fall of Electric Vehicles in 1828-1930: Lessons Learned," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 101, No.1, Januari, 2013.

Csamangó, Erika Farkas. "The Legal Environment of Electromobility in Hungary," *Journal of Agricultural and Environmental Law*, 2020.

Coffin, David dan Jeff Horowitz. "The Supply Chain for Electric Vehicle Batteries," *United States International Trade Commission, Journal of International Commerce and Economics*, 2018.

Ding, Ning, K. Prasad, dan T.T.Lie, "The Electric Vehicle: a Review," *International Journal of Electric and Hybrid Vehicle*, Januari 2017.

Jurdi, Fajlurrahman. "Format Kekuasaan Presiden dalam UUD NRI 1945 (Relasi Horizontal dan Vertikal kekuasaan Presiden dalam Sistem Presidensial)," *Jurnal Amanna Gappa*, Vol 25 No. 2, September 2017.

Listiningrum, Prischa. "Eksistensi dan Kedudukan Peraturan Presiden dalam Hierarki Peraturan Perundang-undangan di Indonesia," *Jurnal Arena Hukum*, Vol 12 No. 2, Agustus 2019.

Vilchez, Jonathan J. Gomez dan Christian Thiel, "The Effect of Reducing Electring Car Purchase Incentives in the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

European Union," *World Electric Vehicle Journal*, 2019.

van Mierlo, Joeri. "The World Electric Vehicle Journal, The Open Access Journal for the e-Mobility Scene," *World Electric Vehicle Journal*, 2018.

Perry, Amanda. "An Ideal Legal System for Attracting Foreign Direct Investment? Some Theory and Reality," *American University International Law Review*, Vol 15, Issue 6, 2000.

Poczter, Sharon L. dan Luka M. Jankovic. "General Motors: The Electric Revolution," *Journal of Business Case Studies*, Second Quarter 2014.

Santoso, Arif Dwi. "Penerapan Biaya Lingkungan dalam Perlindungan Sumberdaya Alam dan Kelestarian Lingkungan," *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, Vol. 11, No. 1, Juni 2018.

Xu, C., Dai, Q., Gaines, L. *et al.*, "Future material demand for automotive lithium-based batteries." *Communication Materials*, https://doi.org/10.1038/s43246-020-00095-x. 2020.

Yuanan Hu, *et.al.*, "Retired Electric Vehicle (EV) Batteries: Integrated Waste Management and Research Needs," *American Chemical Society, Environmental Science and Technology*. 2017.

Lain-lain

Badan Nasional Penanggulangan Bencana, https://www.bnpb.go.id/infografis/kejadian-bencana-tahun-2019, diakses tanggal 8 Februari 2021.

Badan Pusat Statistik, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit) 2017-2019", https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/jumlah-kendaraan-bermotor.html, diakses 2 Februari 2021.

Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, *Konversi Mitan ke Gas*. Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, tanpa tahun.

Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi. *Update Kinerja Subsektor EBTKE*. Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2020.

European Commission. "A European Strategy for Low-Emission Mobility." European Commission, Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. 2016.

Hui He, *China New Energy vehicle Market and Policies*. The International Council on Clean Transportation. 2020.

International Energy Agency, *United States-Policies and Legislation*, http://www.ieahev.org/by-country/united-states-policy-and-legislation/. Diakses 15 Februari 2021.

Iskan, Dahkan. "Manufacturing Hope 123: Main-Main Nasib Ahli yang Mahal", https://www.jpnn.com/news/main-main-nasib-ahli-yang-mahal-?page=3, diakses 2 Februari 2021.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jong, Hans Nicholas, "Indonesia Won't Sacrifice Economy for More Ambitious Emissions Cuts", https://news.mongabay.com/2020/04/indonesia--emissions-reduction-climate-carbon--economy-growth/ , diakses 8 Februari 2021.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. *Sambut Era Kendaraan Listrik, Pemerintah Lakukan Public Launching Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai*. Siaran Pers Nomor 341.Pers/04/SJI/2020 tanggal 17 Desember 2020.

Kurniawan, Ruly. "Pelan tapi Pasti, Jumlah Kendaraan Listrik di Indonesia Mencapai 2.278 Unit", https://otomotif.kompas.com/read/2020/09/09/090200215/pelan--tetapi-pasti-populasi-kendaraan-listrik-di-indonesia-2278-unit, diakses 2 Februari 2021.

McKinsey, *McKinsey Electric Vehicle Index: Europe Cushions a Global Plunge in EV Sales*, https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mckinsey-electric--vehicle-index-europe-cushions-a--global-plunge-in-ev-sales#, diakses 15 Februari 2021.

Moriarty, Patrick dan Stephen Jia Wang. "Can Electric Vehicles Deliver Energy and Carbon Reductions?," (disampaikan pada *The 8th International Conference on Applied Energy Proceedings)*, 2017.

Pusparisa, Yosepha. "Rapor Indonesia Menahan Laju Perubahan Iklim", https://katadata.co.id/arsip/analisis-data/602de2e0ee7f6/rapor-indonesia-menahan-laju-perubahan-iklim, diakses 31 Maret 2021.

Reuters, Indonesia says in early talks with Tesla on potential investment, https://www.reuters.com/article/us-tesla-indonesia/indonesia-says--in-early-talks-with-tesla-on-potential-investment-idINKBN26Q16I, diakses 11 Februari 2021.

Vincent Fabian Thomas, Potensi Investasi Tesla Terganjal Karena Indonesia Tak Ramah ESG, https://tirto.id/potensi-investasi-tesla-terganjal-karena--indonesia-tak-ramah-esg-gaa9, diakses 11 Februari 2021.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PROYEKSI POTENSI ENERGI SURYA SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN (STUDI WILAYAH AMBON DAN SEKITARNYA)

Deni Septiadi [1,2], Pieldrie Nanlohy [3,4], M. Souissa [4], Francis Y. Rumlawang [5]

[1]Program Doktor Sains Kebumian, Bidang khusus Sains Atmosfer, FITB, Institut Teknologi Bandung
[2] Stasiun Klimatologi Siantan-Pontianak, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
[3] Program Doktor Sains Kebumian, Bidang khusus Oseanografi, FITB, Institut Teknologi Bandung
[4] Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Pattimura, Ambon
[5] Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Pattimura, Ambon

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang melimpah akan energi surya dilihat dari letak yang potensial migrasi tahunan matahari. Pemanfaatan energi fosil sampai saat ini cukup mengkhwatirkan karena semakin menipisnya sumber energi disamping efek negatif yang ditimbulkannya akibat meningkatnya konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK). Peningkatan GRK akan memicu meningkatnya suhu permukaan dan menciptakan lingkungan tidak kondusif. Matahari sebagai sumber energi terbesar seharusnya dapat dimanfaatkan secara optimal untuk wilayah Indonesia. Diversifikasi energi merupakan langkah yang harus ditempuh untuk mendapatkan sumber lain sehingga mengurangi ketergantungan akan sumber fosil. Untuk mendapatkan gambaran riil akan energi surya tersebut perlu dilakukan analisis spasial distribusi potensi energi matahari untuk wilayah Indonesia keseluruhan dan Ambon secara khusus. Dengan melakukan kombinasi antara teknik Kriging dan metode iterasi Point Successive Over-Relaxation (PSOR) diharapkan memperlihatkan proyeksi pemetaan dengan resolusi yang lebih baik. Sebelumnya dilakukan optimalisasi data sekunder dengan model Curve Fitting.

Kata kunci : Energi surya, Diversifikasi, Kriging, PSOR, Curve Fitting

ABSTRACT

Indonesia is a country which excessive energy resources of solar showed by potential position of solar annual migration. Until this time fossil energy consumption so apprehensively, its because decreasing of energy resources besides negative effect of increasing Greenhouse Gases concentrate, that is increasing of surface temperature and creates inconducive environment. Sun as the biggest energy resource should be use optimally for Indonesia area. Diversification of energy is a final step to get another resources so release us of dependently fossil resources. For real description of solar energy, it needs spatial analysis of potential distribution of solar energy for Indonesia area particularly Ambon. By using combination between Kriging technique and iteration methods, Point Successive Over-Relaxation (PSOR), hoped indicates mapping projection with better resolution. Early by optimalisize secondary data using Curve Fitting models.

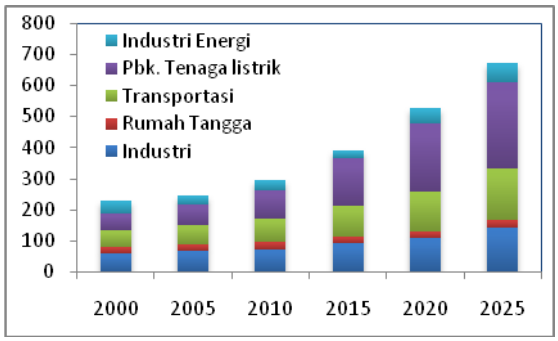
Keywords : Solar energy, Diversification, Kriging, PSOR, Curve Fitting

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ISSN : 1411-3082

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi fosil selama ini menimbulkan dampak negatif terutama meningkatnya kadar gas rumah kaca di atmosfer sehingga memicu terjadinya pemanasan secara global dan perubahan iklim. Ketika atmosfer semakin kaya akan gas-gas rumah kaca ini, ia semakin menjadi insulator yang menahan lebih banyak panas dari bumi (gelombang panjang) menuju atmosfer. Peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer menyebabkan meningkatnya radiasi yang terperangkap di atmosfer. Akibatnya, suhu rata-rata di seluruh permukaan bumi meningkat. Konsumsi berlebih bahan bakar seperti minyak, batu bara, dan gas alam yang terbuat dari sisa-sisa tanaman dan binatang purba oleh manusia menjadi penyebabnya.



Gambar 1. Proyeksi emisi CO_2 dari sektor energi Indonesia hingga tahun 2025 (sumber : NSS on CDM in Indonesia, 2001)

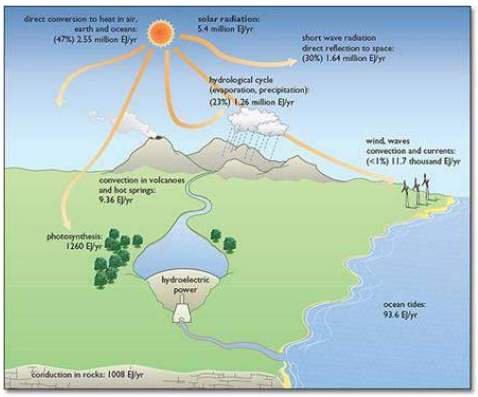
Energi matahari dijalarkan ke permukaan dan diradiasikan ke dalam ruang angkasa. Dalam perjalarannya ke permukaan, 30% energi matahari akan direfleksikan dan disebar kembali ke angkasa, memberikan bumi dan atmosfer albedo sekitar 30%, sementara itu sebanyak 19% diabsorbsi oleh atmosfer dan awan serta 51% diabsorbsi oleh permukaan [Ahrens, 2003].

Pantulan kembali dari permukaan bumi ke angkasa berupa *energi panas-sinar inframerah (longwave radiation)*, energi panas tersebut sebagian besar tidak dapat menembus kembali lapisan gas-gas atmosfer hanya sebagian kecil yang dapat lolos keluar. Tidak semua gelombang panjang yang dipantulkan kembali oleh bumi dapat menembus atmosfer menuju angkasa luar karena sebagian dihadang dan diserap oleh gas rumah kaca (GRK).

Di dalam inti matahari terjadi reaksi termonuklir atau reaksi rantai proton-proton (reaksi p-p), yaitu pada empat proton terjadi fusi membentuk inti baru yang mengandung dua proton dan dua neutron. Dari reaksi ini dapat dihasilkan energi sebesar 25 MeV atau 0,4 x 10^{-4} erg. Energi akibat kehilangan sejumlah massa tersebut dapat dinyatakan dalam :

$$E = m \, . \, c^2 \qquad \ldots 1$$

Dengan c adalah cepat rambat cahaya dan m adalah jumlah massa yang hilang. Dengan demikian kuantitas energi (E), jumlahnya akan semakin besar, sehingga total energi yang dihasilkan dari tak berhingga reaksi fusi yang terjadi pada inti matahari dalam tiap detiknya akan sangat besar.



Gambar 2. Matahari sebagai sumber energi (sumber : http://openlearn.open.ac.uk)

Posisi matahari dan kedudukan wilayah dipermukaan bumi memberikan pengaruh nyata terhadap potensi energi surya pada suatu wilayah. Potensi ini akan berubah tiap waktu, tergantung dari kondisi atmosfer, dan tempat (garis lintang) serta waktu (hari dalam tahun dan jam dalam hari).

Indonesia yang berada dalam wilayah khatulistiwa mempunyai potensi energi surya yang cukup besar sepanjang tahunnya. Energi surya sangat berpotensi untuk dimanfaatkan secara langsung sebagai sumber energi alternatif. Pemanfaatan energi surya ini dapat dilakukan secara termal maupun melalui

energi listrik. Pemanfaatan secara termal dapat dilakukan secara langsung dengan membiarkan objek pada radiasi matahari, atau menggunakan peralatan yang mencakup kolektor dan konsentrator surya.

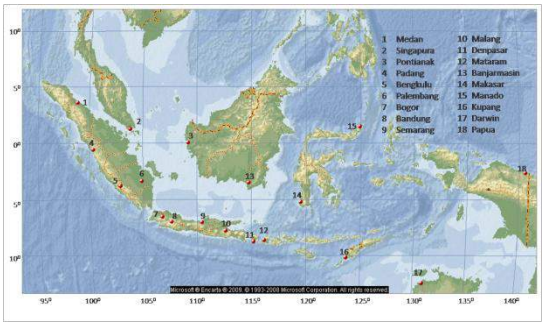
Informasi mengenai ketersediaan energi matahari merupakan hal penting dalam rangka mendukung usaha pemanfaatan energi matahari secara optimal. Pengetahuan mengenai besarnya radiasi matahari pada suatu lokasi merupakan hal yang penting dalam beberapa aplikasi energi matahari seperti desain arsitektur dan dan kenyamanan termal bangunan, sistem pemenfaatan energi matahari (*photovoltaic/PV, solar concentrator, solar collector)* dan lain-lain [Mubiru, 2008].

Perlu dilakukan diversifikasi pemanfaatan sumber energi selain fosil yang memiliki keterbatasan dan rentan memicu kerusakan lingkungan. Diversifikasi ini dapat dimulai dengan melakukan pendayagunaan energi matahari yang sangat potensial dan tak terbatas terutama untuk wilayah Indonesia.

2. DATA DAN METODE

2.1 Data

Penelitian ini menggunakan data harian radiasi matahari ($Mj.m^{-2}.hari^{-1}$) dan lama penyinaran (jam) yang dikumpulkan dari enam belas (16) stasiun observasi permukaan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) serta data tambahan dari Singapura (Meteorological service Singapore) dan Australia (Darwin) yang didapat dari http://www.bom.gov.au/ dengan periode bervariasi antara 1991-2006. Disamping itu digunakan pula data curah hujan bulanan rata-rata selama 30 tahun (1961-1990) yang didapat dari http://www.worldweather.org/ untuk melihat pola klimatik beberapa wilayah di sekitar Ambon.



Gambar 3. Distribusi sebaran data penelitian

2.2 Metode

2.2.1 Curve Fitting

Data yang terkumpul diolah dan dilakukan denoisasi serta optimalisasi menggunakan model Curve Fitting. Persamaan yang digunakan dalam optimasi data dengan model Curve Fitting adalah pendekatan matematik Polynomial pangkat ke-n:

$$P_n(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \cdots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0, \quad a_n \neq 0 \qquad \ldots 2$$

Sebelumnya dilakukan denoisasi dengan dengan teknik Moving average yang menempatkan setiap nilai data dengan perata-rataan dirinya sendiri. Jika observasi pada waktu *t* ditandai dengan notasi *Yt*, dan *l* adalah positif integer, maka formulasi moving average adalah :

$$A_{l,t} = \frac{1}{l}\left(Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + Y_{t-l+1} \right) \qquad \ldots 3$$

2.2.2 Model Estimasi Radiasi Matahari

Hubungan sudut jam matahari ω, deklinasi δ, lintang lokasi $\emptyset$:

$$\sin\alpha = \cos\emptyset \sin\delta + \cos\emptyset \cos\delta \cos\omega \qquad \ldots 4$$

Dengan definisi sudut deklinasi sebagai sudut antara sinar matahari dan garis tegak lurus terhadap sumbu polar pada bidang sinar matahari.

$$\delta = 23.45 \sin 360\left[\frac{(284+m)}{365}\right] \qquad \ldots 5$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Dengan nilai deklinasi positif ketika matahari di utara ekuator dan negatif ketika di selatan ekuator.

Perubahan besaran radiasi dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$I_o(m) = I_{sc}[1 + 0.034\cos(\frac{360m}{365})] \quad \ldots 6$$

Dimana I_{sc}= 1367 W/m^2 (*solar constan)* dan m = Julian day.

Besar radiasi ekstraterestrial antara matahari terbit sampai terbenam adalah :

$$H_o = I_{sc}\left(\frac{24}{\pi}\right)(1 + \ldots 0.034\cos\left(\frac{360m}{365}\right))(\cos\emptyset\cos\delta\sin\omega_{ss} + (\pi\omega_{ss}/180)\sin\emptyset\sin\delta) \quad \ldots 7$$

2.2.3 Analisis Kriging

Tinjau nilai *z(u)* pada titik *u*, estimator kriging :

$$Z^*_{SK}(u) - m = \sum_{i=1}^{n(u)} \lambda_i^{SK}(u)[Z(u_i) - m] \quad \ldots 8$$

Dengan :

λ adalah bobot setiap residu $Z(u_i) - m$
m adalah rata-rata stasionary
n(u) jumlah data disekitar lokasi *u*

Ketika variabel acak digunakan, akan memperlihatkan bahwa estimator kriging *unbias* :

$$E\{Z^*_{SK}(u) - Z(u)\} = E\{Z^*_{SK}(u)\} - E\{Z(u)\}$$
$$= E\left\{m + \sum_{i=u}^{n(u)} \lambda_i^{SK}(u)\ [Z(u_i) - m]\right\} - m$$
$$= E\left\{m + \sum_{i=u}^{n(u)} \lambda_i^{SK}(u)\ [E\{Z(u_i)\} - m]\right\} - m$$
$$= m + \sum_{i=u}^{n(u)} \lambda_i^{SK}(u)[m - m] - m$$
$$= 0 \quad \ldots 9$$

Untuk meminimalkan error, maka dilakukan penurunan parsial varian error terhadap bobot dan menyamakan dengan nol:

$$\frac{\partial\sigma_E^2(u)}{\partial\lambda_i^{SK}(u)} = 2\sum_{i=u}^{n(u)} \lambda_i^{SK}(u)C(u_i - u_j) - 2C(u_i - u) = 0 \quad i = 1 \ldots n(u) \quad \ldots 10$$

Sehingga persamaan Kriging dapat ditulis menjadi :

$$\sum_{i=u}^{n(u)} \lambda_i^{SK}(u)C(u_i - u_j) = C(u_i - u) \quad i = 1 \ldots n(u) \quad \ldots 11$$

2.2.4 Point Successive Over-Relaxation (Psor)

Resolusi pemetaan spasial diperhalus dengan metode iterasi Point Successive Over-Relaxation (PSOR). Berikut deskripsi persamaan model PSOR, pertama-tama tinjau iterasi Gauss Siedel :

$$u_{i,j}^{k+1} = \frac{1}{2(1+\beta^2)}\left[u_{i+1,j}^{k} + u_{i-1,j}^{k+1} + \beta(u_{i,J+1}^{k} + u_{i,J-1}^{k+1}\right] \quad \ldots 12$$

Tambahkan $u_{i,j}^{k} - u_{i,j}^{k}$ pada sisi kanan, sehingga :

$$u_{i,j}^{k+1} = u_{i,j}^{k} + \frac{1}{2(1+\beta^2)}\left[u_{i+1,j}^{k} + u_{i-1,j}^{k+1} + \beta(u_{i,J+1}^{k} + u_{i,J-1}^{k+1}\right] - 2(1+\beta^2)u_{i,j}^{k} \quad \ldots 13$$

Proses solusi selanjutnya, $u_{i,j}^{k}$ didekati dengan $u_{i,j}^{k+1}$, dilakukan perkalian dengan ω yang merupakan faktor relaksasi :

$$u_{i,j}^{k+1} = u_{i,j}^{k} + \frac{\omega}{2(1+\beta^2)}\left[u_{i+1,j}^{k} + u_{i-1,j}^{k+1} + \beta(u_{i,J+1}^{k} + u_{i,J-1}^{k+1}\right] - 2(1+\beta^2)u_{i,j}^{k} \quad \ldots 14$$

Dengan solusi konvergen : $0 < \omega < 2$. Jika $0 < \omega < 1$, maka disebut di bawah relaksasi.

Persamaan akhir menjadi :

$$u_{i,j}^{k+1} = (1-\omega)u_{i,j}^{k} + \frac{\omega}{2(1+\beta^2)}\left[u_{i+1,j}^{k} + u_{i-1,j}^{k+1} + \beta(u_{i,J+1}^{k} + u_{i,J-1}^{k+1}\right] \quad \ldots 15$$

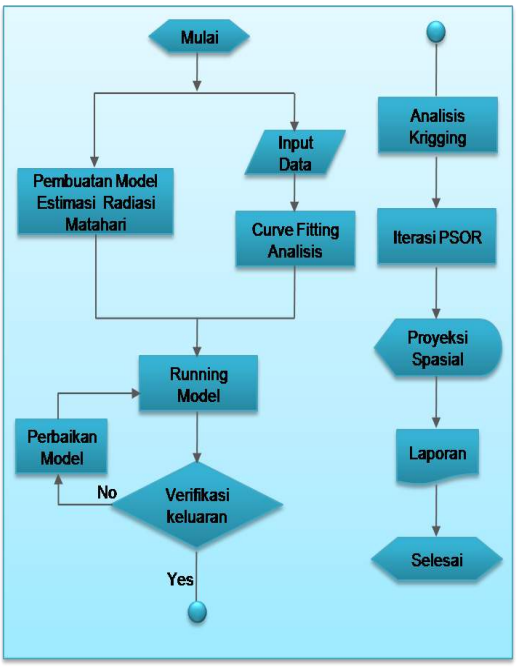
Untuk mendapatkan relaksasi optimum :

$$\omega_{opt} = \frac{2-2\sqrt{1-a}}{a} \quad \ldots 16$$

$$a = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{IM-1}\right)+\beta^2\cos\left(\frac{\pi}{JM-1}\right)}{1+\beta^2}\right]^2 \quad \ldots 17$$

2.2.4 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir penelitian :



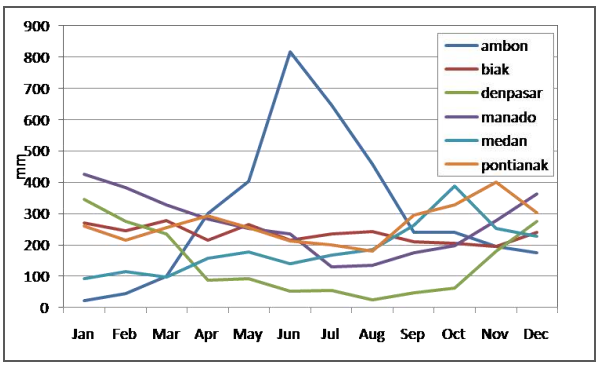
Gambar 4. Diagram alir kegiatan

3. HASIL DAN ANALISIS

Radiasi matahari menciptakan fluks panas yang memainkan peranan penting dalam sirkulasi global. Panas laten dilepaskan ketika terjadi kondensasi uap air menjadi butir awan atau sejumlah besar awan sepanjang proses konveksi pada Intertropical Convergence Zone (ITCZ) yang berada di atas wilayah Indonesia [Siregar, Septiadi dan Liong, 2008].

Di Kalimantan tepatnya Pontianak, radiasi matahari berbanding lurus dengan jumlah curah hujan. Radiasi yang besar tersebut bertanggung jawab terhadap konveksitas (updraft) suatu kolom udara yang menghasilkan pola cuaca/iklim [Septiadi, 2008].

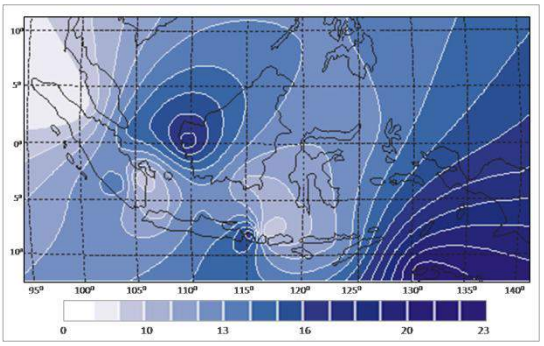
Ambon termasuk wilayah klimatik yang unik yang cukup berbeda dibanding wilayah lainnya di Indonesia. Pola hujannya merupakan pola lokal berbanding terbalik dengan tipe hujan monsun.



Gambar 5. Curah hujan rata-rata 30 tahun (1961-1990)

Gambar 6 memperlihatkan hasil pemetaan spasial distribusi radiasi rata-rata bulanan secara keseluruhan area penelitian. Dua sebaran distribusi terbesar terdapat di Kalimantan (Pontianak) dan Australia (Darwin).

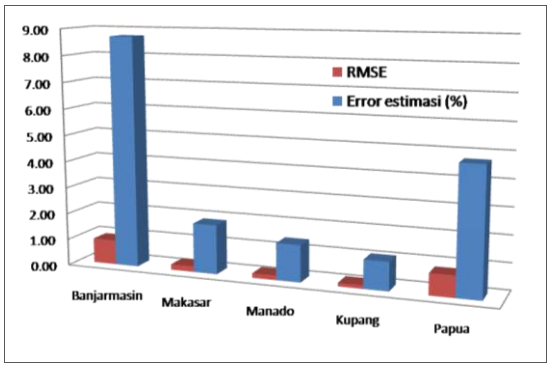
Secara keseluruhan wilayah Indonesia menerima radiasi matahari yang cukup tinggi rata-rata 12,38 $MJ.m^{-2}.hari^{-1}$. Hal ini dikarenakan posisi matahari yang cenderung tegak lurus terhadap ekuatorial.



Gambar 6. Distribusi spasial karakteristik radiasi Indonesia

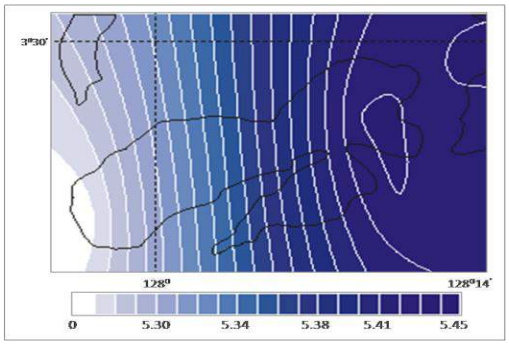
Hasil estimasi model pemetaan secara spasial memperlihatkan akurasi yang cukup baik sebagaimana ditunjukkan pada gambar 7 yang merupakan sampling error lima wilayah penelitian : *Banjarmasin, Makasar, Manado, Kupang, dan Papua*.

Error estimasi (%) berkisar antara 1,07-8,72% dimana rata-rata error 3,56% yang masih dibawah ambang error 5%. Sementara itu RMSE memperlihatkan kisaran antara 0,13-0,94 dengan rata-rata 0,45. Dengan demikian model cukup memberikan hasil estimasi pemetaan yang cukup baik.



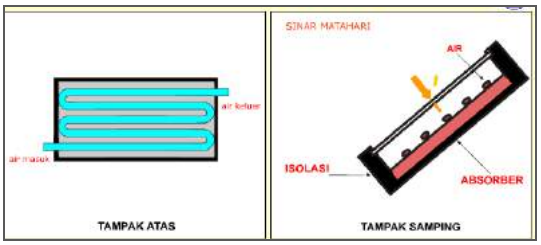
Gambar 7. Sampling error estimasi pemetaan spasial

Untuk mendapatkan proyeksi spasial potensi surya wilayah Ambon dilakukan penyempitan ruang dengan meningkatkan resolusi dan melihat kisaran terendah radiasi matahari. Hal ini untuk melihat kemungkinan terburuk dalam penyediaan sumber energi.



Gambar 8. Kisaran radiasi terendah untuk wilayah Ambon

Kisaran radiasi terendah untuk wilayah Ambon berkisar antara 5-5,4 $MJ.m^{-2}.hari^{-1}$. Aplikasi pemanfaatan energi surya dapat dilakukan dengan mengembangkan kolektor datar dan konsentrator untuk mengumpulkan energi radiasi surya sedemikian sehingga energi termal yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara lebih praktis untuk berbagai proses. Kolektor datar surya terdiri dari *cover* (penutup) transparan, absorber dan insulator.



Gambar 9. Kolektor surya

Dengan mengasumsikan kolektor memerlukan panas untuk proses balancing sebesar 3000 W, suhu kolektor 80^0C, suhu lingkungan 30^0C, koefisien pindah panas keseluruhan 5 W/m^2, efisiesnsi optik 0.8 maka untuk wilayah ambon didapat jumlah panas yang dapat dihasilkan per satuan luas adalah 99,6 W/m^2 dengan luas kolektor yang diperlukan 30 m^2.

Namun dengan perhitungan rata-rata radiasi normal luas kolektor yang diperlukan tentu menjadi lebih kecil dan efisien lagi. Apalagi Ambon merupakan wilayah perawanan yang tidak terlalu banyak (signifikan) dibanding wilayah lain di Indonesia seperti Kalimantan sehingga

radiasi yang masuk tidak mengalami proses atenuasi oleh berbagai partikel kondensasi pembentuk awan. Sehingga pemanfaatan energi surya merupakan alternatif yang cukup menjanjikan.

4. KESIMPULAN

Sebagai wilayah yang dilalui garis khatulistiwa, Indonesia menerima radiasi yang cenderung tegak lurus dibanding wilayah lain dimuka bumi. Sehingga memberikan kontribusi dalam pemanfaatan energi surya.

Optimalisasi data sekunder menggunakan model Curve Fitting memperkecil noise dan kesalahan dalam *data gathering*. Selanjutnya dengan melakukan kombinasi analisis Kriging dan Point Successive Over-Relaxation (PSOR), didapatkan resolusi yang cukup baik dalam melihat secara spasial karaktersistik dan distribusi energi matahari.

Hasil estimasi model pemetaan secara spasial memperlihatkan akurasi yang cukup baik. Error estimasi rata-rata 3,56% yang masih dibawah ambang error 5%, sementara itu RMSE rata-rata 0,45. Dengan demikian model memberikan hasil estimasi pemetaan yang cukup baik.

Pemanfaatan aplikasi energi surya menggunakan kolektor datar dan konsentrator untuk mengumpulkan energi radiasi surya dengan tingkat sebaran radiasi terendah wilayah Ambon setidak-tidaknya dihasilkan 99,6 W/m^2 panas dengan luas kolektor yang diperlukan 30 m^2.

Dengan estimasi model tersebut di atas, Ambon merupakan wilayah yang cukup potensial untuk pengembangan energi alternatif pengganti energi fosil yang memberikan banyak kekurangan dan efek negatif bagi lingkungan.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Ahrens, C. Donald. [2003], *Meteorology Today,* An introduction to weather, climate, and environment. Thomson learning, Inc. Amerika.

2. Anonim. [2001]. Ministry of Environment, Republic of Indonesia. *National Strategy Study on Clean Development Mechanism in Indonesia*.

3. Mubiru, J. and Banda, E.J.K.B. [2008]. Estimation of monthly average daily global solar irradiation using artificial neural network, *Solar Energy* 82, 181-187.

4. Septiadi, 2008. *Aplikasi Softcomputing Pada Prediksi Curah Hujan Di Kalimantan*, Jurnal Meteorologi dan Geofisika, Vol.9 No.2 November 2008, ISSN : 1411-3082 hal 65-71.

5. Siregar, P., Septiadi, D., Liong, T. (2008). Weather/Climate Model in Indonesia and Terrestrial Effects of Solar Activity. *Proceedings of the International Symposium on Climate and weather of the sun-earth system.* November 24-26, 2008. Jakarta, Indonesia Hal 1-6.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

INFOMATEK
Volume 22 Nomor 2 Desember 2020

RANCANG BANGUN ALAT UJI BIOMASSA UNTUK MENGETAHUI EMISI GAS BUANG SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN

Aa Santosa[*)], Farradina Choria Suci

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik-Universitas Singaperbangsa Karawang

Abstrak: Terdapat alat yang diperlukan agar mampu memberikan informasi mengenai karakteristik dari emisi gas buang pada pembakaran biomassa sehingga bisa menentukan jenis kayu yang paling efektif untuk digunakan sebagai bentuk energy alternative dan terbarukan terbarukan. Pada kajian ini dirancang dan dibuat sebuah alat untuk memberikan informasi emisi gas buang kayu, yaitu sebuah tungku (furcane) dengan menggunakan material semen tahan api untuk ruang bakar yang dilapisi bata tahan api, dan casing plat baja sebagai isolator. Tungku dilengkapi tambahan komponen kipas pada pintu depan untuk membantu mengalirkan udara saat pembakaran langsung dan sensor gas analyzer untuk mendapatkan data emisi gas buang yang dipasang pada saluran keluar udara. Tungku (furnace) yang dibuat mampu mencapai suhu 800°C dari temperatur 32°C dalam waktu 360 menit. Pengujian dilakukan untuk melihat karakteristik emisi gas buang dengan menggunakan jenis kayu Mahoni, Nangka dan Jati, karena jenis kayu ini banyak sekali tumbuh di Indonesia. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kayu Mahoni memiliki kadar air 12,24 %, kadar zat terbang 83,5 %, kadar abu 0,57 %, dan kadar karbon terikat 3,69 %. Kayu Nangka memiliki kadar air 13,34 %, kadar zat terbang 82,5 %, kadar abu 0,25 %, dan kadar karbon terikat 3,64 %. Kayu Jati memiliki kadar air 42,22 %, kadar zat terbang 71,6 %, kadar abu 0,35 %, dan kadar karbon terikat 3,71 %. Berdasarkan pengujian ini, didapatkan bahwa kayu Mahoni ini mudah menyala jika dibakar, dengan kadar air paling sedikit dihasilkan.

Kata kunci: Karakteristik, Emisi Gas Buang, Biomassa, *Furnace*, *Gas Analyzer*

I. PENDAHULUAN

Konsumsi energi telah menjadi bagian dari kebutuhan hidup manusia sehari-hari, terutama konsumsi energi yang berbahan dasar fosil. Menurut data BPPT-OEI (Sugiyono [1]), Sumber daya energi banyak dihasilkan dari fosil seperti minyak bumi, gas bumi dan batubara.

Emisi dari hasil pembakaran energi bahan bakar, baik itu berupa padat, cair, maupun gas dapat menimbulkan efek negatif pada lingkungan salah satunya meningkatnya suhu permukaan bumi, sehingga perlu energi dan cara pemanfaatan energi tersebut sehingga proses pembakaran yang memiliki kualitas baik dan ramah lingkungan [1]. Energi Baru Terbarukan (EBT) merupakan energi yang dapat menjadi solusi dari permasalahan ini,

[*)] aa.santosa@ft.unsika.ac.id

Pertama diterima: 8 September 2020
Direvisi: 13 November 2020
Disetujui untuk publikasi: 14 November 2020

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

karena energi ini memiliki potensi pembaruan yang cepat dan emisi yang dihasilkan lebih ramah dari energi fosil yang ada. Salah satunya yaitu memanfaatkan energi yang berasal dari tumbuhan atau tanaman yang dapat dibakar dan bersifat terbarukan, dimana kadar karbondioksida, sulfur yang rendah (Mulyasari [2]).

Biomassa dihasilkan dari tanaman, hewan dan mikroorganisme. Indonesia banyak menghasilkan energi yang bisa dimanfaatkan dengan teknologi sederhana sehingga bisa menghasilkan energi terbarukan. Namun sebelum dapat digunakan sebagai bahan bakar perlu dilakukan kajian terhadap karakteristik dan emisi gas buang dari bahan bakar biomassa tersebut [2].

Bahan baku biomassa yang sangat mudah ditemui adalah kayu. Kajian tersebut dilakukan menggunakan analisa proksimat untuk mengetahui kadar air (*moisture content*), zat terbang (*volatile matter*), abu (*ash*), dan karbon tetap (*fixed carbon*). Selain itu, perlu juga dilakukan analisa terhadap hasil proses pembakaran pada tumbuhan atau kayu yang berlangsung seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO_2), dan nitrogen oksida (NOx).

Pengujian terhadap karakteristik dan emisi gas buang bertujuan untuk mengetahui jenis kayu yang tepat untuk digunakan sebagai biomassa bahan bakar alternatif di masa yang akan datang. Berdasarkan uraian diatas maka dibutuhkan sebuah alat yang mampu memberikan informasi mengenai karakteristik dan emisi gas buang pada biomassa, maka dirancang sekaligus dibuat sebuah tungku untuk membakar kayu yang diuji (Rahmat [5]).

II. METODOLOGI

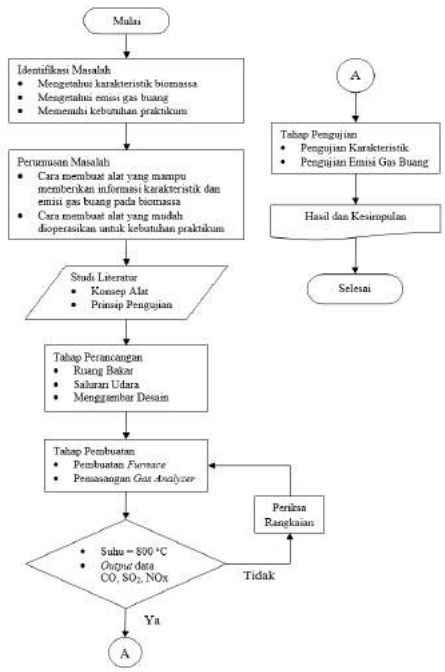
2.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap, yaitu tahap perancangan, tahap pembuatan, dan tahap pengujian. Tahap perancangan meliputi tahap pengumpulan data literatur, pencarian data material yang digunakan, dan diskusi dengan berbagai narasumber.

Pembuatan alat ini dilakukan di laboratorium Proses produksi, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang. Setelah tahap pembuatan selesai, maka tahap selanjutnya adalah tahap pengujian.

Pengujian dilakukan melalui dua tahap, yaitu pengujian dengan menggunakan analisis proksimat untuk mengetahui karakteristik dari biomassa menggunakan *furnace* dan pengujian dengan menggunakan *gas analyzer* untuk mengetahui hasil proses pembakaran.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



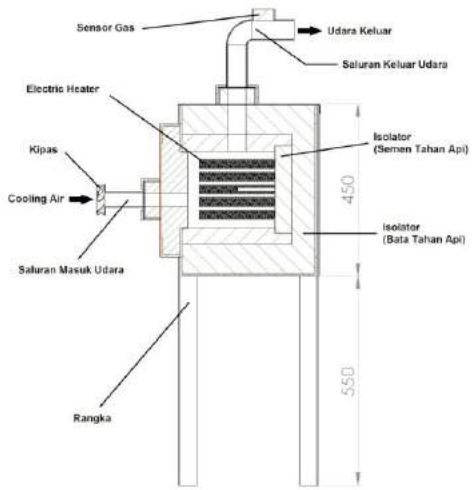
Gambar 1.
Diagram Alir

2.2 Desain Perancangan

Sebelum membuat alat, terlebih dahulu dibuat desain alat yang akan dibuat. Pembuatan desain ini menggunakan *software* SolidWorks.

2.3 Pembuatan *Furnace*

Proses Pembuatan alat uji dilakukan setelah semua data tersedia. Tahap pembuatan alat diantaranya perakitan rangka utama, pemasangan isolator bata tahan api dan semen tahan api, *casing*, pintu depan, pintu geser depan, pintu geser atas, dan pemasangan *gas analyzer.*



Gambar 2.
Rancangan *Furnace*

Berdasarkan spesifikasi yang telah ada, selanjutnya tahap dimulai dari pembuatan ruang bakar dari material semen tahan api yang dicor dengan dimensi panjang 200 mm, lebar 200 mm, tinggi 200 mm, dan tebal 45 mm. Material semen tahan api dipilih karena material ini mengandung unsur silica, carbida, dan unsur lain yang mampu tahan sampai temperatur 1400 ^{o}C. Pada saat pengecoran pada bidang bagian dalam diberikan rongga untuk pemasangan pemanas elektrik [3].



Gambar 3.
Dinding *Furnace*

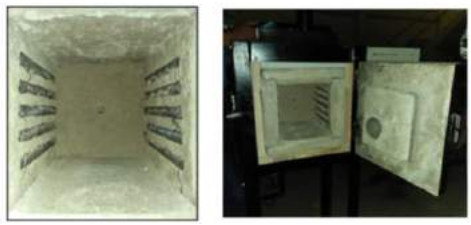
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tahap selanjutnya menyiapkan bata tahan api sebagai bahan isolator. Pemilihan material ini dikarenakan kemampuannya sama dengan semen tahan api yaitu mampu tahan sampai temperatur 1200 ^{o}C. Kemudian pembuatan rangka menggunakan baja siku ukuran 50 mm x 50 mm x 5 mm sesuai dengan desain yang telah dibuat (Gustar [4]).



Gambar 4.
Ruang Bakar *Furnace*

Pemanas elektrik dipasang pada bagian rongga ruang bakar yang telah dibuat. Pemanas elektrik ini dirangkai paralel agar suhu yang dibutuhkan dapat tercapai dengan cepat. Sistem pemanas elektrik tersebut kemudian disambung pada sistem kontrol temperatur agar suhu yang dibutuhkan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan pengujian (Jihan [5]). Sistem kontrol menggunakan kontrol *dimmer* potensiometer AC 4000 Watt dengan pengaman MCB arus maksimal 20 Ampere.



Gambar 5.
Pemanas Elektrik

2.4 Pemasangan *Gas Analyzer*

Alat ini dirakit di dalam *panel box* bersama dengan sistem kontrol listrik, bagian sensor gas dipasang pada pipa saluran keluar agar dapat mendeteksi kadar emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran yang terjadi saat pengujian. Selain pemasangan sensor gas, juga dipasang kipas pada bagian saluran masuk untuk membantu proses pembakaran yang terjadi dalam ruang bakar [5].

Setelah seluruh komponen terpasang, maka alat uji karakteristik dan emisi gas buang telah selesai dibuat



Gambar 6
Furnace alat pembakaran Biomassa

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2.5 Tahapan Pengujian

Alat yang digunakan untuk melakukan proses karakterisasi antara lain *furnace*, dan cawan porselin. Proses pengujian mengikuti prosedur berdasarkan standar ASTM (Badan Standardisasi Indonesia [6]). Berikut merupakan prosedur pengujian yang dilakukan:

1. Kadar Air (*Moisture*)

Prosedur pengujian jumlah air yang terkandung dalam kayu mengacu pada standar ASTM E 871. Metode ini dilakukan dengan memasukan serbuk kayu sebanyak 1 gram dalam *furnace* selama 24 jam pada temperatut *furnace* 105 $^{\pm 3\,oC}$ atau hingga berat keringnya konstan.

$$kadar\ air(\%) = \frac{massa\ sample - massa\ kering}{massa\ sample} \times 100\% \quad (1)$$

2. Kadar Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Prosedur pengujian kadar zat terbang mengacu pada standar ASTM E 872. Metode ini dilakukan dengan menimbang serbuk kayu sebanyak 1 gram dalam cawan porselen. Kemudian, cawan porselen yang berisi serbuk kayu dimasukkan kedalam *furnace* dan dipirolisis pada suhu 800 ^{o}C selama 7 menit. *Sample* didinginkan dalam desikator, kemudian *sample* yang telah dingin kemudian ditimbang.

$$Kadar\ zat\ terbang\ (\%) = \frac{massa\ yang\ hilang}{massa\ sample} \times 100\% \quad (2)$$

3. Kadar Abu (*Ash*)

Kadar abu merupakan kandungan mineral dalam bahan yang merupakan sisa dari proses pembakaran *sample* [2]. Prosedur pengujian kadar abu mengacu pada standar ASTM D 1102. Metode ini dilakukan dengan memasukkan serbuk kayu sebanyak 2 gram ke dalam cawan porselen dan diabukan dalam *furnace* pada suhu 600 ^{o}C selama 6 jam. *Sample* didinginkan dalam desilator, kemudian *sample* yang telah dingin kemudian ditimbang.

$$Kadar\ abu\ (\%) = \frac{massa\ abu}{massa\ sample} \times 100\% \quad (3)$$

4. Kadar Karbon Terikat (*Fixed Carbon*)

Kadar karbon terikat merupakan kandungan karbon dalam *sample* setelah penghilangan zat terbang dan abu

$$Kadar\ fc = 100\% - kadar\ zat\ terbang - kadar\ abu - kadar\ air \quad (4)$$

2.6 Pengujian Emisi Gas Buang

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui emisi yang dihasilkan dari pembakaaran biomassa agar dapat dipelajari potensi pemanfaatan biomassa yang baik. Data yang diambil dari pengujian berupa data karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO_2), dan nitrogen oksida (NOx).

Berikut merupakan prosedur pengujian yang dilakukan

1. Sample biomassa yang diuji dimasukkan kedalam cawan porselin, kemudian *sample* tersebut dibakar langsung oleh pemantik

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

api. Setelah *sample* terbakar maka dimasukkan kedalam ruang bakar *furnace.*

2. Biarkan *sample* terbakar sampai hampir habis, kemudian hidupkan kipas yang dikontrol kecepatannya sesuai kebutuhan dan *gas analyzer* untuk membaca hasil emisi yang dihasilkan dari pembakaran biomassa
3. Data hasil pengujian ditampilkandilayar LCD.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dalam Pengujian yang dilakukan ini menggunakan tiga jenis kayu yaitu Kayu Mahoni, Kayu Nangka dan katu Jati.

3.1 Pengujian Emisi gas buang.

Sample kayu dibakar langsung dalam cawan porselen kemudian dimasukkan kedalam ruang bakar. Kemudian gas buang yang keluar melalui cerobong akan dibaca oleh sensor *gas analyzer.*



Gambar.7.

Pembakaran langsung serbuk kayu



Gambar.8.

Hasil pembacaan emisi gas buang

Tabel 1. Hasil Emisi Gas Buang

Jenis Kayu	**Mahoni**
Jenis Emisi Gas Buang	Nilai Emisi (ppm)
Karbon Monoksida (CO)	47,50
Sulfur Dioksida (SO_2)	0,11
Nitrogen Oksida (NOx)	0,76
Jenis Kayu	**Nangka**
Jenis Emisi Gas Buang	
Karbon Monoksida (CO)	57,01
Sulfur Dioksida (SO_2)	0,16
Nitrogen Oksida (NOx)	13,21
Jenis Kayu	**Jati**
Jenis Emisi Gas Buang	
Karbon Monoksida (CO)	74,78
Sulfur Dioksida (SO_2)	0,37
Nitrogen Oksida (NOx)	22,36

3.2 Pengujian Karakteristik

Pengujian karakteristik dilakukan menggunakan analisis proksimat untuk mengetahui kadar air, zat terbang, kadar abu, dan karbon terikat, dengan menggunakan persamaan [2], [4], [5], [6].



Gambar 9.

Penimbangan sample kayu



Gambar 10.

Pemanasan *sample* untuk analisis proksimat

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tabel 2 Hasil Pengujian Karakteristik

Jenis Kayu Mahoni	
Jenis Kadar	Persentase
Kadar Air	12,24 %
Kadar Zat Terbang	83,5 %
Kadar Abu	0,57 %
Kadar Karbon Terikat	3,69 %
Jenis Kayu Nangka	
Jenis Kadar	
Kadar Air	13,34 %
Kadar Zat Terbang	82,5 %
Kadar Abu	0,25 %
Kadar Karbon Terikat	3,64
Jenis Kayu Jati	
Jenis Kadar	
Kadar Air	42,22
Kadar Zat Terbang	71,6 %
Kadar Abu	0,35 %
Kadar Karbon Terikat	3,71

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh dapat kita ketahui bahwa kadar air tertinggi terdapat pada kayu mahoni dengan kadar air 12,24 %. Kadar air memiliki peranan yang cukup penting pada nilai kalor dari tiap biomassa. Namun, nilai kalor tidak hanya dipengaruhi oleh kandungan air saja, melainkan kandungan karbon, hidrogen, dan oksigen yang terdapat pada tiap biomassa.

Kadar zat terbang pada kayu mahoni mencapai 83,5 %. Kadar zat terbang yang tinggi, menyebabkan kayu mahoni akan lebih mudah untuk terbakar.

Untuk kadar abu pada kayu mahoni mencapai 0,57 %. Emisi abu yang sedikit akan memudahkan pembersihan sisa pembakaran, karena abu yang ditinggalkan tidak terlalu banyak. Kadar karbon terikat yang terdapat pada kayu mahoni mencapai 3,69 %. Semakin besar kandungan karbon terikat memungkinkan reaksi pembakaran berjalan dengan lebih baik.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, pembuatan dan pengujian pada alat tersebut bisa dibuat kesimpulan yaitu:

1. Tungku (*furnace*) yang dibuat mampu mencapai suhu 800 ^{o}C dari temperatur 32 ^{o}C dalam waktu 360 menit.
2. Alat yang dibuat bisa digunakan untuk melakukan pengujian.
3. Dari hasil pengujian dengan menggunakan tiga jenis kayu yang berbeda maka jenis kayu yang paling baik adalah kayu mahoni karena kadar air nya paling rendah sekitar 12,24%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Sugiyono, Agus., Anindhita., Laode M.A. Wahid., Adiarso. 2016. *Outlook Energi Indonesia 2016: Pengembangan Energi untuk Mendukung Industri Hijau*. Jakarta: Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK), 2016.

[2] Mulyasari,Tia.2013. *Karakteristik Beberapa Jenis Kayu Sebagai Bahan*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Baku Energi Biomassa. Bogor : e-journal Institut Pertanian Bogor, 2013.

[3] Rahmat, Muhammad Rais. 2015. *Perancangan dan Pembuatan Tungku Heat Treatment*. Bekasi : e-journal Universitas Islam "45" Bekasi, 2015, Vol. 3.

[4] Hendry Gustar," Perancangan Tungku Mufle untuk proses Heat Treatment Material Logam", Skripsi Tugas Akhir, 2016.

[5] M. Arief Jihan, ' Rancang bangun pemanas air listrik dengan menggunakan Arduino", Skripsi Tugas Akhir, 2019.

[6] Badan Standardisasi Indonesia. 2005. *Nilai Ambang Batas (NAB) Zat Kimia di Udara Tempat Kerja*. [Online] 2005. Diakses: 11 Februari 2017. http://web.ipb.ac.id. 19-0232-2005.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

JKPTB
Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem 10(1) 2022

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro untuk Penggerak Pompa Hidroponik

Eri Gas Ekaputra, Iqbal Tri Junaidy, Rusnam, Delvi Yanti

Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas

email: erigas@ae.unand.ac.id

RIWAYAT ARTIKEL
Disubmit 3 Maret 2022
Diterima 21 Maret 2022
Diterbitkan 20 April 2022

KATA KUNCI
Energi listrik; energi terbarukan; hidroponik; picohidro

ABSTRAK
Salah satu pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Picohidro (PLTPH) disektor pertanian adalah sebagai penggerak pompa hidroponik agar sirkulasi nutrisi pada tanaman dapat terpenuhi. Penggunaan *blower* yang dimodifikasi untuk menjadi turbin dalam menghasilkan listrik, dapat menghemat biaya dalam pembuatannya. Tujuan penelitian ini adalah merancang bangun picohidro untuk hidroponik sebagai solusi pemanfaatan energi terbarukan pada daerah yang tidak mendapatkan akses listrik. Penelitian dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu rancangan alat mencakup rancangan picohidro, pompa DC, dan rangka hidoponik, pembuatan alat, pengujian alat, dan analisis data pengujian kinerja alat yang telah dibuat. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, pembangkit listrik tenaga picohidro sebagai penggerak pompa hidroponik yang dibuat sudah sesuai dengan rancangan awal. Nilai debit rata-rata yang didapatkan adalah $2.27x10^{-3}$ m^3/s dengan tinggi jatuh air 0.75 m. Berdasarkan debit air dan tinggi jatuh air ini, maka didapatkan daya potensi air rata-rata sebesar 16.70 watt. Rata-rata daya listrik yang dihasilkan oleh rancangan tanpa beban pompa 6.77 watt. Sedangkan daya rata-rata menggunakan beban pompa 5.74 watt. Kehilangan air pada sistem pertanian hidroponik ini ialah 1%. Efisiensi Picohidro rata-rata selama pengamatan 34.43% dan efisiensi pompa adalah 5.12%.

doi https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2022.010.01.05

1. Pendahuluan

Energi listrik memiliki peranan yang tinggi bagi kehidupan manusia. Apalagi pada masa Revolusi Industri 4.0 yang membuat konsumsi listrik kian meningkat. Konsumsi listrik Indonesia sebesar 178 193.86 GWh dengan sumber energi utama adalah batubara 58.36%, gas alam 27.31%, minyak 6.20%, tenaga air 5.69%, panas bumi 2.13%, dan 0.31% dari bahan bakar campuran lainnya [1]. Kondisi ini menyatakan bahwa kita masih ketergantungan terhadap energi non terbarukan. Efek dari penggunaan bahan bakar fosil pun tidak menguntungkan bagi lingkungan karena dapat mengakibatkan efek rumah kaca dan mempercepat pemanasan global. Pemerintah Indonesia mendorong untuk tidak lagi menggunakan energi fosil, tetapi menghasilkan listrik dari sumber energi terbarukan. Sementara itu, pasokan pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi terbarukan sulit untuk berkembang karena tidak dapat diandalkan dan mahal. Hal ini terkait dengan keterbatasan dan fluktuasi ketersediaan energi terbarukan itu sendiri. Sumber energi terbarukan secara umum untuk pembangkit listrik adalah matahari, angin, dan air. Pembangkit listrik tenaga picohidro (PLTPH) yang dapat menghasilkan energi listrik secara terus menerus dengan memanfaatkan tinggi jatuh air untuk memutar turbin, merupakan salah satu alternatif yang mampu menjawab tuntutan tersebut.

Pembangkit listrik picohidro merupakan pembangkit yang menghasilkan listrik di bawah 5 kW. Daerah yang dekat dengan saluran air dapat digunakan untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga picohidro. Hal ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan energi di suatu wilayah yang tidak terjangkau listrik dan mengantisipasi biaya energi yang kian mahal. Pembangkit listrik tenaga picohidro merupakan pembangkit tenaga listrik skala

kecil yang memerlukan tenaga air untuk sumber penggeraknya. Aliran air yang bisa digunakan seperti saluran irigasi dan air terjun (sungai). Selain itu, sumber energi yang bersumber dari picohidro juga dapat digunakan untuk industri atau kegiatan pertanian seperti hidroponik [2].

Budidaya hidroponik merupakan salah satu sistem pertanian modern yang dapat memanfaatkan lahan sempit. Tumbuhan hidroponik merupakan tumbuhan yang mampu hidup tanpa menggunakan tanah sebagai medianya, tetapi memaksimalkan kebutuhan nutrisi tanaman agar bisa tumbuh dengan baik. Tanaman hidroponik dapat ditanam pada media seperti *rockwool*, bata merah, kerikil, bahkan arang sekam yang hanya membutuhkan air dalam jumlah kecil. Sementara, unsur terpenting dalam budidaya hidroponik adalah pemenuhan kebutuhan nutrisinya.

Dalam budidaya hidroponik, media hanya berfungsi sebagai penyangga tanaman supaya tidak roboh. Sedangkan air berperan penting untuk pertumbuhan tanaman karena air yang digunakan mengandung nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Maka, peranan pompa air sangat penting untuk mengatur sistem penyaluran nutrisi ke instalasi hidroponik agar tanaman mendapat nutrisi yang dibutuhkan. Hidroponik banyak diterapkan oleh masyarakat hingga saat ini, hanya saja dalam menggerakkan pompa masih menggunakan energi listrik PLN yang dominan merupakan energi tidak terbarukan. Energi listrik sangat berperan dalam pasokan nutrisi tanaman, jika suplai energi dari PLN mati karena ada gangguan maka pompa yang berperan dalam mengatur sistem penyaluran nutrisi juga tidak beroperasi, akibatnya suplai nutrisi untuk tanaman juga terhenti. Dalam mengatasi persoalan sumber energi untuk menggerakan pompa diperlukan salusi, salah satunya merancang bangun PLTPH.

Kerangka dan turbin pada picohidro dibuat dengan menggunakan *blower* yang dimodifikasi. *Blower* tersebut di kombinasikan dengan generator untuk menghasilkan listrik. Penggunaan *blower* sebagai kerangka dan turbin picohidro bertujuan supaya pembuatannya lebih mudah dengan biaya yang lebih murah, serta dapat dibuat oleh masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun picohidro untuk hidroponik sebagai solusi pemanfaatan energi terbarukan pada daerah yang tidak mendapatkan akses listrik.

2. Metode Penelitian

2.1 Perancangan Alat

Perancangan dilakukan untuk menghindari pemakaian komponen yang tidak sesuai dengan kebutuhan sehingga alat dapat berfungsi secara optimal. Komponen-komponen yang diperlukan dalam rancangan alat antara lain:

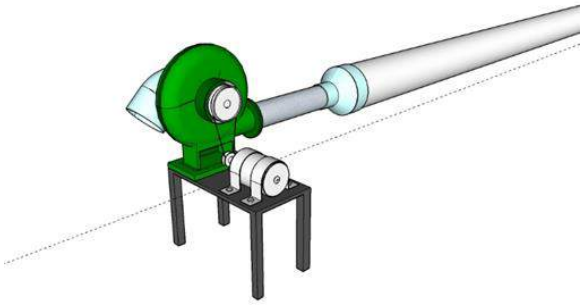
1. Picohidro, berfungsi untuk mengubah energi air menjadi energi listrik, yang terdiri dari generator sebagai sumber tenaga dan *Blower* 2” sebagai turbin penggerak dari sistem picohidro.
2. Pompa DC sebagai pemindah cairan melalui pipa dari suatu tempat ke tempat lain dan dapat mengalir jika terdapat perbedaan tekanan.
3. Rangka hidroponik, yang terdiri dari paralon 3 inci dan elbow 3 inci, untuk rangka bangunan dibuat dengan baja ringan dengan ketebalan 0.75 mm yang terdiri dari penyangga hidroponik dan atap (berbahan seng bening), panel surya diletakan diatas atap seng bening. Penyambung pipa menggunaka lem, sedangkan rangka hidroponik disambung dengan sekrup *roofing*.

2.2 Pembuatan Alat

Alat yang dibuat pada tahap ini adalah picohidro dan hidroponik. Tahap pembuatan picohidro (**Gambar 1**) antara lain:

1. Menyiapkan bahan-bahan yang diperlukan untuk membuat kontruksi Picohidro. Komponen utama yang diperlukan yaitu, *Blower* 2 inci dan Generator ES3001H.
2. Melepaskan gulungan strator dan rotor dari *blower*.
3. Memasang piringan penutup kedap air diantara ruang impler dan puli.
4. Menghubungkan sumbu *blower* dengan sumbu Generator ES3001H dengan *Pulley* dan *V-belt.*
5. Memasang pengaman generator agar aman dari air dan tidak konslet.

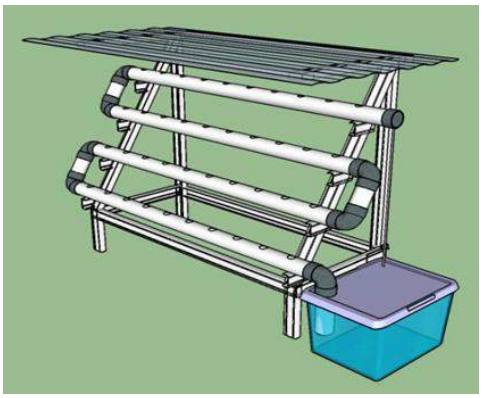
doi https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2022.010.01.05



Gambar 1. Rancangan Picohidro

Tahap pembuatan hidroponik (**Gambar 2**) adalah:

1. Menyiapkanbahan-bahan yang diperlukanuntuk membuat kontruksi hidroponik yang akan dipasang pada ketinggian 100 mdpl dengan posisi hidroponik menghadap ke barat.
2. Meletakkan 4 pipa PVC 3 inci, dengan jarak tanam 15 cm per lubang.
3. Memberikan plastik disetiap sisi lubang pipa di tempat air mengalir untuk membuat sisitem hidroponik menjadi DFT (*Deep Flow Technique*).
4. Menggabungkan pipa PVC 3 inci dengan *elbow*.
5. Memasang selang yang terhubung dengan pompa ke bagian lubang pipa yang telah disediakan.
6. Meletakan tandon box sebagai wadah penampung air dan nutrisi.
7. Memasang kontruksi atap pada modul hidroponik.



Gambar 2. Hidroponik

2.3 Pengambilan Data

Pengambilan data dimulai saat air masuk ke picohidro sehingga dapat memutar turbin. Pengambilan data dilakukan selama setengah jam dengan rentang 5 menit sekali untuk semua jenis data. Beberapa data yang akan diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.3.1 Debit Air pada Turbin

Debit adalah volume air yang dikeluarkan setiap detik. Debit air pada turbin dapat diketahui dengan **Persamaan 1**:

$$Q = V/t = A \times \vartheta \qquad (1)$$

Dimana :
Q : Debit Air (m^3/s)
A : Luas (m^2)
V : Volume (m^3)
ϑ : Kecepatan (m/s)
t : Waktu (s)

doi https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2022.010.01.05

2.3.2 Daya Potensi Air [3]

Besarnya daya potensi air dapat diperoleh berdasarkan debit air yang jatuh dan mengenai turbin berdasarkan **Persamaan 2** berikut:

$$P\ in = Q\ \times\ \rho\ \times g\ \times h \qquad (2)$$

Dimana :
P in : Daya (W)
Q : Debit Aliran Air (m^3/s)
ρ : Massa Jenis Air (1 000 kg/m^3)
g : Gravitasi Bumi (9.81 m/s^2)
h : Tinggi Jatuh Air (m)

2.3.3 Daya Generator

Daya generator diperoleh dari tegangan dan arus yang diamati pada generator. Daya generator dihitung dengan **Persamaan 3**:

$$P\ out = I\ \times V \qquad (3)$$

2.3.4 Debit air pompa

Pengukuran debit air masuk dan keluar pada media hidroponik dilakukan agar bisa mendapatkan debit kehilangan pada rancangan. Debit kehilangan didapatkan dengan **Persamaan 4** sebagai berikut:

$$Q\ losses = \frac{(Q\ inlet - Q\ outlet)}{(Q\ inlet)} \times 100\ \% \qquad (4)$$

2.3.5 Efisiensi Rancangan [3]

Efisiensi dari picohidro diperoleh melalui perbandingan antara daya potensi air dengan daya generator seperti **Persamaan 5** sebagai berikut:

$$\eta = (P\ out)/(P\ in\ )\ \times 100\ \% \qquad (5)$$

Dimana :
η : Efisiensi
P in : Potensi air (Watt)
P out : Daya Generator (Watt)

3. Hasil dan Pembahasan

Pembangkit listrik tenaga picohidro sebagai penggerak pompa hidroponik merupakan hasil rancangan berdasarkan studi literatur dan permasalah yang ada. Penelitian ini dilakukan pada saluran irigasi sawah warga yang airnya bersumber dari aliran sungai. Picohidro dibuat dengan memanfaatkan *blower* bekas ukuran 2 inci yang telah dimodifikasi sebagai kerangka dan turbin. Dengan motor ES3001H sebagai generator. Generator dan turbin dihubungkan dengan *Pulley* dan *V-belt*. Air dialiri menggunakan pipa 3 inci panjang 3 meter dan pipa 1.5 inci panjang 20 cm. Kedua pipa ini dihubungkan dengan *Reducer*. Penggunaan lintasan yang panjang dan memperkecil ujung lintasan dengan reducer dapat meningkatkan kecepatan jatuh air.

Media hidroponik dibuat dengan mengggunakan pipa PVC ukuran 3 inci dengan panjang 195 cm empat tingkat. Rak hidroponik dari tingkat atas sampai bawah yang terhubung satu sama lain. Air dialiri dengan pompa DC 12V dengan debit 240 l/h untuk H max 3 meter. Sirkulasi air terus terjadi selama 24 jam setiap hari. Rancangan ini dapat dilihat pada **Gambar 3**.

doi https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2022.010.01.05



(1)



(2)

Gambar 3. (1) Rancang Bangun Picohidro Tampak Samping; (2) Rancang Bangun Hidroponik Tampak Depan.

3.1 Debit air pada Turbin

Data diperoleh dari pengukuran secara langsung dari saluran irigasi yang dialirkan ke pipa pesat dan masuk ke turbin. Debit air diperoleh dari perbandingan volume dengan waktu. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data dalam 5 menit sekali selama 30 menit seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Debit Air pada Turbin

Durasi (menit)	Volume (l)	Waktu (s)	Debit (l/s)	Debit (m^3/s)
5	17.03	7.64	2.23	0.00223
10	16.67	7.40	2.25	0.00225
15	16.85	7.32	2.30	0.00230
20	16.50	7.46	2.21	0.00221
25	17.42	7.58	2.30	0.00230
30	17.09	7.38	2.32	0.00232
Rata-rata	16.93	7.46	2.27	0.00227

Debit air yang dihasilkan tergolong stabil, dengan debit rata – rata sebesar 2.27 l/s. Beda tinggi antara picohidro dengan sumber air adalah 0.75 m. Berdasarkan data debit tersebut maka didapatkan daya potensi air yaitu Pin = 1 000 kg.m^3/s, 0.00227 m^3/s 9.81 m/s^2, 0.75 m = 16.70 watt

Dengan didapatkan potensi air sebesar 16.70 watt, maka lokasi tersebut cocok dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik untuk pompa dc hidroponik. Berdasarkan spesifikasi pompa, lokasi dengan potensi air 16.70 watt dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit karena daya yang dibutuhkan pompa hanya 4.2 watt. Picohidro mempunyai keunggulan yaitu tidak membutuhkan head yang tinggi dan debit air yang tidak terlalu besar [4].

3.2 RPM pada Turbin

Pengujian dilakukan dengan mengukur kecepatan putaran pada turbin dan generator menggunakan *tachometer*. Turbin dan generator dihubungkan dengan *pulley* transmisi dan *v-belt.* Sehingga apabila turbin diputar oleh energi kinetik air, secara otomatis generator juga berputar dan menghasilkan energilistrik. Pengujian dilakukan selama 30 menit dengan pengambilan data sekali 5 menit. Perbandingan perputaran generator dan turbin dapat dilihat pada **Tabel 2.**

doi https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2022.010.01.05

Tabel 2. RPM pada Turbin dan Generator

Durasi (menit)	Turbin (RPM)	Generator (RPM)
5	1 340	2 424
10	1 390	2 476
15	1 312	2 400
20	1 345	2 434
25	1 366	2 469
30	1 340	2 457
Rata - rata	1 348.83	2 443.33

Berdasarkan **Tabel 2** diatas dapat diperhatikan bahwa rata-rata kecepatan pada turbin adalah 1 348.83 RPM. Selama 30 menit pengujian kecepatan putaran turbin nilainya berada antara 1 312 rpm dan 1 390 rpm. Sedangkan kecepatan putaran rata-rata pada generator adalah 2 443.33 rpm. Nilai pengujian kecepatan pada generator berada pada rentang 2 400 rpm dan 2 476 rpm. Dari rata – rata kecepatan putaran turbin dan generator maka didapatkan perbandingan antara keduanya 1:1.8. Daya turbin berbanding lurus dengan perputaran turbin dan debit air, semakin besar debit air maka perputaran turbin akan semakin meningkat sehingga daya yang dihasilkan juga semakin besar [5]. Berdasarkan data yang dilihat pada **Tabel 2**, dapat dilihat bahwa perputaran rpm pada turbin dan generator relatif stabil. Dengan rpm yang relatif stabil maka daya yang dihasilkan juga akan relatif stabil.

3.3 Daya Listrik yang Dihasilkan Rancangan

Pengukuran daya listrik dilakukan 6 kali selama 30 menit menggunakan ampermeter. Pengambilan data dilakukan dengan dua opsi yaitu dengan pompa dan tanpa pompa. Data yang dihasilkan berupa tegangan dan arus. Daya listrik yang dihasilkan disajian pada **Tabel 3.**

Tabel 3 menunjukan adanya penurunan tegangan saat picohidro dihubungkan dengan pompa. Menurut [6], tegangan berbanding terbalik dengan daya beban pada sebuah generator. Apabila daya bebannya besar maka tegangan yang dihasilkan generator akan mengecil. Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan Hukum Ohm, mengecilnya tegangan pada generator berbanding lurus dengan besaran arus yang mengalir tapi berbanding terbalik dengan beban yang diberikan.

Tabel 3. Daya Listrik yang dihasilka Rancangan

Durasi (menit)	Tanpa Pompa			Dengan Pompa		
	Volt	Ampere	Watt	Volt	Ampere	Watt
5	5.07	1.34	6.79	4.34	1.34	5.82
10	5.10	1.33	6.78	4.29	1.33	5.71
15	5.09	1.33	6.77	4.31	1.33	5.73
20	5.07	1.33	6.74	4.34	1.32	5.73
25	5.06	1.34	6.78	4.30	1.33	5.72
30	5.06	1.33	6.73	4.32	1.33	5.75
Rata - rata	5.08	1.33	6.77	4.32	1.33	5.74

Besarnya arus pada sebuah generator dipengaruhi oleh daya bebannya, semakin besar beban generator maka arus yang harus disuplai makin meningkat. Oleh karena itu, ketika beban diperbesar maka tegangan akan menyusut. Daya keluaran rata-rata yang dihasilkan dari pengukurantanpa pompa adalah 6.77 watt dan dengan pompa 5.74 watt. Daya yang dihasilkan relatif stabil karena debit dan rpm juga stabil. Dengan daya ini, pompa Dc yang menjadi tujuan utama rencangan ini dibuat dapat digerakkan dengan maksimal. Hal ini disebabkan karena daya yang dibutuhkan untuk menggerakan pompa Dc hanya 4.2 watt.

doi https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2022.010.01.05

3.4 Debit Air yang Dihasilkan dari Pompa

Pengukuran debit yang dihasilkan pompa dilakukan pada dua titik yaitu inlet dan outlet. Dimana debit inlet adalah kemampuan pompa menaikan air pada rak teratas dari hidroponik. Outlet adalah banyaknya air yang keluar dari rak hidroponik. Rata-rata debit yang dihasilkan oleh sistem hidroponik ialah 23.07 ml/s pada saluran inlet dan 23.06 ml/s pada saluran outlet. Dari data yang diperoleh dapat diketahui kehilangan air pada sistem pertanian hidroponik, sebesar 1%. Data selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Debit Air dari Pompa Dc

Durasi (menit)	Debit air pompa						Tinggi Naik air
	Input			Output			
	Volum (ml)	Waktu (s)	Debit (ml/s)	Volum (ml)	Waktu (s)	Debit (ml/s)	
5	502	21.75	23.08	502	21.76	23.07	1.30
10	493	21.37	23.07	503	21.81	23.06	1.30
15	501	21.73	23.06	498	21.61	23.04	1.30
20	498	21.60	23.06	494	21.43	23.05	1.30
25	497	21.53	23.08	501	21.71	23.08	1.30
30	503	21.79	23.08	500	21.67	23.07	1.30
Rata - rata	499.00	21.63	23.07	499.67	21.67	23.06	1.30

Berdasarkan **Tabel 4**, dapat diketahui bahwa nilai debit pada saluran outlet mengalami penurunan dari saluran inlet. Menurut [7], salah satu yang menyebabkan penurunan debit pada saluran outlet adalah adanya lumut yang tumbuh pada saluran. Sedangkan menurut [8], penurunan debit yang terjadi pada saluran inlet ke outlet disebabkan karena adanya *head losses* pada setiap tikungan sistem pertanian hidroponik sehingga mengurangi air yang keluar pada saluran outlet.

3.5 Efisiensi Generator yang Dihasilkan dari Rancangan

Efisiensi didapatkan dari perbandingan antara daya keluaran generator dengan daya teoritis. Semakin besar daya luaran yang dihasilkan maka semakin efisien kinerja generator. Sebaliknya semakin kecil daya keluaran generator, semakin kurang efisien kinerja generator. Rata-rata efisensi yang dilakukan selama pengamatan dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Efisiensi Generator

Durasi (menit)	Daya (Watt)	Daya Output Tanpa Pompa (Watt)	Daya Output Dengan Pompa (Watt)	Efisiensi Tanpa Pompa %	Efisiensi Dengan Pompa %
5	16.4	6.79	5.82	35.49	41.40
10	16.57	6.78	5.71	34.46	40.92
15	16.94	6.77	5.73	33.83	39.96
20	16.27	6.74	5.73	35.22	41.43
25	16.9	6.78	5.72	33.85	40.12
30	17.03	6.73	5.75	33.76	39.52
Rata - rata	16.69	6.77	5.74	34.43	40.58

Rata-rata efisiensi tanpa pompa dan dengan pompa yang dihasilkan oleh rancangan adalah 34.43% dan 40.58%. Menurut [9], efisiensi picohidro dipengaruhi oleh daya turbin dan daya turbin sangat bergantung pada besarnya perputaran turbin. Sedangkan perputaran turbin sangat tergantung dari debit aliran yang menumbuk sudu turbin. Berdasarkan **Tabel 1, 2** dan **3** dapat dilihat bahwa debit, RPM dan Daya output cukup stabil. Sehingga Efisiensi yg dihasilkan tidak jauh berbeda, dimana efisiensi tanpa pompa berada di rentang 39.53% - 41.43%. Sedangkan efisiensi engan pompa berada pada rentang 33.46% - 35.49%. Hal ini menunjukan bahwa Rancangan picohidro belum efisien karena efisiensi yang dihasilkan belum mencapai standar efisiensi pembangkit listrik serupa dengan efisiensi sekitar 80% – 90%. Namun apabila dibandingkan dengan daya yg dibutuhkan pompa, picohidro ini cukup layak untuk digunakan [10].

doi https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2022.010.01.05

3.6 Efisiensi Pompa DC Hasil Rancangan

Efisiensi pompa DC merupakan perbandingan daya yang diberikan pompa pada air agar dapat mengalir dengan daya listrik yang digunakan pompa. Daya yang diberikan pada pompa oleh picohidro diukur menggunakan ampermeter, daya ini disebut dengan Win (daya masuk). Sedangkan untuk mengukur Wout menggunakan **Persamaan 2** dengan satuan watt. Debit air dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 1**. Tinggi naik air sudah ditentukan berdasarkan rancangan yang telah dibuat yaitu 1.3 m. Pompa diletakan di dasar tendon box berisi air, lalu air disalurkan dengan selang menuju media hidroponik paling atas. Variabel tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4**. Setelah beberapa variabel diketahui, Wout dari pompa dapat dihitung menggunakan **Persamaan 2.** Jika kedua nilai (Win dan Wout) didapatkan maka efisiensi dapat diketahui dengan **Persamaan 5.** Efisiensi pompa dapat dilihat pada **Tabel 6.**

Tabel 6. Efisiensi Pompa

Durasi (menit)	Win (watt)	Wout (watt)	Efisiensi %
5	5.82	0.29	5.05
10	5.71	0.29	5.15
15	5.73	0.29	5.13
20	5.73	0.29	5.13
25	5.72	0.29	5.14
30	5.75	0.29	5.11
Rata - rata	5.74	0.29	5.12

$W\ in = 4.32\ V\ \times 1.33\ A = 5{,}74\ watt$
$W\ out = 1\ 000\ kg.m^3/s \times 0.0000231\ m^3/s \times 9.81\ m/s^2 \times 1.3\ m = 0.29\ watt$
$\eta = \ (0.29\ watt)/(5.74\ watt)\ \times\ 100\ \% = 5.12\%$

Berdasarkan **Tabel 6**, efisiensi pompa tertinggi adalah 5.15% dan efisiensi terendah adalah 5.05%, dimana nilainya tidak jauh beda karena data input dan output yang didapatkan cenderung stabil. Sedangkan efisiensi rata – rata pompa adalah 5.12%. Dengan efisiensi ini, pompa DC 12 Volt dapat diaplakasikan untuk mengatur sistem penyaluran nutrisi pada instalasi hidroponik.

4. Kesimpulan

Pembangkit listrik tenaga picohidro sebagai penggerak pompa hidroponik yang dibuat sudah sesuai dengan rancangan awal. Setelah dilakukan pengujian dan pengamatan terhadap rancangan, maka diperoleh Nilai debit rata – rata yang didapatkan adalah 2.27 x 10^{-3} m^3/s dengan tinggi jatuh air 0.75 m. Berdasarkan debit air dan tinggi jatuh air ini, maka didapatkan daya potensi air rata – rata sebesar 16.70 watt. Rata-rata daya listrik yang dihasilkan oleh rancangan tanpa beban pompa 6.77 watt. Sedangkan daya rata-rata menggunakan beban pompa 5.74 watt. Kehilangan air pada sistem pertanian hidroponik ini ialah 1%. Efisiensi Picohidro rata-rata selama pengamatan 34.43% dan efisiensi pompa adalah 5.12%.

Daftar Pustaka

[1] Perusahaan Listrik Negara, “Statistik PLN 2018,” 2018.
[2] V. Dwiyanto, D. I. Kusumastuti, S. Tugiono, and ..., “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai),” *J. Rekayasa Sipil dan Desain*, vol. 4, no. 3, pp. 407–422, 2016, [Online]. Available: http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd/article/view/424.
[3] S. Sukamta and A. Kusmantoro, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur,” *J. Tek. Elektro Unnes*, vol. 5, no. 2, pp. 58–63, 2013.
[4] S. A. Uyun and B. Novianto, “Rancang bangun low head turbin piko hidro,” *J. Sains Teknol.*, vol. X, no. 1, pp. 67–79, 2020, [Online]. Available: http://repository.unsada.ac.id/1609/.
[5] M. Ibrahim, I. Dirja, and V. Naubnome, “Rancang Bangun Prototipe PLTPh Sebagai Listrik Penerangan Kapasitas 9 Watt,” *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 13, no. 2, p. 63, 2020, doi: 10.24843/jem.2020.v13.i02.p04.

doi https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2022.010.01.05

[6] A. Supardi, A. Budiman, and N. R. Khairudin, "Pengaruh Kecepatan Putar Dan Beban Terhadap," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 16, no. 01, pp. 26–31, 2013.

[7] A. Ansar, S. Sukmawaty, G. M. D. Putra, and B. D. E. Mawarni, "Variasi Bentuk Penampang Saluran yang Sesuai untuk Pertumbuhan Tanaman Bayam Merah (Amaranthus Tricolor L.) pada Hidroponik Sistem NFT," *J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 8, no. 2, pp. 143–152, 2020, doi: 10.21776/ub.jkptb.2020.008.02.04.

[8] F. Dinegoro, R. Rusnam, and E. G. Ekaputra, "Rancang Bangun Hidroponik Dengan Bantuan Pompa Bertenaga Surya," *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.*, vol. 10, no. 3, p. 367, 2021, doi: 10.23960/jtep-l.v10i3.367-379.

[9] A. Muliawan and A. Yani, "Analisis Daya Dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner," *Sainstek J. Sains dan Teknol.*, vol. 8, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.31958/js.v8i1.434.

[10] T. Shantika, L. Hartawan, R. Sagala, and R. Ramfani, "Perekayasaan Pembangkit Listrik Tenaga Air untuk Penyediaan Listrik Skala Kecil 100 Watt," *J. Ris. Ind.*, vol. 7, no. 2, pp. 137–146, 2013.

GRAVITASI
Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains
Vol (4) No (01) Edisi Juni Tahun 2021

https://ejurnalunsam.id/index.php/JPFS

Rancangan Alat Peraga Kapal Tenaga Surya sebagai Media Konversi Energi

Dion Bagus DS[1], Muhammad Yakob[2], Nur Azizah Lubis[2]

[1]Mahasiswa Program Studi Pendidikan FisikaFKIP Universitas Samudra
[2]Program Studi Pendidikan FisikaFKIP Universitas Samudra
Jln. Kampus Meurandeh No. 1, Kecamatan Langsa Lama, Kota Langsa, Propinsi Aceh, 24416
Email : dionbagusds90@gmail.com

ABSTRAK

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Namun, pembangkit listrik yang digunakan masih secara konvensial yaitu menggunakan bahan bakar fosil, minyak gas atau batu bara yang kian lama semakin menipis, sedangkan kebutuhan listrik semakin meningkat. Pembuatan alat peraga kapal tenaga surya (KTS) sebagai media konversi energi adalah salah satu penelitian sebagai media contoh pemanfaatan energi panas matahari menjadi energi listrik. penelitian menggunakan metode eksperimen dengan jenis pendekatan R&D. Hasil dari validasi media oleh validator tentang rancangan alat peraga kapal tenaga surya sebagai media konversi melihat kelayakan secara persentase sebesar 75% sehingga alat peraga kapal tenaga surya sebagai media konversi energi layak digunakan. Dari hasil data uji panel selama 5 jam yang diamati secara berkala menghasilkan efisensi sebesar 82%pada saat penggunaan 1 jam, 85% pada saat penggunaan 2 jam, 74% pada saat penggunaan 3 jam, 58% pada saat penggunaan 4 jam dan 56% pada saat penggunaan selama 5 jam. Sehingga efisiensi total yang dikerjakan panel surya yang di dapat sebesar 71% dan kapal bergerak dengan baik. Tegangan, arus, daya listrik dan Efisiensi kapal yang dihasilkan dipengaruhi oleh besar kecilnya suhu dari panas matahari, jika suhu panas matahari tinggi maka efisiensi yang dihasilkan tinggi begitu juga sebaliknya.

Kata Kunci : Energi Listrik, Energi Terbarukan, Sel Surya

ABSTRACT

Electrical energy is one of the human needs that is often used in everyday life. However, the power plants used are still conventionally using fossil fuels, gas oil or coal which are increasingly depleting, while the need for electricity is increasing. The making of props for solar powered ships (KTS) as a medium for energy conversion is one of the studies as an example of using solar thermal energy into electrical energy. This research uses an experimental method with a type of R&D approach. The results of the media validation by the validator regarding the design of the props for solar powered ships as a conversion medium saw the feasibility of a percentage of 75% so that the props for solar powered ships as a medium for energy conversion were feasible. From the results of the panel test data for 5 hours that are observed periodically, the efficiency is 82% when using 1 hour, 85% when using 2 hours, 74% when using 3 hours, 58% when using 4 hours and 56% when using when using for 5 hours. So that the total efficiency that is done by solar panels is 71% and the ship moves well. Voltage, current, electric power and the efficiency of the resulting ship are influenced by the size of the temperature of the sun's heat, if the sun's heat is high, the resulting efficiency is high and vice versa.

***Keywords**: Solar Cells, Electrical Energy, Renewable Energy.*

A. PENDAHULUAN

Energi listrik sudah menjadi kebutuhan primer dalam kehidupan manusia, hampir semua sendi kehidupan manusia menggunakan energi listrik di dalamnya. Dengan semakin bertambahnya jumlah penduduk serta semakin pesatnya pertumbuhan ekonomi dan industri, mengakibatkan kebutuhan listrik semakin tinggi dan untuk pembangkit listrik masih secara konvensial menggunakan bahan bakar fosil, minyak gas dan batu bara yang kian lama semakin menipis dan juga dapat melakukan pencemaran limgkungan. Untuk mengatasinya diperlukan inovasi dalam hal energi terbarukan. (Suwarti, dkk. 2018).

Berbagai macam energi terbarukan yang ada di alam sekitar seperti air, angin dan juga panas matahari yang bisa digunakan sebagai bahan untuk menghasilkan energi listrik. Indonesia merupakan salah satu negara tropis yang memiliki sumber energi panas matahari yang cukup besar. Pemanfaatan panas matahari sebagai sumber energi listrik memiliki beberapa keuntungan yaitu energi mudah didapatkan, minim limbah, diperoleh secara gratis dan ramah lingkungan. (Safrizal. 2017). Penggunaan energi panas matahari tidak dapat digunakan secara langsung, melainkan perlu adanya suatu alat yang dinamakan panel surya. Pada dasarnya prinsip dasar dari memanfaatkan energi panas matahari adalah mengkonversikan dari panas matahari yang diserap oleh panel surya menjadi energi listrik.(Suwarti, dkk. 2018).

Sel surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversikan energi panas matahari menjadi energi listrik dengan prinsip potovoltaik. Semikonduktor yang digunakan yaitu silikon berperan sebagai isolator pada temperatur rendah dan sebagai konduktor ketika temperatur tinggi (ada energi panas yang mengenainya). Silikon sel surya adalah sebuah dioda yang terbentuk dari lapis atas silikon tipe-n, dan lapisan bawah silikon tipe-p. Elektron-elektron bebas terbentuk dari million photon atau benturan atom pada lapisan penghubung menyebabkan terjadinya aliran listrik (Jatmiko, ddk, 2011).

Ada dua variabel fisis yang mempengaruhi Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya, yaitu intensitas radiasi cahaya matahari dan suhu lingkungan. Intensitas cahaya matahari yang diterima sel surya sebandingan dengan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan sel surya, apabila suhu lingkungan semakin tinggi dengan intensitas cahaya matahari yang tetap, maka tegangan sel surya akan berkurang dan arus listrik yang dihasilkan bertambah (Deny dan Marhaendra, 2016).

Dalam pemanfaatan energi terbarukan tersebut peneliti membuat alat peraga sederhana berupa kapal tenaga surya sebagai media konversi energi. Alat peraga merupakan suatu alat yang dapat diserap oleh mata dan telinga yang digunakan menjadi media bantu agar proses penelitian menjadi lebih efektif dan efisien. Penggunaan alat peraga sebagai media konversi energi dipilih karena kepraktisan dan *multitasking* yang dapat dimanfaatkan untuk aktivitas penelitian secara mikro.(Mursyid. 2019).

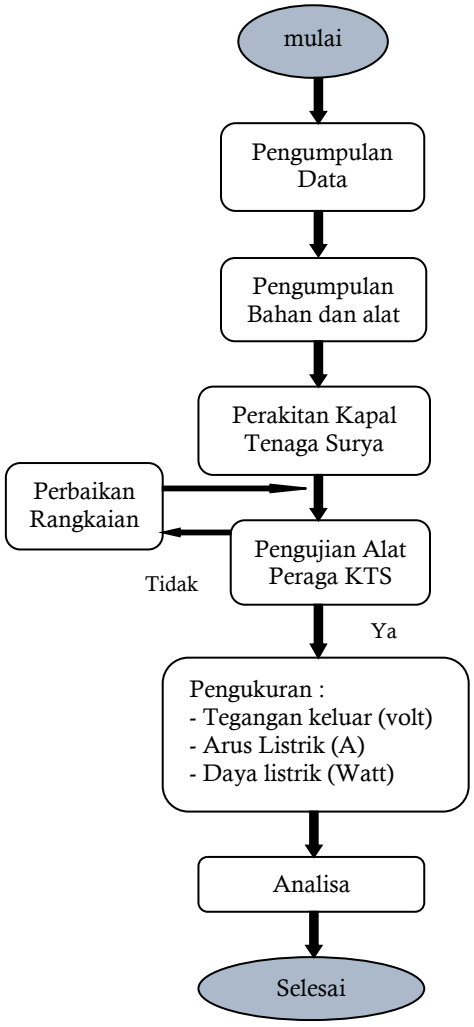
Dalam penyelesaian masalah tersebut maka beberapa analisa yang harus dilakukan adalah bagaimana merancang alat peraga kapal tenaga surya sebagai media konversi energi dan bagaimana mengetahui daya listrik yang dihasilkan oleh kapal tenaga surya.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah dapat merancang alat peraga kapal tenaga surya sebagai media konversi energi dan mampu menghitung daya listrik yang dihasilkan oleh kapal tenaga surya sebagai media pemanfaatan energi terbarukan. Sehingga dapat memberikan manfaat berupa menjadi media konversi energi panas matahari menjadi energi listrik dan menjadi media Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sederhana.

B. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan jenis pendekatan *Research and Development*

(R&D). Dari metode ini dengan pengembangan-pengembangan yang telah dilakukan dihasilkan sebuah produk atau alat peraga berdasarkan dengan tujuan yang ingin dicapai dan tentunya masih bisa dikembangkan dan disempurnakan untuk penelitian selanjutnya. Langkah-langkah penelitian dapat dilihat dari diagram alir berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Dasar dan lingkungan sekitar Universitas Samudra. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat di lihat dalam tabel berikut.

Tabel 1. Alat dan Bahan

Alat/Bahan	Jumlah
Panel Surya mini 12 V	1 buah
Kabel Jumper	10 buah
Dinamo DC 12 Volt	1 buah
Lithium Charger TP4056	1 buah
Dioda 1N4007 1 Ampere	1 buah
Baterai 3,7 V	2 buah
Saklar	1 buah
Sterofom	Secukupnya
Kardus	1 buah
Solder	1 buah
Timah Solder	1 gulungan
Multimeter	1 buah
Baterai Holder	1 buah
Lem Tembak	1 buah
Lem batang	3 buah
Alumunium Foil	1 gulungan
Kaleng	1 Buah

Pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini ialah mengambil hasil data percobaan uji panel surya selama 5 jam yang diamati secara berkala setiap jamnya untuk mengetahui hasil tegangan keluar, arus dan daya listrik serta efisiensi dari kinerja panel surya. Adapun rumus untuk menghitung besar efisiensi dari kinerja panel surya sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100\%$$

Keterangan :

η = efisiensi (%)

P_{In} = daya listrik sebelum diberikan beban (Watt)

P_{Out} = daya listrik setelah diberikan beban (Watt)



Gambar 2. Alat Peraga Kapal Tenaga Surya

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini difokuskan sebagai media konversi energi listrik dalam pemanafaatan energi terbarukan yaitu panas matahari. Penelitian menggunakan sel surya berjenis polikristal dengan ukuran 115 × 85 mm berkapasitas daya 1,5 Watt

dan tegangan sebesar 12 Volt. Adapun hasil penelitian yang dilakukan dengan pada uji coba sel surya selama 5 jam menggunakan multi meter adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Pengamatan Uji Panel Surya

Waktu (Jam)	Tegangan(V)		Arus (A)		Daya (W)	
	V_0	V_t	I_0	I_t	P_0	P_t
1	13,84	11,33	0,11	0,11	1,52	1,25
2	13,30	11,25	0,11	0,11	1,46	1,24
3	12,95	9,77	0,03	0,03	0,39	0,29
4	12,87	7,45	0,02	0,02	0,26	0,15
5	12,74	6,88	0,02	0,02	0,25	0,14

Tabel 3. Perubahan Suhu dan Efisiensi Kerja

Waktu (Jam)	Suhu(°C)		ΔT (°C)	η (%)
	T_0	T_t		
1	32	51	19	82
2	51	50,2	-0,8	85
3	50,2	39,6	-10,6	74
4	39,6	37,9	-1,7	58
5	37,9	37,2	-0,7	56

Pembahasan

Adapun hasil data yang diperoleh dari uji coba panel ketika digunakan dalam waktu 5 jam dan diamati setiap jam secara berkala sebagai berikut.Pada penggunaan panel selama 1 jam dengan suhu awal 32 ℃ dan suhu akhir 51 ℃ menghasilkan tegangan keluar dan arus listrik sebelum diberikan beban sebesar 13,84 V dan 0,11 A daya menghasilkan daya listrik sebesar 1,52 W sedangkan panel setelah diberikan beban dinamo 12 V, menghasilkan tegangan dan arus listrik sebesar 11,33 V dan 0,11 A dan menghasilkan daya listrik sebesar 1,25 W. sehingga efisiensi kerja panel surya yang di dapat sebesar 82%.

Penggunaan panel selama 2 jam dengan suhu awal 51 ℃ dan suhu akhir 50,2 ℃ sebelum diberikan beban menghasilkan tegangan dan arus sebelum diberikan beban sebesar 13,30 V dan 0,11 A dan menghasilkan daya sebesar 1,46 W sedangkan setelah diberikan beban, dinamo menghasilkan tegangan dan arus sebesar 11,25 V dan 0,11 A dan menghasilkan daya sebesar 1,24 W. Sehingga efisiensi kerja panel yang di dapat sebesar 85%.

Penggunaan panel selama 3 jam dengan suhu awal 50,2 ℃ dan suhu akhir 39,6 ℃ sebelum diberikan beban menghasilkan tegangan dan arus sebesar 12,95 V dan 0,03 A menghasilkan daya sebesar 0,39 W sedangkan setelah diberikan beban, menghasilkan tegangan dan arus listrik sebesar 9,77 V dan 0,03 A dan menghasilkan daya sebesar 0,29 W. Sehingga efisiensi dari kinerja panel yang di dapat sebesar 74%.

Penggunaan panel surya selama 4 jam dengan suhu awal 39,6 ℃ dan suhu akhir 37,9 ℃ sebelum diberikan beban menghasilkan tegangan dan arus listrik sebesar 12,87 V dan 0,02 A dan menghasilkan daya sebesar 0,26 W sedangkan setelah diberikan beban menghasilkan tegangan dan arus listrik sebesar 7,45 V dan 0,02 A dan menghasilkan daya 0,15 W. Sehingga efisiensi dari kinerja panel yang di dapat sebesar 58%.

Penggunaan panel surya selama 5 jam dengan suhu awal 37,9 ℃ dan suhu akhir 37,2 ℃ sebelum diberikan beban menghasilkan tegangan dan arus listrik sebesar 12,74 V dan 0,02 A menghasilkan daya sebesar 0,25 W sedangkan setelah diberikan beban, menghasilkan tegangan dan arus listrik sebesar 6,88 V dan 0,02 A dan menghasilkan daya sebesar 0,14 W. Sehingga efisiensi dari kinerja panel yang di dapat sebesar 56%.

Sehingga efisiensi total dari kinerja yang didapat dari uji penggunaan panel surya selama 5 jam sebesar 71% dan dari penelitian ini didapatkan hubungan yaitu semakin besar suhu panas dari cahaya matahari maka tegangan, arus listrik dan daya yang dihasilkan panel semakin besar, sehingga efisiensi dari kinerja panel juga semakin meningkat.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian rancangan alat peraga kapal tenaga surya sebagai media konversi energi dapat disimpulkan pembuatan alat peraga kapal tenaga surya ini menggunakan alat dan bahan yang sederhana dan mudah didapat dan mudah dirancang dengan baik. Dari hasil penelitian yang dilakukan, semakin besar suhu panas dari cahaya matahari,

maka akan semakin besar pula tegangan, arus dan daya listrik yang dihasil serta efisiensi kinerja panel juga meningkat.

Efisiensi total yang dihasilkan oleh panel surya pada saat diuji selama 5 jam sebesar 71% sehingga panel surya dinyatakan dapat bekerja dengan baik.

E. DAFTAR PUSTAKA

Arikunto, Suharsimi. 2008. Penelitian Tindakan Kelas. Jakarta : Bumi Aksara

Baumgatner, H., dkk. Optical Characterization of III-V Multijunction Solar Cells for Temperature-independent Band Gap Features. *IEEE Journal of Photovoltaics*. 09(6) : 1631-1636.

Berian. Zagy Y. 2020. Can Energy Trading be A Solution for Indonesia's Energy Mix Goal Through Solar Energy ?. *Indonesian Journal of Energy*. 03(2) : 94-106.

Dewantara, Belly Yan, dkk. 2019. Perancangan Perayu Nelayan Ramah Lingkungan Menggunakan Motor Listrik Bertenaga Surya. *Cyclotron*. 02(1) : 37-40.

Dzulfikar, Dafi, Wisnu Broto. 2016. Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga. Prosiding Seminar Nasional Fisika. 05 : 73-76.

Handayani, N.A., D. Ariyanti. 2012. Potency of Solar Energy Applicationts in Indonesia. *IJRED*. 01(2) : 33-38.

Haug, F.-J., dkk. 2019. Contributions to The Contact Resistivity in Fired Tunnel-oxide Passivating Contacts for Crystalline Silicon Solar Sells. *IEEE Journal of Photovoltaics*. 09(6) : 1548-1553.

Jatmiko, dkk. 2011. *Pemanfaatan Sel Surya dan Lampu LED untuk Perumahan*. Makalah. Dalam : Seminar Nasional dan Teknologi Informasi dan Komunikasi di Semantik.

Maryuliana, Imam Much Ibnu Subroto & Sam Farisa Chairul Haviana. 2016. Sistem Informasi Angket Pengukuran skala Kebutuhan Materi Pembelajaran Tambahan sebagai Pendukung Pengambilan Keputusan di Sekolah Menengah Atas Menggunakan Skala Likert. *Jurnal Transistor Elektro*. 01 (2) :01-12

Maysha, Ima, dkk. 2013. Pemanfaatan Tenaga Surya Menggunakan Rancangan Panel Surya Berbasis Transistor 2N3055 dan Thermoelectric Cooler. *ELECTRANS*. 12(3) : 89-96.

Miroah, ddk. 2015. Pengembangan Media Pembelajaran Energi Terbarukan untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*. 04(2) : 11-16.

Mursyid, Syukron, dkk. 2019. *Pengembangan Alat Peraga Sebagai Media Pembelajaran Materi Energi Listrik di SMPN 1 Jongkong*. Makalah. Dalam : Seminar Nasional Pendidikan MIPA dan Teknologi (SNMPT II) di Pontianak, 09 September.

Safrizal. 2017. Rancangan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Listrik pada Gedung Fakultas Sains dan Teknologi UNISNU Jepara. *DISPROTEK*. 08(2) : 75-81.

Shaikh, M.R. Sirajuddin, dkk. 2017. A Review Paper On Electricity Generation From Solar Energy. *IJRASET*. 05(9) : 1884-1889.

Sugeng, dkk. 2018. Rancang Bangun Prototipe Gardu Pembangkit Listrik Hybrid Mikro Hidro dan Sel Surya Sebagain Media Pembelajaran Praktikum Teknik Elektro. *E-KOMTEK*. 02(1) : 1-9.

Sugiyono. 2013. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung : CV Alfabeta

Suwarti, dkk. 2018. Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah Terhadap Kinerja Panel Surya. *EKSERGI*. 14(3) : 78-85.

Weliwaththage, Sumedha R.G., Udara S.P.R. Arachchige. 2020. Solar Energi Technology. *Journal of Research Technology and Engineering*. 01(3) : 67-75

ISSN: 1693-0266 (Printed) ,
2654-8666 (Online)

Review:
Potensi Limbah Plastik Dan Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dengan Proses Pirolisis

Herliati [1], Septian Bagus Prasetyo [2] dan Yogi Verinaldy [3]

Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya
Jl. Raya Bogor Km. 28,8 Cimanggis, Jakarta Timur / Telp. (021) 8714823, 8722485.
Corresponding author :herliati@ftijayabaya.ac.id

Abstract

Plastic waste with various types such as Polyethylene Tereptalat (PET), high-density polyethylene (HDPE), Low Density polyethylene (LDPE), and polypropylene (PP) is the problem that must be solved which Indonesia is the second largest country in the world as a producer of plastics waste. In addition Indonesia also has a huge local potential in generating the waste biomass of organic compounds such as sewage farms and plantations. It is otherwise resolved of course would be bad for the environment. Several alternatives have been performed in order to manage such waste through recycling technology. However this method has its disadvantages because it takes paying high costs for labor and separation process as well as contamination in bodies of water so that the method is difficult to apply as sustainable. Therefore, the researchers then turned their attention on the utilization of the above wastes as an alternative energy source that is liquid fuel. This paper is an review of the potential conversion of plastics waste and organic waste into liquid fuel by pyrolysis technology. The main parameters examined i.e. temperature, pressure, reactor, residence time and catalyst. In addition, the idea for the optimization of fuel products are also discussed here.

Abstrak

Limbah plastik dengan berbagai jenis seperti Polietilen Tereptalat (PET), High-Density polietilen (HDPE), Low-Density polietilen (LDPE), dan polipropilen (PP) merupakan masalah yang harus diatasi dimana Indonesia merupakan negara penyumbang terbesar kedua di dunia. Selain itu Indonesia juga memiliki potensi lokal yang besar dalam menghasilkan limbah biomassa yang merupakan senyawa organik seperti limbah pertanian dan perkebunan. Hal ini kalau tidak diatasi tentu saja akan berdampak buruk bagi lingkungan. Beberapa alternatif telah dilakukan dalam rangka mengelola limbah tersebut melalui teknologi daur ulang. Namun metode ini memiliki kelemahan karena dibutuhkan biaya yang tinggi untuk membayar tenaga kerja dan biaya proses pemisahan serta mengakibatkan kontaminasi pada air sungai sehingga metode ini sulit untuk diterapkan secara berkelanjutan. Oleh karena itu, para peneliti kemudian beralih perhatiannya pada pemanfaatan limbah plastik dan biomassa sebagai sumber energi alternatif yaitu bahan bakar cair. Tulisan ini merupakan telaah potensi konversi limbah plastik dan limbah organik menjadi bahan bakar cair dengan teknologi pirolisis. Parameter utama yang dikaji yaitu suhu, tekanan, jenis reaktor, waktu tinggal dan katalis. Selain itu, gagasan untuk optimasi produk bahan bakar juga dibahas di sini.

Keywords: *Biomass, Fossil Fuels, Liquid Fuels, Plastics Waste, Pyrolysis*

1. Pendahuluan

Dalam dasawarsa ini masalah persoalan berkurangnya ketersediaan Bahan Bakar yang bersumber dari fosil di dunia telah menjadi perbincangan umum karena cadangan bahan bakar fosil terus menurun [1]. Laporan dunia tahun 2010 bahwa konsumsi petroleum terus meningkat dengan pertumbuhan 1 persen per tahun, sementara konsumsi gas alam juga meningkat dengan pertumbuhan 1,5 persen per tahun [2]. Dapat dibayangkan, jika minyak dan gas tidak dapat dihemat penggunaannya maka gas dan minyak dunia hanya akan tersedia 43 dan 167 tahun yang akan datang. Karena itu sumber alternatif energi terbarukan seperti biomassa, *hydropower*, *geothermal*, energi angin, nuklir, dan lain sebagainya menjadi hal yang menarik untuk dikaji. Sampah plastik merupakan salah satu alternatif, sebagai *feedstock* bahan bakar cair, yang mana dapat berkontribusi sebagai pengganti petroleum [3]. Indonesia sebagai negara dengan jumlah penduduk terbesar ke-lima tentu saja mengalami masalah yang sama [4]. Cadangan bahan bakar minyak di Indonesia yang semakin berkurang sementara laju konsumsi semakin meningkat mengakibatkan pemerintah harus menerapkan kebijakan guna mencari alternatif bahan bakar pengganti BBM [5, 6]. Pemerintah telah melakukan berbagai upaya penghematan energi sambal secara masif mendorong berkembangnya sumber energi baru dan terbarukan. Salah satu bahan bakar alternatif yang ramai dibicarakan adalah bahan bakar dari sampah plastik dan biomassa [5, 7, 8].

Sampah plastik merupakan limbah yang sangat sulit terurai kecuali dalam waktu yang sangat lama [2]. Selain itu sampah plastik memberikan dampak buruk pada kehidupan manusia antara lain kesehatan, lingkungan, dan sosial ekonomi [9]. Indonesia negara terbesar kedua penyumbang sampah plastik dunia dengan menyumbang sekitar 1,29 juta metrik ton [10, 11]. Jenis Sampah plastik yang banyak dijumpai terutama di wilayah perkotaan yaitu PET, HDPE, PVC, LDPE, dan PP [12]. Semakin tinggi kebutuhan akan penggunaan plastik untuk berbagai keperluan termasuk untuk kegunaan rumah tangga akan berdampak pada tingginya laju penumpukan sampah plastik [13, 14]. Secara kimiawi plastik adalah polimer yang terdiri dari monomer rantai panjang. Untungnya melalui proses pirolisis polimer tersebut dapat direngkah dan dikonversi menjadi bahan bakar cair seperti kerosen, disel dan bensin [15, 16].

Untuk mengurangi sampah plastik yang dibuang ke TPA, awalnya metode daur ulang dianggap sebagai alternatif untuk mengelola sampah plastik. Namun terbukti bahwa proses daur ulang plastik sangat sulit dan mahal karena terkendala biaya buruh untuk proses pemisahan [17]. Selain itu, proses daur ulang memiliki potensi terhadap pencemaran air sungai [18]. Pemisahan diperlukan karena plastik terbuat dari berbagai jenis dengan kegunaan yang berbeda. Salah satu teknologi alternatif konversi sampah plastik atau biomassa menjadi bahan bakar cair adalah proses pirolisis yaitu sebuah reaksi perengkahan termal tanpa menggunakan oksigen. Saat ini, pirolisis telah menjadi perhatian serius sebagai salah satu metode konversi sampah plastik menjadi bahan bakar cair karena memberikan manfaat baik secara ekonomi maupun kaitannya dengan pencegahan pencemaran lingkungan [19].

Selain sampah plastik, biomassa juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber alternatif bahan baku untuk mengatasi persoalan saat ini dimana cadangan energi dunia mengalami kecenderungan menurun [20]. Biomassa memiliki ketersediaan melimpah di Indonesia bahkan di seluruh dunia [5, 6, 21]. Khusus di Indonesia, potensi limbah pertanian, kehutanan dan sampah padat perkotaan sebagai sumber energi diperkirakan mencapai 200 ton/tahun [22]. Pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar mendapat perhatian yang besar dari para peneliti karena pertimbangan ramah lingkungan yaitu kandungan belerang dan nitrogen yang rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil, hal ini sangat terkait dengan gas emisi berbahaya seperti gas nitrous (NO_x) dan sulfur dioksida (SO_2) [23].

Konversi biomassa menjadi biofuel melalui proses fermentasi telah dilakukan oleh para peneliti, namun metode ini kurang berkembang karena memiliki kelemahan dalam hal waktu reaksi yang lama. Oleh karena itu dibutuhkan metode alternatif yang lebih efisien. Produksi *biofuel* (minyak, gas dan char) dengan proses pirolisis menggunakan berbagai jenis biomassa telah diselidiki secara ekstensif oleh banyak peneliti. Para peneliti lebih tertarik mengembangkan metode pirolisis untuk mengkonversi biomassa menjadi bahan bakar cair karena memiliki keuntungan dalam hal penyimpanan, transportasi dan fleksibilitas dalam aplikasinya [24]. Beberapa jenis biomassa tersebut diantaranya kayu, tandan kosong kelapa sawit, sampah organik rumah tangga, dll [5]. Teknologi pirolisis memiliki kemampuan untuk memproduksi bahan bakar cair dari biomassa dengan yield bahan bakar yang tinggi [20].

Tujuan dari review ini adalah untuk mengkaji parameter-parameter penting dalam proses pirolisis seperti suhu, tekanan, jenis reaktor, waktu tinggal dan katalis serta memberikan gambaran kondisi terbaik dari parameter-parameter yang disebutkan

2. Metodologi

Metode yang digunakan pada studi ini berupa kajian literatur yang luas dan mendalam terhadap parameter-parameter suhu, tekanan, jenis reaktor, waktu tinggal dan katalis. pada topik pirolisis baik untuk sampah plastik maupun biomassa. Sumber kajian ini adalah data sekunder yang digunakan termasuk internet, laporan penelitian, prosiding, dan artikel jurnal nasional maupun internasional yang fokus pada konversi plastik dan biomassa menjadi bahan bakar cair menggunakan teknologi pirolisis.

3. Plastik

3.1 Polyethylene terephthalate (PET)

PET adalah jenis plastik yang digunakan secara luas sebagai kemasan berbagai produk makanan dan minuman seperti air mineral, botol minuman ringan dan wadah jus buah. Hal ini adalah karena sifat dasar PET yang keras dan kuat, ringan dan tahan terhadap tekanan, sangat cocok untuk digunakan sebagai kemasan termasuk juga jika digunakan untuk kemasan dengan kapasitas yang besar [25]. Selain itu, PET juga digunakan sebagai isolasi listrik, pita magnetik, Xray dan film fotografi lainnya [26]. Penggunaan PET yang sangat besar ini, dimana meningkat 12 % per tahun, akan menyebabkan tumpukan PET di tempat pembuangan sampah semakin besar [27]. Daur ulang limbah PET tidak ekonomis karena membutukan biaya pemisahan yang tinggi. Oleh karena itu, alternatif lain pemanfaatan limbah PET dengan cara mengkonversinya menjadi bahan bakar cair menggunakan teknologi pirolisis telah dieksplorasi oleh beberapa peneliti [13, 15, 28].

Potensi konversi PET untuk menghasilkan minyak cair menggunakan reactor *fixed-Bed* dengan proses pirolisis pada suhu 500°C telah dilakukan [29, 30]. Dilaporkan bahwa dengan metode ini diperoleh bahan bakar cair 30 - 40 % berat sementara bahan bakar gas 60 - 80 % berat dan padatan residu 10 -20 % berat [31, 32, 33]. Namun dari hasil karakterisasi produk, hasil pirolisis menunjukkan tingkat keasaman yang tinggi disebabkan kandungan asam benzoat. Hal ini tentu tidak menguntungkan karena selain dapat menyumbat pipa dan *heat exchanger* jga dapat menimbulkan korosif pada pemakaiannya, sehingga membutuhkan perhatian serius jika diterapkan untuk skala industri [32].

3.2 High-density polyethylene (HDPE)

HDPE adalah sebuah polimer senyawa hidrokarbon panjang rantai lurus yang memiliki kekerasan tinggi serta tidak mudah terdegradasi oleh paparan matahari, perubahan cuaca (panas atau dingin). Berdasarkan sifat-sifat ini, HDPE banyak digunakan untuk kemasan botol susu, wadah detergen, botol minyak, mainan anak dan lain sebagainya [33, 34]. Jenis

plastik ini menghasilkan limbah 18-30 % volume dari total limbah padat rumah tangga. Untuk itu persoalan ini merupakan hal yang sangat serius untuk diatasi. Dari beberapa hasil penelitian melaporkan bahwa limbah HDPE dapat dirubah menjadi bahan bakar menggunakan proses pirolisis [3, 9, 13, 35]. Dapat disimpulkan bahwa kondisi suhu yang digunakan berkisar antara 300 – 400 ^{o}C di dalam reaktor *fluidized*-Bed. Hasil penelitian memperoleh bahan bakar cair 60 - 70 % berat sementara bahan bakar gas 20 - 30 % berat dan padatan residu sampai 10 % berat [33, 34, 36].

3.3 Low-density polyethylene (LDPE)

Berbeda dengan HDPE, LDPE adalah jenis polimer yang memiliki banyak cabang sehingga memiliki gaya intermokelul yang lebih lemah tentu saja konsekuansinya memiliki kekuatan tekan dan kekerasan yang lebih rendah dibandingkan HDPE [12]. Namun demikian, LDPE memiliki keunggulan dalam hal mudah dibentuk dan resisten terhadap air. Untuk itu LDPE banyak digunakan untuk kantong plastik, pembungkus foil untuk Kemasan, kantong sampah dan lain sebagainya. Sebagai konsekuensi LDPE banyak dijumpai di tempat pembuangan akhir sampah dimana menempati urutan kedua sebagai penyumbang sampah padatan setelah polipropilen [33, 34]. Sebagai salah satu cara untuk mengatasi persoalan limbah ini adalah dengan mengkonversi LDPE menjadi energi. Teknologi pirolisis, untuk merubah limbah LDPE menjadi bahan bakar, telah menjadi perhatian oleh banyak peneliti saat ini [18, 19, 37].

Berbeda dengan pirolisis HDPE, reaktor *fluidized-bed* pada kisaran suhu 400 - 500 ^{o}C dengan laju pemanasan 10 ^{o}C/menit digunakan pada pirolisis LDPE. Pengamatan berlangsung selama 20 menit dimana gas nitrogen berfungsi sebagai agen fluidisasi. Dengan bahan LDPE, bahan bakar cair yang dihasilkan lebih tinggi yaitu antara 70 – 90 % berat, gas yang dihasilkan sedikit dan tidak ada sama sekali padatan yang tersisa [12, 38, 39].

3.4 *Polypropylene* (PP)

PP adalah polimer jenuh dengan rantai hidrokarbon lurus memiliki sifat tahan terhadap panas yang baik. Tidak seperti HDPE, PP tidak mencair pada suhu di bawah 160 ^{o}C. PP memiliki densitas lebih rendah dibandingkan HDPE tetapi memiliki kekerasan tinggi dan kekakuan yang lebih sehingga PP lebih disukai sebagai plastik industri [40]. PP memberikan kontribusi limbah plastik sekitar 24% dimana merupakan limbah plastik terbesar yang terdapat di tempat pembuangan akhir [41]. Aplikasi PP sangat beragam termasuk pot bunga, folder arsip, ember, karpet, mebel, kotak penyimpanan dan lain sebagainya [40]. Tingginya pemakaian PP dalam kehidupan sehari-hari menyebabkan jumlah limbah PP limbah akan meningkat setiap tahun dan oleh karena itu, proses pirolisis merupakan metode alternatif yang telah dipelajari untuk mengkonversi limbah plastik menjadi energi terbarukan sekaligus mengatasi masalah penumpukan limbah. Beberapa peneliti telah melakukan evaluasi terhadap metode pirolisis PP menggunaan berbagai parameter guna mengetahui sifat dan mengukur bahan bakar cair yang dihasilkan [12, 15, 19, 42].

Pirolisis PP dilakukan pada kondisi suhu berkisar antara 250 - 350 ^{o}C di dalam sebuah dilaporkan bahwa hasil terbaik diperoleh pada suhu sekitar 300 ^{o}C dimana konversi plastik hampir 99 % dengan solid residu sebesar 1,5 % [12]. Ketika suhu mendekati 400 ^{o}C hasil yang diperoleh menjadi turun dimana terjadi kenaikan solid residu menjadi 5 % berat. Hal ini memperlihatkan bahwa pembentukan coke terjadi pada suhu tinggi [33]. Fakta ini telah dikonfirmasi oleh peneliti lainnya dimana pirolisis pada suhu > 400 ^{o}C dijumpai hasil berupa liquid 80 % berat, gas 6,6 % berat dan padatan 13,3 % berat. Kondisi suhu yang ekstrim yaitu

750 ºC di dalam reaktor *batch* menghasilkan liquid 48,8 % berat liquid, gas 49,6 % berat dan 1,6 % berat padatan [15].

4. Biomassa

Biomassa dapat didefinisikan sebagai bahan yang berasal dari tumbuh tumbuhan atau dari kotoran hewan yang utamanya terdiri dari karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sedikit kandungan anorganik [43]. Sumber energi biomassa adalah salah satu yang paling awal dan saat ini adalah terbesar ketiga di dunia, dimana 40-50 % dari total penggunaan energi di banyak negara berkembang yang memiliki wilayah hutan dan pertanian luas [5, 20]. Biomassa digunakan untuk memenuhi berbagai pasokan energi, termasuk pembangkit listrik, penghangat rumah dan untuk kebutuhan energi industri [44]. Biomassa yang akan dibahas dalam tulisan ini adalah bahan organik yang dapat dihasilkan dari sampah organik, dimana komposisi utama sampah kota adalah 65% berisi sampah organik [6]. atau berupa buangan kayu. Beberapa hasil penelitian melakukan analisis ultimate untuk kayu adalah sebagai berikut karbon 50 -52 %, hidrogen 39 - 41%, oksigen 6,35 %, dan nitrogen 0,4% [5, 45].

Teknologi pirolisis, untuk merubah biomassa menjadi bahan bakar, telah menjadi perhatian para peneliti saat ini. Komponen utama dari biomassa yang berasal dari tumbuh-tumbuhan adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin, yang masing-masing berbeda dalam tingkat dekomposisi [46, 47]. Selain itu, dekomposisi dari setiap komponen yang disebutkan di atas tergantung pada suhu reaksi dan jenis reaktor yang digunakan. Dalam proses pirolisis, hemiselulosa adalah yang paling mudah terdekomposisi, selanjutnya selulosa, sementara lignin adalah yang paling sulit [20]. Menariknya, lignin maupun hemiselulosa dapat mempengaruhi karakteristik pirolisis selulosa sementara mereka tidak bisa mempengaruhi satu sama lain. Dilaporkan bahwa pada proses pirolisis yang berlangsung pada suhu 400-550°C telah dihasilkan minyak yang merupakan hasil dekomposisi selulosa, sementara padatan (*bio-char*) yang dihasilkan berasal dari lignin [48]. Oleh karena karakteristik physio-kimia yang berbeda dari selulosa, hemiselulosa dan lignin, pirolisis biomassa dengan komposisi lignin yang tinggi dapat menghasilkan minyak lebih baik. Komposisi biomassa dari berbagai sumber yang berbeda ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Selulosa, Hemiselulosa, dan Lignin Beberapa Biomassa

Sumber Biomassa	% berat			Referensi
	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin	
Kayu	35-50	20-30	25-30	[20]
	42-50	25-38	20-30	[46]
	40-50	24-40	18-35	[49]
Jerami	33-40	20-25	15-20	[20]
	40	45	15	[46]
	30	50	15	[49]
Ampas Tebu	19-24	32-48	23-32	[20]
Tongkol Jagung	50.5	31	15	[20]
	45	35	15	[49]
Kertas bekas	60-70	10-20	5-10	[49]
	80-85	5-15	-	[20]
Daun	15-20	80-85	-	[20]
	15-20	80-85	-	[49]
Kulit Pisang	13-14	14-15	14	[20]
	8-15	-	-	[49]

5. Teori Pirolisis

Pirolisis adalah proses degradasi termal tanpa adanya oksigen hal ini dalam rangka untuk mencegah pembentukan CO_X, NO_X, SO_X. Pada proses ini terjadi perengkahan hidrokarbon rantai panjang (polimer) menjadi monomer yang lebih kecil [35, 50]. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi proses pirolisis yang akan dibahas dalam tulisan ini meliputi suhu perengkahan, jenis reaktor, dan waktu tinggal [12, 42, 51].

5.1 Temperatur

Temperatur merupakan variable operasi yang memegang peranan paling penting dalam menentukan hasil produk pirolisis [37, 48]. Selain itu, temperatur juga memegang peranan penting dalam mengatur berhasil atau tidaknya reaksi *cracking* pada polimer plastik [36, 52] atau pada senyawa selulosa dalam biomassa [53]. Tidak semua bahan polimer dapat pecah dengan kenaikan temperatur. Gaya Van der Waals adalah gaya antara molekul-molekul, akan menarik molekul menjadi satu ikatan sehingga sulit untuk terpecah . Di satu sisi, ketika getaran molekul-molekul cukup kuat, mereka akan menguap bukan merengkah hal ini tentu saja tidak diharapkan. Rantai karbon baru akan pecah/merengkah jika energi yang dipengaruhi oleh gaya van der Waals terhadap rantai polimer lebih besar dari entalpi ikatan dalam rantai C-C. Ini alasan mengapa polimer dengan berat molekul yang besar akan terurai . Distribusi produk hasil pirolisis plastik dan biomassa pada variasi suhu telah dilakukan oleh beberapa peneliti guna menemukan suhu optimum terbentuknya *biofuel*. Dilaporkan bahwa, temperatur perengkahan polimer plastik berkisar pada suhu 350 - 425ºC [28, 54, 55] sedangkan temperatur dekomposisi selulosa pada kisaran suhu 400 – 550ºC. Pada temperatur kurang dari 450°C, jumlah padatan, *bio-char*, yang dihasilkan meningkat hal ini karena rendahnya konversi karbon dan rendahnya laju devolatilisasi [23, 46].

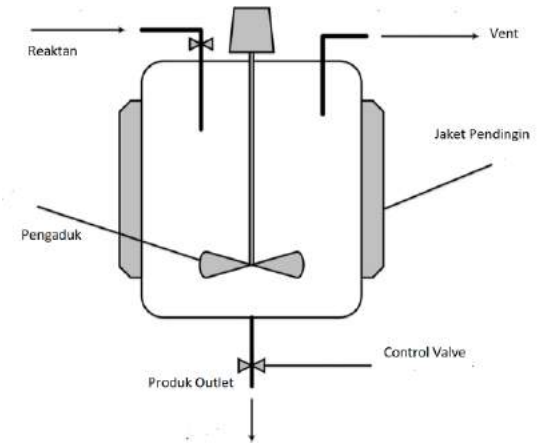
5.2 Jenis Reaktor

Reaktor adalah jantung dari berlangsungnya sebuah reaksi, dalam hal ini proses pirolisis. Jenis reaktor yang digunakan telah menjadi subyek penelitian yang serius, inovasi dan pengembangan dilakukan untuk meningkatkan karakteristik produk dan efisiensi proses seperti suhu yang tidak terlalu tinggi dan *residence time* yang singkat. Seiring dengan perkembangan teknologi pirolisis maka desain reaktor untuk maksud tersebut juga ikut berkembang guna optimalisasi performa proses pirolisis dan bertujuan untuk mengasilkan produk *biofuel* dengan yield yang tinggi dan berkualitas. Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan, pirolisis dalam skala laboratorium, umumnya menggunakan reaktor *batch*, semi-*batch* atau kontinyu (jenis *fluidized bed* dan *fixed-bed*) [12, 18, 20, 56, 57]. Masing-masing jenis reaktor ini memiliki keunggulan dan kelemahan yang akan dijelaskan berikut ini:

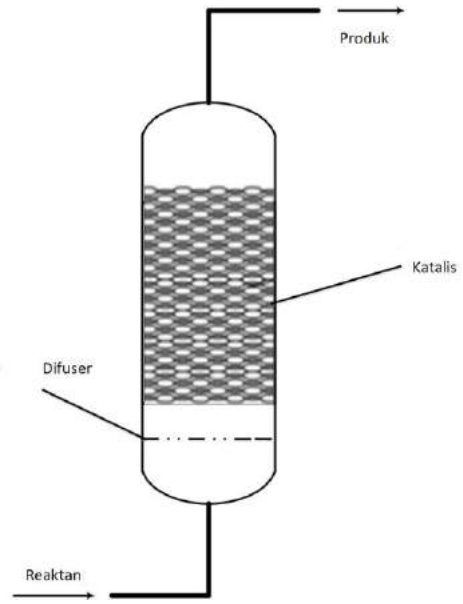
Reaktor *batch* adalah reaktor dengan sistem tertutup dimana tidak ada aliran reaktan masuk atau aliran produk keluar selama reaksi berlangsung [58]. Berbeda dengan *batch*, reaktor semi *batch* memungkinkan terjadi penambahan reaktan atau produk selama reaksi berlangsung. Salah satu keunggulan reaktor *batch* dan semi-*batch* adalah dapat diperoleh konversi yang tinggi dengan menambah waktu reaksi [59]. Namun, kelemahan dari reaktor *batch* maupun semi-*batch* terkait dengan variabilitas produk yang dihasilkan, biaya tenaga kerja tinggi dan tidak dapat diterapkan untuk skala yang besar [60]. Dilaporkan oleh beberapa peneliti bahwa reaksi pirolisis plastik menggunakan reaktor *batch* yang berlangsung pada suhu 300 – 550ºC untuk berbagai jenis plastik telah menghasilkan *biofuel* (cair, gas dan padat), sementara pirolisis biomassa berlangsung pada suhu 400 – 550ºC sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Produk Pirolisis dengan reaktor yang berbeda untuk berbagai Feedstock

Feedstock	% berat bahan bakar cair			Referensi (T= 300 – 550ºC)
	Batch Reaktor	*Fixed Bed* Reaktor	*Fluidized Bed* Reaktor	
PET	-	41,3		[18]
HDPE	-	79,72	68.7	[18]
	67	-	-	[57]
	69,3	85	-	[12]
	74	-	-	[39]
LDPE	-	84,25	-	[18]
	80,1	87	80	[12]
	85	-	-	[39]
Tongkol Jagung	-	47,3	-	[48]
Biji Kapas	48,6	-	-	[48]
Jerami	43,3	33,5	-	[48]
Biji Sirsak	18,6	-	-	[48]
Serbuk gergaji	-	31,1	-	[48]
Kulit kacang mete	40	-	-	[48]
Bagase	-	48,5	-	[48]
Tandan kosong sawit	-	-	42,28	[48]



Gambar 1.a Konfigurasi Reaktor Batch



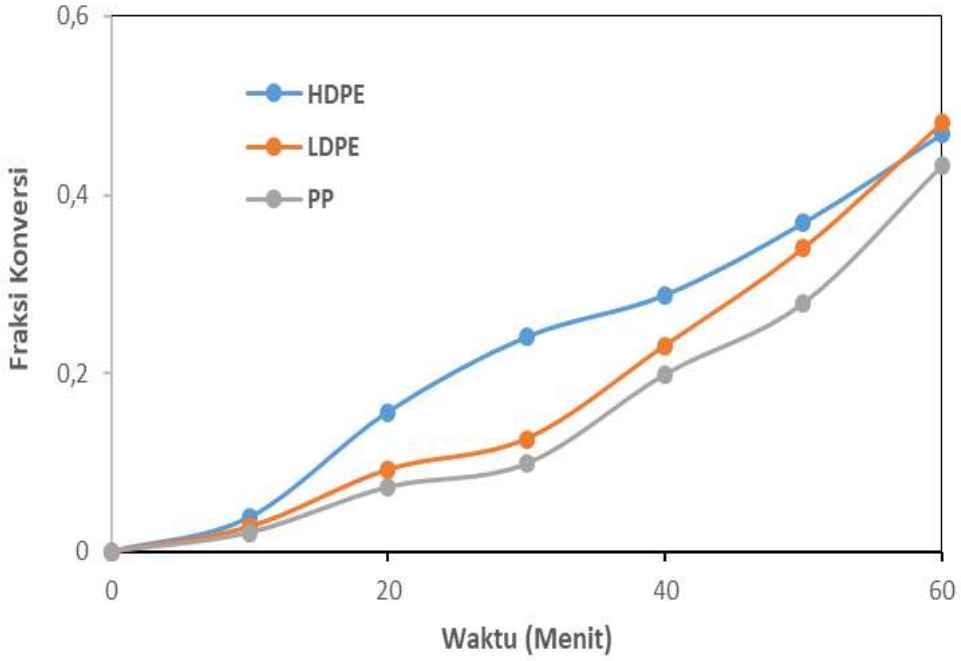
Gambar 1.b Konfigurasi Reaktor *Fixed-Bed*

Reaktor *fixed-bed* adalah sebuah reaktor berbentuk tabung silinder yang dipenuhi dengan katalis padat dimana reaktan mengalir melalui tumpukan katalis (biasanya berupa pellet) dan dikonversikan menjadi produk [59]. Konfigurasi reaktor *fixed-bed* seperti ditampilkan dalam Gambar 1.a [12]. Jenis reaktor ini memiliki kelemahan selama proses pengumpanan reaktan baik untuk pirolisis plastik [60] maupun untuk pirolisis biomassa [56]. Selain itu, luas permukaan katalis dimana kontak antar reaktan terjadi juga terbatas. Kelemahan dari reaktor *fixed-bed* kemudian diperbaiki dengan menggunakan reaktor *fluidized-bed*. Pada reaktor

jenis ini, katalis diletakkan di atas piringan dimana *fluidizing gas* mengalir melalui partikel katalis yang kemudian bergerak seperti fluida namun tidak sampai meninggalkan reaktor seperti terlihat pada Gambar 1.b [56]. Hasil beberapa penelitian proses pirolisis plastik dan biomassa menggunakan reaktor *fixed-bed* dan reaktor *fluidized bed* disajikan pada Tabel 2. Di sini dapat dilihat bahwa hasil pirolisis untuk berbagai jenis bahan baku memberikan hasil terbaik dengan menggunakan *fluidized bed reactor* kecuali untuk bahan baku dari jerami menunjukkan hasil terbaik jika menggunakan *batch* reactor.

5.3 Waktu Tinggal

Waktu tinggal berbanding lurus dengan konversi sebuah reaksi. Konversi bahan baku, plastik atau biomassa, didefinisikan sebagai banyaknya massa bahan baku yang berubah menjadi produk terhadap massa mula-mula bahan baku dengan formula sebagai berikut: $x = [m_o - m_f]/ m_o$ dengan m_o= massa plastik saat awal, gram, m_f = massa residu padat setiap saat, gram. Gambar 2 memperlihatkan pengaruh waktu tinggal terhadap konversi berbagai jenis plastik.



Gambar 2. Pengaruh waktu terhadap konversi pirolisis HDPE, LDPE, PP [61]

Dari gambar 2 dapat diamati kenaikan jumlah minyak yang dihasilkan setiap rentang waktu 0 menit. Hasil yang diperoleh sangat bergantung secara signifikan pada kenaikan suhu. Kenaikan suhu berbanding langsung dengan jumlah minyak yang dihasilkan, begitu juga dengan waktu reaksi yang semakin lama maka minyak yang dihasilkan akan semakin banyak. Dalam penelitian ini dilakukan percobaan secara duplo kemudian diambil nilai rata-rata sehingga diperoleh hasil yang akurat. Jenis plastik LDPE memberikan hasil terbaik yaitu konversi pirolisis 48 % pada waktu ke 60 menit [61].

6. Kesimpulan

Tulisan ini telah memberikan ringkasan singkat tentang pirolisis plastik dan biomassa untuk berbagai jenis dan fokus diskusi adalah menjelaskan pengaruh jenis *feedstock*, temperature, reaktor dan waktu reaksi untuk mengoptimalkan hasil bahan bakar minyak dimana kondisi terbaik diperoleh pada rentang temperatur 400 – 550°C. Berdasarkan studi literatur ini, proses pirolisis disukai oleh kebanyakan peneliti karena memiliki potensi untuk mengkonversi limbah plastik dan biomassa menjadi bahan bakar minyak, gas dan char. Pirolisis dapat dilakukan dalam reactor batch maupun kontinyu dengan atau tanpa katalis. Dengan metode pirolisis, pengelolaan limbah menjadi lebih efisien, kapasitas TPA yang diperlukan menjadi berkurang, mengurangi polusi dan juga biaya menjadi lebih ekonomis.

7. Ucapan Terima Kasih

Dengan tulus diucapkankan terima kasih atas dukungan dana yang diberikan oleh Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya melalui dana penelitian dengan Nomor Kontrak: 71. 01/DEK/FTI-UJ /XII/2018 sehingga tulisan ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. R. Singh and O. Singh, "Global Trends of Fossil Fuel Reserves and Climate Change in the 21st Century," *Fossil Fuel and the Environment,* pp. 167-192, 2012.

[2] M. M. Alla, A. Ahmed and B. K. Abdalla, "Conversion of Plastic Waste to Liquid Fuel," *International Journal of Technical Research and Applications,* vol. 2, no. 3, pp. 29-31, 2014.

[3] D. Almeida and M. d. F. Marques, "Thermal and catalytic pyrolysis of plastic waste," *Polímeros,* vol. 26, no. 1, pp. 44-51, 2016.

[4] I. Kholiq, "Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Subtitusi BBM," *Jurnal IPTEK,* vol. 19, no. 2, pp. 76-91, 2015.

[5] Arhamsyah, "Pemanfaatan Biomassa Kayu Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan,* vol. 2, no. 1, pp. 42-48, 2010.

[6] D. Anisah, Herliati and A. Widyaningrum, "Pemanfaatan Sampah Sayuran Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol," *Jurnal Konversi,* vol. 3, no. 1, pp. 13-17, 2014.

[7] E. K, M. G, A. Nego and F. X. A. Sugiyana, "Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak," in *Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, Yogyakarta, 2016.

[8] P. A. Brownsort, "Biomass Pyrolysis Processes:Performance Parameters And Their Influence On Biochar System Benefits," University of Edinburgh, 2009.

[9] R. Arun Joshi and R. Punia, "Conversion of Plastic Wastes Into Liquid Fuels," *Recent Advances in Bioenergy Research*, vol. 3, no. 1, pp. 444-454, 2014.

[10] A. R. P. Ali and Munawar, "Pengolahan Sampah Plastik Menjadi mInyak Menggunakan Proses Pirolisis," *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 4, no. 1, pp. 44-53, 2010.

[11] K. K. B. Kemaritiman, "Hot Spot Sampah Laut Indonesia," World Bank Group, Jakarta, 2018.

[12] S. D. A. Sharuddin, F. Abnisa, W. M. A. W. Daud and M. K. Aroua, "A review on pyrolysis of plastic wastes," *Energy Conversion and Management*, vol. 115, no. 1, p. 308–326, 2016.

[13] F. Gao, Pyrolysis of Waste Plastics into Fuels, University of Canterbury, 2010.

[14] M. M. Gaurav, A. K.N. and S. Lingegowda, "Conversion Of LDPE Plastic Waste Into Liquid Fuel By Thermal Degradation," *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 104-107, 2014.

[15] V. B, Chanashetty and B. Patil, "Fuel from Plastic Waste," *International Journal on Emerging Technologies(Special Issue on NCRIET-2015)*, vol. 6, no. 2, pp. 21-128, 2015.

[16] M. Sarker, M. M. Rashid and M. Molla, "Waste Plastic Conversion into Chemical Product Like Naphtha," *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, vol. 1, pp. 1-7, 2011.

[17] A. Machiraju, Harinath and K. Charan, "Extraction Liquid Hydrocarbon Fuel From Waste Plastic," in *National Conference On Trends In Science, Engineering & Technology by Matrusri Engineering College*, India, 2018.

[18] G. J. Ghewade, J. S. Bagi, S. B. Desai and M. M. Wagh, "A Review on Liquid Fuel Recovery from Waste Plastic Using Pyrolysis Process," *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, vol. 5, no. 9, pp. 375-379, 2017.

[19] R. Miandad, M. Barakat, M. Rehan, A. Aburiazaiza, I. Ismail and A. Nizami, "Plastic waste to liquid oil through catalytic pyrolysis using natural and synthetic zeolite catalysts," *Waste Management*, 2017.

[20] M. I. Jahirul, M. G. Rasul, A. A. Chowdhury and N. Ashwath, "Biofuels Production through Biomass Pyrolysis," *Energies* , vol. 5, no. 1, pp. 4952-5001, 2012.

[21] A. Mishra, "Renewable Energy Production from Lantana Camara Biomass," *Global Journal of Human-Social Science: Interdisciplinary*, vol. 18, no. 3, 2018.

[22] T.Iskandar and N. Siswanti, "Pemanfaatan Limbah Pertanian Sebagai Energi Alternatif Melalui Konversi Thermal," *Buana Sains* , vol. 12, no. 1, pp. 117-122, 2012.

[23] M. Rasul and M. Jahirul, "Recent Developments in Biomass Pyrolysis for Bio-Fuel Production: Its Potential for Commercial Applications," *Recent Researches in Environmental and Geological Sciences*, pp. 256-265, 2010.

[24] J. T. Oladeji, E. Itabiyi and P. O. Okekunle, "A Comprehensive Review of Biomass Pyrolysis as a Process of Renewable Energy Generation," *Journal of Natural Sciences Research* , vol. 5, no. 5, pp. 99-105, 2015.

[25] H. Sharma, "Innovative and Sustainable Application of PET Bottle a Green Construction Overview," *Indian Journal of Science and Technology* , vol. 10, no. 16, pp. 1-6, 2017.

[26] "Emission Factors," in *Organic Chemical Process Industry*, pp. 6.6.2-1-6.6,2-13.

[27] M. Sulyman, K. Formela and J. T. Haponiuk, "Utilization of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) in Engineering Materials: A Review," *International Journal of Environmental Science and Development*, vol. 7, no. 2, pp. 100-108, 2016.

[28] Rajaram.T.Karad and S. Havalammanavar, "Waste plastic to fuel-Petrol, Diesel, Kerosene," *International Journal of Engineering Development and Research*, vol. 5, no. 3, pp. 641-645, 2017.

[29] S. V. Papuga, P. M. Gvero and L. M. Vukic, "Temperature And Time Influence On The Waste Plastics Pyrolisis In The Fixed Bed Reactor," *Thermal Science*, vol. 20, no. 2, pp. 731-741, 2016.

[30] G.-G. Choi, S.-J. Oh and J.-S. Kim, "Intermediate pyrolysis of scrap tires in a fixed bed reactor and activation of the pyrolysis char using CO2: Characteristics of pyrolysis products and activated char," in *7th International Symposium on Feedstock Recycling of Polymeric Materials* , New Delhi, 2013.

[31] K. T. Kyaw and C. S. S. Hmwe, "Effect of Various Catalysts on Fuel Oil Pyrolisis of Mixed Plastic Wastes," *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, vol. 8, no. 5, pp. 794-802, 2015.

[32] D. Y. Hopa, A. Yilmaz and T. A. Bahtli, "Recovery of waste tyres by pyrolysis in a fixed bed reactor for liquid fuel production: effects of pyrolysis conditions on oil yield," *Engieering Structures and Materials*, vol. 3, no. 3, pp. 186-191 , 2017.

[33] A. Vijayakumar and J. Sebastian, "Pyrolysis process to produce fuel from different types of plastic – a review," *Materials Science and Engineering*, pp. 1-8, 2018.

[34] N. L. Rahim, S. Salehuddin, N. M. Ibrahim1, R. C. Amat and M. F. A. Jalil, "Use of

Plastic Waste (High Density Polyethylene) In Concrete Mixture as Aggregate Replacement," *Advance Material Research*, vol. 70, no. 1, pp. 265-269, 2013.

[35] Orkustofnun, "Pyrolysis of plastic waste for fuel production," Resource International EHF, Northern Europe, 2015.

[36] M. A. Goad and R. Ali, "Thermal and Catalytic Cracking of Plastic Wastes into Hydrocarbon Fuels," *International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS)*, vol. 1, no. 5, pp. 56-61, 2017.

[37] A. Olufemi and S. Olagboye, "Thermal conversion of waste plastics into fuel oil," *International Journal of Petrochemical Science & Engineering*, vol. 2, no. 8, p. 252–257, 2017.

[38] H. A. Gabbar, M. Aboughaly and C. B. Stoute, "DC Thermal Plasma Design and Utilization for the Low Density Polyethylene to Diesel Oil Pyrolysis Reaction," *Energies*, vol. 10, no. 6, pp. 1-15, 2017.

[39] M. S. Abbas-Abadi, A. G. McDonald, M. N. Haghighi and H. Yeganeh, "Estimation of pyrolysis product of LDPE degradation using different process parameters in a stirred reactor," *Polyolefins Journal* , vol. 2, no. 1, pp. 39-47, 2015.

[40] H. A. Maddah, "Polypropylene as a Promising Plastic: A Review," *American Journal of Polymer Science*, vol. 6, no. 1, pp. 1-11, 2016.

[41] C. Areeprasert, J. Asingsamanunt, S. Srisawat, J. Kaharn, B. Inseemeesak, P. Phasee, C. Khaobang, W. Siwakosit and C. Chiemchaisri, "Municipal Plastic Waste Composition Study at Transfer Station of Bangkok and Possibility of its Energy Recovery by Pyrolysis," in *3rd International Conference on Energy and Environment Research, ICEER*, Spain, 2016.

[42] M. B. Kutoli, K. S. Shegunsi, Imagoudanavar, M. A and A. S. Malaji, "Production and Purification of Liquid Fuel From Houehold Plastik Waste For CI Engine," Visvesvaraya Technological University, India, 2016.

[43] W. Hermann, P. Bosshard, E. H. Hunt and A. Simon, "An Assessment of Biomass Feedstock and Conversion Research Opportunities," GCEP , California, 2005.

[44] H. Cser and L. Boby, "Biomass Feedstocks Characteristics," USDA National Institute of Food and Agriculture, United State, 2015.

[45] J. Bates, "Biomass Feedstock Availability," Ricardo Energy & Environment reference:, United Kingdom, 2017.

[46] K. Parmar, "Biomass- An Overview on Composition Characteristics and Properties,"

IRA-International Journal of Applied Sciences, vol. 7, no. 1, pp. 42-51, 2017.

[47] L. Liua, X. P. Yea, A. R. W. and S. Sokhansanj, "Variability of biomass chemical composition and rapid analysis using FT-NIR techniques," *Carbohydrate Polymers,* vol. 81, no. 1, p. 820–829, 2010.

[48] A. Verma, R. Shankar and P. Mondal, *A Review on Pyrolysis of Biomass and the Impacts of Operating Conditions on Product Yield, Quality, and Upgradation,* India: Springer, 2018.

[49] S. B. A. H. H. V. Lee and S. K. Zain, "Conversion of Lignocellulosic Biomass to Nanocellulose: Structure and Chemical Process," *Scientific World Journal,* pp. 1-20, 2014.

[50] M. A. Wicaksono and Arijanto, "Pengolahan Sampah Plastik Jenis PET(Polyethylene Perepthalathe) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif," *Jurnal Teknik Mesin,* vol. 5, no. 1, pp. 9-15, 2017.

[51] C. Santaweesuk and A. Janyalertadun, "The Production of Fuel Oil by Conventional Slow Pyrolysis Using Plastic Waste from a Municipal Landfill," *International Journal of Environmental Science and Development,* vol. 8, no. 3, pp. 168-173, 2017.

[52] R. Rafli, M. Syamsiro and H. B. Fajri, "Penerapan Teknologi Pirolisis Untuk Konversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak di Kabupaten Bantul," *Jurnal Teknologi,* vol. 2, no. 1, pp. 1-5, 2017.

[53] S. D. A. Sharuddin, F. Abnisa, W. M. A. W. Daud and M. KAroua, "Pyrolysis of plastic waste for liquid fuel production as prospective energy resource," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering,* vol. 334, no. 1, pp. 1-8, 2018.

[54] I. M. Idriss, M. M. Ahmed and A. S. Grema, "Effect of Temperature on Products Compositions of Beech Wood Pyrolysis," *Faculty of Engineering Seminar Series,* vol. 8, no. 1, pp. 25-30, 2017.

[55] Z. Tamri, A. V. Yazdi, M. N. Haghighi, M. Seifali, Abbas-Abad and A. Heidarinasab, "Effect of temperature, heating rate and zeolite-based catalysts on the pyrolysis of high impact polystyrene (HIPS) waste to produce fuel-like products," *Polyolefins Journal,* vol. 6, no. 1, pp. 43-52, 2019.

[56] P. Kaushal and J. Abedi, "A simplified model for biomass pyrolysis in a fluidized bed reactor," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry,* vol. 16, no. 1, pp. 748-755, 2010.

[57] B. Fekhar, T. Bhaskar, N. Miskolczi and J. Kumar, "Co-pyrolysis of biomass and plastic wastes: investigation of apparent kinetic parameters and stability of pyrolysis oils," in

7th International Conference on Clean and Green Energy-ICCGE, 2018.

[58] O. Levenspiel, Chemical Reaction Engineering, Toronto: John Wiley & Sons , 1999.

[59] H. Fogler, Elements of Chemical Reaction Engineering, Edinburgh: Pearson, 2014.

[60] J. Kluska, M. Klein, P. Kazimierski and D. Kardas, "Pyrolysis of biomass and refuse-derived fuel performance in laboratory scale batch reactor," Szewalski Institute of Fluid-Flow Machinery, Poland, 2014.

[61] Herliati, S. B. Prasetyo and Y. Verinaldi, "Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Kerosen," Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya, Jakarta, 2019.

Journal Renewable Energy & Mechanics (REM) *E-ISSN: 2614-8315*
Vol.02 No.02 2019: 92-98 *P-ISSN: XXXX-XXXX*
DOI: 10.25299/rem.2019.vol2(02).3650 Received 2019-08-16; Accepted 2019-09-26

BIOGAS SYSTEM AS A HOUSEHOLD SCALE RENEWABLE ENERGY BY UTILIZING QUAIL MANURE

(SISTEM BIOGAS SEBAGAI EERGI TERBARUKAN SKALA RUMAH TANGGA DENGAN MEMANFAATKAN LIMBAH KOTORAN BURUNG PUYUH)

Eddy Elfiano[1], Muhammad Cendekia Fadhilah[1]*, Mohd Shahbudin Masdar[2]
[1]Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau
[2]Department of Chemical Engineering, Universiti Kebangsaan Malaysia
Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 Pekanbaru (28284)
Corresponding author: Cendekia610756@gmail.com

ABSTRACT

Bioenergy development is very important as a source of energy supply in the future. One of the bioenergy that can be developed to be used in the household is biogas energy. Biogas production process through anaerobic degradation of organic materials such as livestock is one of the technological solutions to produce alternative energy. The objective of this study is to obtain a simple household biogas system design with quail manure waste material. The method used in this study is an experimental method by measuring differences in manometer height, biogas pressure, gas volume development, gas volume, biogas production, and flame test. This study used quail and water manure with a ratio of 1: 1 at a digester capacity of 0.121 m^3. Data collection was carried out for 50 days. In this research, the household scale biogas system constructed of a fiber glass drum with 44 cm diameter and 80 cm height. The results show that pressure generated for 50 days is 104,895 N / m^2, with the development of the volume of gas per day an average of 0.047 m^3, the volume of biogas produced for 50 days is 1.82 m^3, and produces a flame on the stove for 1 hour 36 minutes.

Keywords: Biogas system, biogas, renewable energy, quail droppings

ABSTRAK

Pengembangan bioenergi sangat penting sebagai sumber penyediaan kebutuhan energi di masa mendatang. Salah satu bioenergi yang bisa dikembangkan untuk dimanfaatkan dalam rumah tangga adalah energi biogas. Proses produksi biogas melalui degradasi bahan organik seperti kotoran ternak secara anaerobik merupakan salah satu solusi teknologi untuk memproduksi energi alternatif. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan desain sistem biogas sederhana skala rumah tangga dengan bahan baku limbah kotoran burung puyuh. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental dengan mengukur perbedaan ketinggian manometer, tekanan biogas, perkembangan volume gas, jumlah volume gas, produksi biogas, dan uji nyala api. Penelitian ini menggunakan bahan kotoran burung puyuh dan air dengan perbandingan 1:1 pada kapasitas digester 0,121 m^3. Pengambilan data dilakukan selama 50 hari. Hasil dari penelitian ini adalah menghasilkan sistem biogas skala rumah tangga yang terbuat dari drum yang terbuat dari fiber glass dengan diameter 44 cm dan tinggi 80 cm.

Tekanan yang dihasilkan selama 50 hari adalah 104.895 N/m^2, dengan perkembangan volume gas perhari rata-rata sebesar 0,047 m^3, volume biogas yang dihasilkan selama 50 hari sebanyak 1,82 m^3, dan menghasilkan nyala api pada kompor selama 1 jam 36 menit

Kata kunci: Sistem biogas, biogas, energi terbarukan, kotoran burung puyuh

PENDAHULUAN

Pengembangan Bioenergi sangat penting sebagai sumber penyediaan kebutuhan energi di masa mendatang, mengingat keterbatasan cadangan energi konvesional (minyak dan gas bumi serta batu bara) dan harganya yang fluktuatif (Ditjen EBTKE, 2013). Salah satu Bioenergi yang bisa dikembangkan untuk dimanfaatkan dalam rumah tangga adalah energi Biogas, Biogas merupakan energi berbentuk gas yang bisa digunakan untuk pengganti listrik dan untuk bahan bakar minyak. Kelebihan Biogas ini ketersediaan bahan baku banyak dan gratis. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan Biogas adalah limbah-limbah organik

Pada penelitian yang dilakukan Putra, dkk (2017) telah dibuat rancangan desain reaktor *floating drum* dengan tinggi 92 cm dan diameter 52 cm, menggunakan bahan baku kotoran sapi. Keuntungan digester ini yaitu volume gas yang dihasilkan dapat diketahui dengan adanya pergerakan drum penampung gas, kerugiannya yaitu biaya yang digunakan lebih mahal dibandingkan dengan digester jenis kubah tetap.

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan Biogas sederhana skala rumah tangga dengan jenis digester kubah tetap, bahan baku menggunakan kotoran burung puyuh. Populasi burung puyuh di Provinsi Riau menurut Statistik Peternakan dan kesehatan hewan pada tahun 2014 sebanyak 123.996 ekor dan meningkat pada tahun 2018 menjadi 130.398 ekor. Provinsi Riau memiliki potensi limbah kotoran burung puyuh yang dapat dimanfaatkan menjadi energi biogas

Sehubungan dengan latar belakang diatas maka dilakukan penelitian mengenai "Sistem Biogas Sebagai Energi Terbarukan Skala Rumah Tangga Dengan Memanfaatkan Limbah Kotoran Burung Puyuh".

TINJAUAN PUSTAKA

Biogas

Proses produksi biogas melalui degradasi bahan organik seperti kotoran ternak secara anaerobik merupakan salah satu solusi teknologi untuk memproduksi energi alternatif, teknologi ini tepat di aplikasikan untuk masyarakat pedesaan untuk pemenuhan kebutuhan energi (Atmodjo, dkk. 2014). bahan baku pembuatan biogas adalah bahan-bahan organik seperti limbah peternakan, limbah pertanian, limbah industri, limbah sampah organik, limbah kotoran manusia. Proses pembuatan biogas dari limbah peternakan dapat berasal dari kotoran sapi, kerbau, babi, kuda, kelinci, ayam, itik, burung puyuh, dan ternak lainnya (Wahyuni, 2017). Proses biogas terbentuk akibat proses fermentasi dan menghasilkan bakteri-bakteri fermentasi yang membantu proses pembentukan biogas.

Proses Pembentukan Biogas

Pembentukan bahan organik menjadi biogas membutuhkan ruang

kedap udara, tanpa ada oksigen (anaerob). Karena proses pembentukan biogas di ruang kedap udara (anaerob), sehingga sistem biogas tidak ada bau atau aroma dari proses pengolahan bahan organik menjadi biogas. Dalam pembentukan biogas ada tiga proses utama, yaitu proses hidrolisis, pengasaman (asidifikasi), dan metanogenesis.

Perhitungan Sistem Biogas

Untuk melakukan penelitian sistem biogas menggunakan rumus-rumus dibawah ini :

1. Kapasitas Digester
   $V = \pi r^2 \times h$
2. Kapasitas Isi Digester
   $V_1 = V \times 60\%$
2. Jumlah Kotoran Burung Puyuh
   $Vo = n_1 \times V_1$
3. Jumlah Air
   $Va = n_2 \times V_1$
4. Massa Jenis Kotoran Burung Puyuh
   $\rho_k = \frac{m}{v}$
5. Massa Kotoran Burung Puyuh
   $M_k = \rho_k \times Vo$
6. Massa Air
   $M_a = \rho_{air} \times Vo$
7. Volume Ruang Biogas
   $V_{rg} = V \times 40\%$
8. Tekanan Biogas
   $P = \rho\ h_20\ .\ g\ .\ \Delta h$ + tekanan atmosfer
9. Perkembangan Volume Biogas
   $V_g = \frac{P1}{P2} \times V_{rg}$
10. Jumlah Volume Biogas
    $V_{gd} = V_{g1} + V_{g2}$
11. Produksi Biogas
    $Pg = \frac{Vgd}{Mk}$

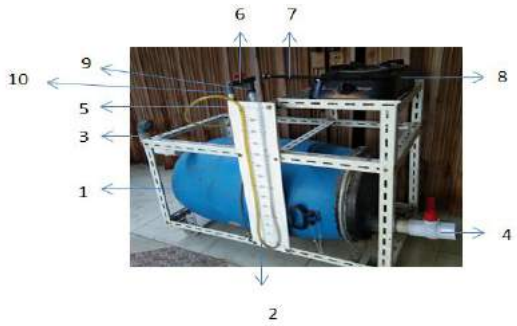
METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan bahan

Bahan yang digunakan untuk menghasilkan biogas dalam penelitian ini adalah dari limbah kotoran burung puyuh yang masih baru 2-3 hari

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Digester biogas
2. Manometer
3. Katup/keran *Inlet*
4. Katup/keran *Outlet*
5. Katup/keran digester
6. Katup/keran kompor
7. Selang
8. Kompor
9. *Water Trap*
10. Pipa PVC
11. Alat pendukung (*Stopwatch*, timbangan, gelas ukur).



Gambar 1. Desain Sistem Biogas

Metode Pengujian

Adapun tahapan metode pengujian pertama adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan bahan kotoran burung puyuh dan air, lalu mencampur denghan perbandingan 1:1.
2. Buka katup gas digester dan katup gas kompor.
3. Pasttikan katup *outlet* sudah tertutup, lalu buka katup *inlet*.
4. Masukan bahan baku (campuran kotoran burung puyuh dan air) yang digunakan untuk membuat biogas kedalam digester.

5. Tutup katup *inlet*, katup gas digester, dan katup gas kompor.
6. Pindahkan alat biogas ke tempat yang tidak terkena sinar matahari langsung.
7. Setelah beberapa hari amati perbedaan ketinggian air manometer.
8. Kemudian catat perbedaan ketinggian air manometer.
9. Manometer diamati setiap hari saat proses fermentasi masih berlangsung
10. Pada hari ke 14, gas yang terbentuk masih terdapat udara di dalamnya, keluarkan gas dari digester sampai tidak mengeluarkan bau.
11. Amati perbedaan ketinggian air manometer sampai biogas tidak diproduksi lagi, dengan tanda setelah beberapa hari tidak terjadi perubahan ketinggian air manometer.
12. Setelah itu lakukan pengecekan gas, cek ketinggian air di *water trap* jika dibawah normal tambahkan sampai batas yang ditentukan.
13. Buka katup gas digester dan amati *water trap*, jika ada gelembung udara tandanya gas sudah mengalir.
14. Kemudian buka katup gas kompor, lalu hidupkan kompor.
15. Jika kompor sudah bisa menyala, hitung waktu dimulai dari kompor hidup
16. Kemudian biarkan kompor hidup sampai biogas tersebut habis.
17. Lalu catat berapa lama waktu dari awal kompor hidup sampai dengan biogas habis

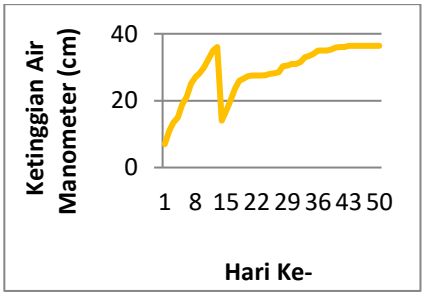
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Sistem Biogas

Digester biogas pada penelitian ini drum *fiber glass* dengan diameter 44 cm dan tinggi 80 cm, memiliki kapasitas sebanyak 0,121 m^3. Digester tersebut bisa menampung campuran air dan kotoran burung puyuh sebanyak 0,072 m^3, dan masih tersedia ruang untuk menampung gas sebanyak 0.048 m^3.

Dengan kapasitas digester yang akan diisi sebanyak 0,072 m^3 dibutuhkan kotoran burung puyuh sebanyak 32,94 kg, dan dibutuhkan air sebanyak 36 liter.

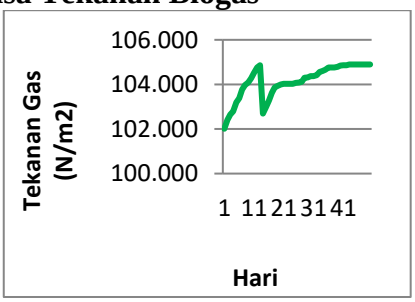
Analisa Manometer



Gambar 2. Grafik Air Manometer

Dari gambar 2, terlihat perubahan ketinggian air manometer sangat fluktuatif, disebabkan karena pada hari ke 14 biogas yang dihasilkan masih tercampur dengan udara dikeluarkan dari digester, sehingga terjadi penurunan. Selama 50 hari perubahan ketinggian air manometer sebesar 36,4 cm.

Analisa Tekanan Biogas

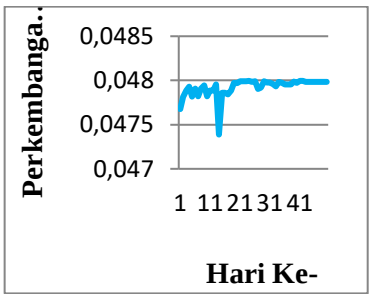


Gambar 3 Grafik Tekanan Gas

Dari gambar 3, menunjukkan perubahan tekanan biogas di dalam

digester, penurunan tekanan disebabkan karena pada hari ke 14 biogas yang dihasilkan masih tercampur dengan udara dikeluarkan dari digester, sehingga terjadi penurunan. Selama 50 hari perubahan tekanan biogas menjadi sebesar 104.895 N/m^2.

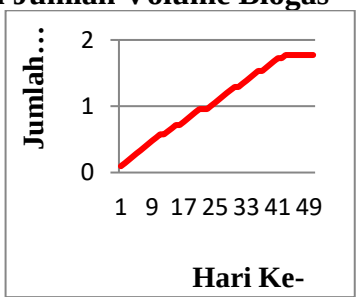
Analisa Perkembangan Volume Biogas



Gambar 4. Grafik Perkembangan Volume Biogas

Gambar 4 diatas, menunjukkan perkembangan volume biogas perhari sangat fluktuatif, hal ini disebabkan oleh bakteri penghasil biogas tidak bekerja secara optimal, dan pada hari terjadi penurunan akibat gas didalam digester yang masih tercampur udara dikeluarkan ke udara bebas.

Analisa Jumlah Volume Biogas



Gambar 5. Grafik Jumlah Volume Biogas

Gambar 5, menunjukkan jumlah volume biogas yang semakin meningkat, dan pada hari ke 44 sampai hari ke 50 volume biogas tidak lagi bertambah akibat bakteri penghasil biogas tidak lagi bekerja menghasilkan biogas. Volume biogas yang dihasilkan selama 50 hari adalah sebanyak 1,82 m^3.

Uji Nyala Api

Pada penelitian ini lama waktu retensi kotoran burung puyuh selama 50 hari menghasilkan volume gas sebanyak 1,82 m^3, dan setelah uji nyala api dilakukan dengan volume gas 1,82 m^3 kompor bisa menyala selama 96 menit (1 jam 36 menit). Hasil uji nyala api kompor menggunakan gas hasil fermentasi kotoran burung puyuh menghasilkan api yang berwarna biru, dan ada sedikit api yang menimbulkan warna oranye, hal ini menunjukkan pada gas masih terdapat kandungan air dengan persentase yang kecil. Hasil uji nyala api kompor dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 6. Uji Nyala Api

KESIMPULAN

1. Sistem biogas sederhana skala rumah tangga dengan digester berkapasitas 0,121 m^3
2. lama waktu retensi pada penelitian ini adalah 50 hari. Perubahan ketinggian air manometer ter tinggi pada hari ke 2, 5, dan 7, perubahan ketinggian air manometer yang terjadi sebesar 4 cm dari hari sebelumnya
3. Tekanan gas yang dihasilkan selama 50 hari sebesar 104.895 N/m^2, perkembangan volume gas tertinggi pada hari ke 24 dan 41 yaitu sebesar 0,047955 m^3
4. Jumlah volume gas yang dihasilkan selama 50 hari sebesar 1,82 m^3.

Volume gas tersebut dapat menyalakan api kompor selama 96 menit **Ss**

5. warna nyala api biru sedikit oranye yang menandakan masih terdapat kandungan air pada gas dengan persentase yang kecil.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim (2007) Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi. Lembaran Negara RI Tahun 2007, Nomor 96. Sekretariat Negara. Jakarta

Atmodjo, M.C. Tri. Dkk. (2014). Perancangan Tangki Biogas Portabel Sebagai Sarana Produksi Energi Lternatif Di Pedesaan. Widyariset, Volume 17, Nomor 3, Desember 2014, Halaman 409-416

Cengel .A. Yunus dan Michael .A. Boles (1989). Thermodynamics An Engineering Approach. New York : Mc Graw Hill Book

Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi. 2013. Kebijakan Bioenergi Di Indonesia. Pekanbaru.

Hasiholan. U, Haryanto. A, dan Prabawa.S. (2016).Produksi Biogas Dari Umbi Singkong Dengan Kotoran Sapi Sebagai Starter. Jurnal Teknik Pertanian Lampung, Volume 5 Nomor 2, Juli 2017, Halaman 109-116

Putra. G.M. Dwi, Abdullah. S.H, Priyati.A, Setiawati.D.A, Muttalib.S.A. (2017).Rancang Bangun Reaktor Biogas Tipe Portable Dari Limbah Kotoran Ternak Sapi.Jurnal ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem, volume 5, nomor 1, Maret 2017, halaman 369-374.

Putro.S. (2007).Penerapan Instalasi Sederhana Pengolahan Kotoran Sapi Menjadi Energi Biogas Di Desa Sugihan Kecamatan Bendosari Kabupaten Sukoharjo. Warta, volume 10, nomor 2, September 2007, halaman 178-188

Rahmadi.H dan Sudirman (2014). Pengaruh Pemberian Water Trap Pada Biogas Terhadap Warna Nyala Api. Jurnal Logic, volume 14, nomor 1, Maret 2014, halaman 50-53

Suyitno, Sujono. A dan Dharmanto.(2010). Teknologi Biogas Pembuatan Operasional Dan Pemanfaatan.Yogyakarta : Graha Ilmu

Sriyanti, Widya. S, Pulungan. L, dan Usman.D.N, (2016). Menggali Kekuatan Internal Masyarakat Melalui Energi Baru Terbarukan Khususnya Limbah Ternak Sapi Di Desa Wanajaya Kecamatan Wanaraja Kabupaten Garut Provinsi Jawa Barat.Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, volume 4, nomor 1 Januari 2016, halaman 13-20.

Sya'roni. A, I , (2016). Analisa Warna Api Dan Suhu Pembakaran Biogas Limbah Pasar Yang Sudah Dipurifikasi Dengan Kalium Hidroksida. Skripsi. Jember : Strata Satu Teknik Mesin Universitas Jember

The Biogas Techonology in China. (1989). Chengdu Biogas Research Institute, Chengdu, China

Wahyuni.S. (2008).Biogas Hemat Energi Pengganti Listrik BBM Dan Gas Rumah Tangga.Jakarta : Agromedia Pustaka

Yahya. Y, Tamrin, dan Triyono. S. (2017). Produksi Biogas Dari Campuran Kotoran Ayam Kotoran Sapi Dan Rumput Gajah Mini (*Pennisetum purpureum cv.Mott*) Dengan Sistem *Batch*. Jurnal Teknik Pertanian Lampung, Volume 6, Nomor 3, Halaman 151-160

p-ISSN 2085- 6989
e-ISSN 2654 - 4733
Elektron Jurnal Ilmiah Volume 12 Nomor 1 Juni 2020 **TERAKREDITASI RISTEKDIKTI No. SK : 28/E/KPT/2019**

Pemanfaatan Gas Buang pada *Waste Heat Recovery Power Generation* untuk dikonversi menjadi Energi Terbarukan di Indarung V, PT. Semen Padang, Indonesia

Nasrul Harun[1*], Valdi Rizki Yandri[2]
[12]Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang
Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang, Jl. Limau Manih Padang, 25164, Indonesia
*Corresponding Author, email: nasrul.harun1959@gmail.com

Abstrak— Proses pembakaran batu bara yang membutuhkan temperatur tinggi akan menghasilkan energi kalor terbuang yang dapat digunakan sebagai penggerak generator sehingga menghasilkan energi listrik. Oleh karena itu, P.T. Semen Padang berhasil mendapatkan pendanaan dari pemerintah Jepang, Organisasi Pengembangan Teknologi Energi Baru Terbarukan (NEDO) untuk membangun Pembangkit Listrik Tenaga Limbah Kalor atau Waste Heat Recovery Power Generator (WHRPG) di area produksi Semen Padang, Indarung V. Pemanfaatan energi panas tidak dapat dioperasikan secara manual, sehingga sistem kendali diperlukan untuk mengendalikan kinerja WHPRG ini. Operasional WHPRG dapat menghaslikan daya listrik 196,15 MW sehingga dapat mengurangi daya listrik yang harus disuplai oleh PT. PLN (Persero). Selain itu, pengeluaran PT. Semen Padang pun dapat dihemat sejumlah Rp. 33 milyar per tahun dan emisi CO2 dapat dikurangi sejumlah 33.000 ton per tahun.

Kata kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Limbah Kalor (WHRPG), daya listrik, energi baru terbarukan

Abstract— The coal combustion processes which require high temperature will produce waste heat energy. The energy can be used as generator propulsion to produce electrical energy. Thus, Semen Padang Corporation has successfully got funding from the Japan government, New Energy Technology Development Organization (NEDO) to build the installation Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG) located in the production area of Semen Padang Corporation, Indarung V. Furthermore, heat energy process can not be operated manually, so control system is needed to control this WHPRG performance. The operational of WHPRG can produce electricity power 196.15 MW as to reduce the electric power that must be supplied by Indonesian Electricity Corporation. Besides that, the outcome of Semen Padang Corporation can be saved 33 billion Rupiah per year and CO2 emission can be declined 33,000 tons per year.

Keywords: Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG), electrical power, renewable energy

© 2020 Elektron Jurnal Ilmiah

I. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, pemanfaatan sumber energi kalor seperti panas bumi, gas sisa turbin dan limbah kalor dari industri menarik perhatian berbagai kalangan. Hal ini bertujuan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan mengurangi limbah dari industri [1]–[3]. Energi kalor merupakan kebutuhan yang tidak bisa dihindari pada berbagai industri. Namun demikian, limbah kalor yang berlebihan tidak dapat dihindari dan tidak dapat digunakan kembali di industry [4]–[6].

Limbah kalor dari pembangkit listrik termal berasal dari kalor pada bagian input, dan dapat mencapai 55% dari total kalor dari bahan bakar yang digunakan. Pemanfaatan kembali limbah kalor merupakan hal penting tetapi masih membutuhkan penelitian dan pengembangan. Pemanfaatan limbah kalor dapat mengurangi polusi termal dan mendukung konservasi energi [7], [8]. Generator termoelektrik dapat memanfaatkan energi termal untuk dikonversi menjadi energi listrik berdasarkan pada ketiga efek termoelektrik, yaitu efek Seebeck, efek Peltier dan efek Thomson [9], [10]. Efek Seebeck terjadi saat potensial listrik yang dihasilkan pada rangkaian terbuka yang terbentuk oleh dua konduktor berbeda saat sambungan kedua konduktor ini dipertahankan pada temperatur yang berbeda. Efek Peltier menyatakan bahwa kalor dapat diserap atau dibebaskan di sambungan dua konduktor berbeda saat adanya aliran arus listrik [11]. Efisiensi konversi modul termoelektrik yang masih rendah (<5%) menjadi faktor utama penyebab aplikasinya masih terbatas dalam pembangkit tenaga listrik dan juga untuk situasi khusus dimana keandalan merupakan pertimbangan utama [12].

Oleh karena ditingkatkannya perlindungan lingkungan, aplikasi teknologi thermoelectric dipelajari secara ekstensif. Generator termoelektrik (TEG) dapat mengkonversi energi termoelektrik dengan cara yang sederhana dan dapat diandalkan. Selain itu, modul TEG memiliki kelebihan ramah lingkungan sehingga penggunaan TEG untuk mengolah limbah kalor telah dibahas secara komprehensif di berbagai industri. Selama 30 tahun terakhir, penerapan teknologi termoelektrik bertambah untuk meningkatkan efisiensi pengolahan kalor limbah, dengan menggunakan

Received 06 Februari 2020; Revised 09 April 2020; Accepted 20 April 2020

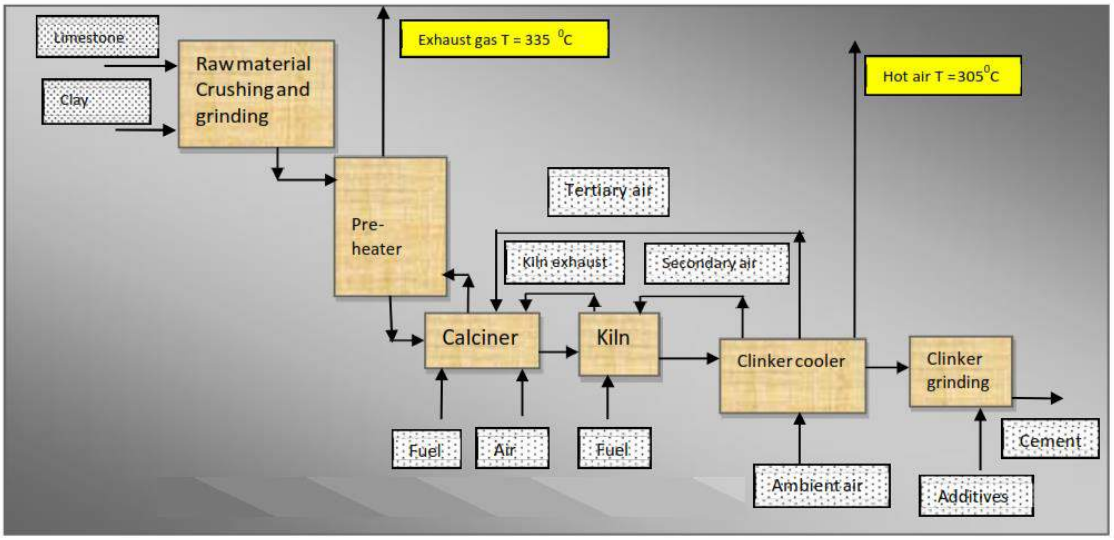
berbagai sumber kalor seperti energi panas bumi, pembangkit listrik, mobil dan proses penghasil kalor lainnya di industry [13], [14].

Generator termoelektrik juga dapat meningkatkan kemampuan ICE untuk mengubah bahan bakar menjadi daya yang bermanfaat. Dengan mengubah limbah kalor menjadi listrik, kinerja mesin, efisiensi, keandalan, dan fleksibilitas desain dapat ditingkatkan secara signifikan [15], [16]. Proses pembakaran batubara membutuhkan suhu tinggi dan akan menghasilkan limbah kalor yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk pembangkit tenaga listrik. PT. Semen Padang berhasil mendapatkan pendanaan dari pemerintah Jepang, Organisasi Pengembangan Teknologi Energi Baru Terbarukan (NEDO), untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Limbah Kalor (WHRPG) di daerah produksi Semen Padang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Deskripsi Proses Produksi Semen

Semen diproduksi dengan mencampurkan alumina yang berkapur dengan silika besi oksida, kemudian membakarnya pada temperatur tertentu dan menggilingnya. Untuk memproduksi 1 ton semen Portland, dibutuhkan sekitar 1,5 – 1,7 ton bahan baku, 0,13 ton batu bara. Proses produksi semen memiliki tiga tahapan utama. Tahap pertama adalah tahap pencampuran dan penghancuran untuk mencampur jumlah tertentu dari tanah liat dan batu kapur sehingga menjadi bentuk bubuk. Tahap kedua adalah proses *pyro* yang membutuhkan lebih dari 90% total energi. Tahap ini termasuk *preheater*, *calciner*, *kiln* dan pendinginan.*Clinker* adalah produk utama dari tahap ini yang kemudian dikirim ke tahap penggilingan dan penghancuran akhir di pabrik semen. Selama tahap ketiga, *clinker* dihancurkan dan digiling menjadi butiran kecil dalam bentuk bubuk, dicampur dengan bahan aditif dan kemudian dilanjutkan ke tahap pengemasan [17].



Gambar 1. Proses Manufaktur Semen [17]

B. Pemanfaatan Gas Pembuangan dari Proses Manufaktur Semen

Berdasarkan proses manufaktur semen tersebut, terdapat gas pembuangan pada temperatur yang cukup tinggi yang memiliki energi kalor sehingga dapat dimanfaatkan untuk dikonversi menjadi energi listrik. WHRPG dapat dimanfaatkan untuk proses konversi ini dan memberikan banyak manfaat bagi PT. Semen Padang dalam bentuk penghematan energi, pengurangan emisi CO_2, sehingga membuat industri ini ramah lingkungan.

Pemanfaatan WHRPG ini juga bertujuan untuk menghemat energi dan meminimalkan emisi CO_2 melalui *Clean Development Mechanism* (CDM) sebagai implementasi Protokol Kyoto. Terdapat ruang lingkup yang besar dalam memulihkan limbah kalor dari berbagai industri untuk menghasilkan listrik melalui proses pada *heat recovery steam generator* (HRSG). HRSG juga dapat digunakan dalam turbin gas dan pembangkit listrik berbasis turbin uap untuk memanfaatkan limbah kalor dari gas buang turbin gas [18].

III. METODE

Beberapa langkah yang harus dilakukan untuk memperhitungkan daya yang dapat disuplai oleh WHRPG di PT. Semen Padang, terdiri dari perhitungan volum tangki air, percepatan aliran air, massa air, usaha dan daya air.

A. Perhitungan volum tangki air

Bentuk tangki air adalah silinder, maka persamaan untuk menghitung volum tangki air adalah sebagai berikut :

$$V = \pi \times r^2 \times h \quad (1)$$

dimana *V* adalah volume tangki air, *r* adalah is jari-jari tangki air dan *h* adalah tinggi tangki air.

B. Perhitungan akselerasi aliran air
Akselerasi aliran air dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$a = \frac{v}{t} \quad (2)$$

dimana *a* adalah akselerasi aliran air, *v* adalah kecepatan aliran air dan *t* adalah waktu untuk pengisian tangki *demineralizer*.

C. Perhitungan massa air
Massa air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$m = \rho \times V \quad (3)$$

dimana *m* adalah massa air, ρ adalah massa jenis air dan *V* adalah volum tangki air.

D. Perhitungan gaya dari aliran air
Gaya akibat aliran air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$F = m \times a \quad (4)$$

dimana *F* adalah gaya dari air, *m* adalah massa air dan *a* adalah akselerasi aliran air.

E. Perhitungan usaha dari aliran air
Usaha dari aliran air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$W = F \times d \quad (5)$$

dimana *W* adalah usaha dari air, *F* adalah gaya dari air dan *d* adalah jarak dari tangki air ke *boiler*.

F. Perhitungan daya listrik
Daya listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P = \frac{W}{t} \quad (6)$$

dimana *P* adalah daya listrik, *W* adalah usaha dari aliran air dan *t* adalah waktu untuk pengisian tangki air.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data tangki air dan peralatan lainnya, maka dapat dihitung daya listrik yang dapat dihasilkan WHRPG sebagai berikut :
Jari-jari tangki air = 1,75 m
Tinggi tangki air = 4 m
Massa jenis air = 1.000 kg/m^3
Waktu untuk pengisian tangki *demineralizer* = 1,5 jam
Jarak dari tangki air ke *boiler* = 255 m
Diameter pipa = 30 cm
Berdasarkan persamaan (1) :
Volum tangki air = 38,46504 m^3
Kecepatan aliran air = 30 km/jam

Berdasarkan persamaan (2) :

$$\text{akselerasi} = \frac{30\ km/\ jam}{1{,}5\ jam}$$

$$\text{akselerasi} = 20{,}000\ \text{m/jam}^2$$

$$\text{akselerasi} = 5{,}555.556\ \text{m/s}^2$$

Berdasarkan persamaan (3) :
Massa air = 1,000 kg/m^3 x 38.46504 m^3
Massa air = 38.465,04 kg

Berdasarkan persamaan (4) :
Gaya = 38.465,04 kg x 20,000 m/jam^2
Gaya = 769.210.800 N

Berdasarkan persamaan (5) :
Usaha = 769.210.800 N x 255 m
Usaha = 196.148.754 kJ

Berdasarkan persamaan (6) :

$$\text{Daya} = \frac{Usaha}{waktu}$$

$$\text{Daya} = \frac{196.148.754\ kJ}{1\ jam}$$

$$\text{Power} = 196{,}15\ MW$$

Artinya, daya listrik yang dapat disuplai dari pemanfaatan WHRPG adalah 196,15 MW. Pemanfaatan WHPRG di PT. Semen Padang dapat mengurangi pengeluaran sejumlah Rp. 33 milyar per tahun dan juga mengurangi konsumsi listrik dari PT. PLN. Penghematan ini juga dapat mereduksi emisi CO_2 sejumlah 33.000 ton per tahun.

Jika sistem pembangkit listrik di grup PT. Semen Padang sudah menerapkan WHRPG, maka energi kalor yang sebelumnya terbuang ke udara bebas dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi proses produksi dan laba perusahaan. Dengan demikian, pemerintah Indonesia yang memiliki 51% saham di PT. Semen Padang, akan mendapatkan dividen lebih besar. Pada tahun 2013, Pemerintah Indonesia memperoleh dividen lebih dari Rp. 1,2 triliun.

V. KESIMPULAN

Pemanfaatan WHRPG dapat mensuplai daya listrik sebesar 196,15 MW untuk kebutuhan PT. Semen Padang. Dengan demikian daya listrik dari WHRPG ini dapat digunakan untuk proses lain, terutama proses produksi. Daya listrik yang dihasilkan melalui pemanfaatan WHRPG juga dapat mengurangi konsumsi energi listrik yang harus disuplai PT. PLN (Persero) sehingga sejumlah daya listrik ini dapat disalurkan untuk kebutuhan pelanggan listrik lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH (ACKNOWLEDGEMENT)

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan Politeknik Negeri Padang yang telah membantu untuk menjalin kerjasama dengan PT. Semen Padang sehingga dapat mempermudah dalam pengumpulan data.

REFERENSI

[1] G. Györke, A. Groniewsky, and A. R. Imre, "A Simple Method of Finding New Dry and Isentropic Working Fluids for Organic Rankine Cycle," *MPDI Energies*, vol. 12, no. 480, pp. 1–11, 2019.

[2] W. Xu, S. Deng, Y. Zhang, D. Zhao, and L. Zhao, "How to give a full play to the advantages of zeotropic working fluids in organic Rankine cycle (ORC)," *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 1591–1597, 2019.

[3] H. Yu, D. Kim, and T. Gundersen, "A Study of Working Fluids for Organic Rankine Cycles (ORCs) Operating Across and Below Ambient Temperature to Utilize Liquefied Natural Gas (LNG) Cold Energy," *Energy*, vol. 1, pp. 1–10, 2018.

[4] P. Li, Z. Han, X. Jia, Z. Mei, X. Han, and Z. Wang, "Comparative analysis of an organic Rankine cycle with different turbine efficiency models based on multi-objective optimization," *Energy Convers. Manag.*, vol. 185, pp. 130–142, 2019.

[5] H. Yanga, C. Xua, B. Yanga, X. Yua, Y. Zhangb, and Y. Mu, "Performance analysis of an Organic Rankine Cycle system using evaporative condenser for sewage heat recovery in the petrochemical industry," *Energy Convers. Manag.*, vol. 205, p. 112402, 2020.

[6] Lili Wei, Z. Ma, X. Gong, and X. Guo, "Experimental investigation and performance analysis of an Organic Rankine Cycle for low-temperature heat to electricity generation," *Int. J. Low-Carbon Technol.*, vol. 1, pp. 1–8, 2019.

[7] A. G. Mohammed, M. Mosleh, W. M. El-Maghlany, and N. R. Ammar, "Performance analysis of supercritical ORC utilizing marine diesel engine waste heat recovery," *Alexandria Eng. J.*, vol. 59, pp. 893–904, 2020.

[8] Deepak Tiwari, A. F. Sherwani, M. Muqeem, and A. Goyal, "Parametric optimization of organic Rankine cycle using TOPSIS integrated with entropy weight method," *Energy Sources*, vol. Part A, pp. 1–18, 2019.

[9] X. Guo *et al.*, "Energetic and exergetic analyses of a combined system consisting of a high-temperature polymer electrolyte membrane fuel cell and a thermoelectric generator with Thomson effect," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 44, pp. 16918–16932, 2019.

[10] M. Kalteh and H. A. Garmejani, "Investigating the influence of Thomson effect on the performance of a thermoelectric generator in a waste heat recovery system," *Int. J. Green Energy*, vol. 1, pp. 1–13, 2019.

[11] S. Lan, A. Smith, R. Stobart, and R. Chen, "Feasibility study on a vehicular thermoelectric generator for both waste heat recovery and engine oil warm-up," *Appl. Energy*, vol. 242, pp. 273–284, 2019.

[12] D. Luo, R. Wang, W. Yu, and W. Zhou, "Parametric study of a thermoelectric module used for both power generation and cooling," *Renew. Energy*, vol. 154, pp. 542–552, 2020.

[13] S. P. Burugupallya, L. Weiss, and C. Depcik, "The effect of working fluid properties on the performance of a miniature free piston expander for waste heat harvesting," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 151, pp. 431–438, 2019.

[14] Z. Y. Xu, R. Z. Wang, and C. Yang, "Perspectives for low-temperature waste heat recovery," *Energy*, vol. 176, pp. 1037–1043, 2019.

[15] N. Jaziri, A. Boughamoura, J. Müller, F. Tounsi, B. Mezghani, and A. Kouki, "TCs Connectivities Effect Investigation in the LTCC-based Thermoelectric Generator for Automotive Waste Heat Recovery," in *IEEE International Conference on Design & Test of Integrated Micro & Nano-Systems*, 2019, pp. 1–5.

[16] R. Rodriguez, M. Preindl, J. S. Cotton, and A. Emadi, "Review and Trends of Thermoelectric Generator Heat Recovery in Automotive Applications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 1, pp. 1–14, 2019.

[17] M. Sathiyamoorthy and M. Biglari, "A case study : the waste heat recovery and utilization for power generation in a cement plant (phase-1)," *Adv. Res. IT Eng.*, vol. 5, pp. 1–26, 2016.

[18] H. Gao *et al.*, "Numerical study of heat transfer characteristics of semi-coke and steam in waste heat recovery steam generator for hydrogen production," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 44, pp. 25160–25168, 2019.

Terang : Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat Menerangi Negeri
Vol. 2, No. 1, Desember 2019
DOI: https://doi.org/10.33322/terang.v2i1.488
e-ISSN: 2655-5948
p-ISSN: 2655-5956

Sosialisasi dan Instalasi Panel Surya Sebagai Energi Terbarukan Menuju Kesadaran Lingkungan Indonesia Bebas Emisi

Rr. Mekar Ageng Kinasti[1]; Desi Puti[2]; Endah Lestari[3]; Muhammad Sofyan[4]
Irma Wirantina K[5]; Ranti Hidayawanti[6]; Iriansyah BM. Sangadji[7]

[1, 2, 3, 4, 5, 6]Program Studi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik PLN
[7]Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Teknik PLN
[1]mekar.ageng@sttpln.ac.id

ABSTRAK

Perubahan iklim yang terjadi saat ini sebagai dampak ketidakeimbangan tingkat CO2 di atmosfer sebagai emisi dari penggunaan energi berbahan baku karbon serta prediksi kebutuhan akan energi dimasa depan, serta meningkatnya biaya pemenuhan kebutuhan listrik berbahan fosil terkait dua alasan yang melatarbelakangi Program Kemitraan Masyarakat (PKM) ini dilakukan. PKM ini dilakukan dengan memberikan sosialisasi kepada masyarakat tentang pemanfaatan sel surya sebagai sumber energi alternatif yang sangat dekat dengan kehidupan kita setiap harinya, serta latar belakang perlunya kita mempergunakan energi alternatif tersebut di harapkan mampu membuka wawasan sekaligus memberikan motivasi kepada pihak Mitra untuk melakukan pengembangan pemanfaatannya sebagai bentuk kepedulian kita terhadap masa depan bumi yang akan datang. Dengan sampainya informasi pemutakhiran serta penerapannya kepada masyarakat, hal tersebut dapat memotivasi Mitra untuk mengembangkan pemanfaatan panel surya di SMPN 462 dengan lebih baik sehingga dapat menjadi sekolah yang mandiri dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di sekolah tersebut. Optimalisasi tujuan PKM memerlukan keseriusan serta kepedulian dari berbagai lapisan elemen masyarakat seperti tim pelaksana, institusi tim pelaksana, serta pihak Mitra guna meningkatkan kesejahteraan kehidupan bermasyarakat serta turut menjaga kelestarian lingkungan hidup menuju Indonesia Bebas Emisi.

Kata Kunci: *panel surya, sel surya, energi terbarukan, lingkungan hidup*

ABSTRACT

The current climate change as a result of the imbalance of CO2 levels in the atmosphere as emissions from carbon-based energy use as well as predictions of future energy needs, as well as increasing costs of meeting fossil fuel-related electricity needs are two reasons behind this Community Partnership Program (PKM). This PKM is conducted by giving socialization to the public about the use of solar cells as an alternative energy source that is very close to our lives every day, and the background of our need to use alternative energy is expected to open insights and provide motivation to Partners to develop their use as a form of our concern for the future of the upcoming earth. With the arrival of information on updates and their application to the community, this can motivate Partners to develop better use of solar panels at SMPN 462, so that they can become independent schools in meeting the electricity needs of the school. Optimizing PKM goals requires seriousness and concern from various layers of community elements such as the implementation team, implementing team, and partners to improve community welfare and contribute to environmental preservation towards an Emission-Free Indonesia.

Keywords: *solar panels, solar cells, alternative energy, renewable energy, environment*

Terang : Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat Menerangi Negeri e-ISSN: 2655-5948
Vol. 2, No. 1, Desember 2019 p-ISSN: 2655-5956
DOI: https://doi.org/10.33322/terang.v2i1.488

1. PENDAHULUAN

1.1. Analisis Situasi

Perubahan iklim yang terjadi pada saat ini merupakan salah satu dampak dari ketidakeimbangan emisi di udara. CO2 telah mengalami peningkatan konsentrasi di udara. Selama bertahun-tahun kita telah terus menerus melepaskan karbondioksida ke atmosfir dengan menggunakan bahan bakar yang berasal dari fosil seperti batubara, gas bumi dan minyak bumi. Hal ini telah menyebabkan meningkatnya selimut alami dunia, yang menuju kearah meningkatnya suhu iklim dunia, dan perubahan iklim yang tidak dapat diprediksi juga mematikan Fenomena ini terjadi setelah rentang yang sangat panjang, ditandai dengan perubahan pola cuaca dalam data statistiknya sepanjang periode waktu.

Listrik, tidak dapat dipungkiri telah beralih menjadi kebutuhan primer manusia. Seiring dengan meningkatnya permintaan akan listrik, tarif dasar listrikpun akan mengalami kenaikan. Kenaikan tarif dasar listrik berlanjut di tahun 2014 sampai dengan tahun 2017. Kenaikan tarif dasar listrik ini merupakan langkah yang harus diambil ketika PLN mengalami kerugian, salah satu penyebab kerugian PLN tersebut adalah mahalnya biaya operasional untuk pembelian bahan bakar pembangkit. Hal ini menjadi permasalahan yang sulit yang harus dicari jalan tengahnya agar pasokan energi dapat mengimbangi banyaknya permintaan akan tetapi rendah emisi, sehingga perubahan iklim dapat di tekan.

Penggunaan energi terbarukan merupakan alternative untuk mengurangi permintaan energi ke PLN dan pengoptimalan potensi alam. Dimasa yang akan datang, menusia akan beranjak menuju penggunaan energi alternatif yang lebih bersih dan bebas emisi karbon. Hal ini akan dapat diwujudkan bila terjadi perubahan pola konsumsi energi pada sektor-sektor pengkonsumsi energi besar seperti *built environment*, industri, transportasi, serta *power generation*, dan generasi muda penerus bangsa mengerti dan memahami betul kondisi yang terjadi saat ini sehingga peduli akan kelangsungan kelestarian lingkungannya. Dekarbonisasi suatu Negara akan bergantung pada beberapa faktor, salah satunya geografi negara tersebut. Negara dengan potensi energi baru dan terbarukan yang besar seperti angina, air, dan matahari akan lebih cepat melakukan dekarbonisasi dibandingkan dengan negara yang tidak memiliki sumber daya tersebut.

Sebagai upaya untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut sekaligus penanggulangan kondisi krisis penyediaan tenaga listrik di beberapa daerah, maka dapat memanfaatkan Potensi alam untuk dijadikan energi listrik. Salah satu Potensi alam sebagai sumber energi listrik adalah energi tenaga matahari. Sel surya merupakan teknologi yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik (Hasyim dkk). Matahari merupakan sumber energi utama bagi sebagian besar proses-proses yang terjadi dipermukaan bumi. Radiasi matahari yang diterima permukaan bumi merupakan masukan fundamental untuk banyak aspek terutama merupakan parameter penting dalam aplikasi solar sel sebagi pembangkit listrik. sel matahari merupakan piranti yang dapat meng-konversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi matahari dapat menghasilkan daya hingga 156.486 MW, jumlah yang lebih besar jika dibandingkan dengan sum-ber energi terbarukan yang lainnya. Indonesia merupakan negara yang terletak da-lam jalur khatulistiwa yang sepanjang tahun mendapatkan cahaya matahari yang berlimpah dengan intensitas radiasi mata-hari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m^2 per hari di seluruh wilayah Indonesia (Rusman,2015).

Energi baru dan terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang semakin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Selain itu, di

e-ISSN: 2655-5948
p-ISSN: 2655-5956

Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar (Ima dkk, 2013).

1.2. Tujuan Kegiatan

Tujuan kegiatan PKM Sosialisasi Pemanfaatan Sel Surya Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dan Instalasi Panel Surya ini adalah:

a. Bagi Mitra:
   1) Munculnya Sikap Peduli Lingkungan Menuju Indonesia Bebas Emisi bagi siswa dan seluruh elemen di SMP Negeri 264 Jakarta Barat
   2) Meningkatkan pemahaman pada siswa dan seluruh civitas SMP Negeri 264 Jakarta Barat tentang sumber energi listrik terbarukan yang ramah lingkungan dan efisien.
   3) Jika Mitra melakukan pengembangan dalam skala yang lebih besar maka, dampak ekonomi akan dapat dirasakan dengan lebih karena dapat menekan pembiayaan kebutuhan listrik.

b. Bagi STT PLN:
   Sosialisasi Sosialisasi Pemanfaatan Sel Surya Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dan Instalasi Panel Surya ini dapat meningkatkan citra STT PLN di masyarakat umum sebagai Sekolah Tinggi milik Perusahaan Listrik Negara yang peduli terhadap kelestarian lingkungan dengan meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat melalui serta menjadikan listrik sebagai pendorong kegiatan ekonomi dengan berwawasan lingkungan sehingga mampu menyelaraskan berbagai aspek seperti ekonomi, sosial dan lingkungan serta mencegah krisis energi di masa yang akan datang.

c. Bagi Tim PKM Jurusan Teknik Sipil STT PLN:
   1) Keberhasilan dalam Sosialisasi Pemanfaatan Sel Surya Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dan Instalasi Panel Surya ini dapat memberikan semangat dan motivasi bagi Tim guna mengembangkan Program Kemitraan Masyarakat dalam aspek yang lebih luas.
   2) Tim dapat mengaplikasikan ilmu dan kemampuan yang dimilikinya sebagai bentuk pelayanan kepada masyarakat.

1.3. Rancangan Solusi

Dalam rangka menyelesaikan permasalahan yang muncul pada situasi saat ini, rancangan solusi yang dapat diberikan oleh TIM PKM Jurusan Sipil STT PLN adalah:

a. Memberikan sosialisasi bagi seluruh civitas SMP Negeri 264 Jakarta Barat untuk mengenali permasalahan lingkungan dan solusinya dengan mengembangkan teknologi rendah emisidalam menghadapi perubahan iklim yang terjadi.
b. Memberikan sosialisasi bagi seluruh civitas SMP Negeri 264 Jakarta Barat tentang pemanfaatan sumber daya alam yang keberadaannya melimpah disekitar kita yaitu meng-konversi cahaya matahari menjadi energi listrik.
c. Memberikan sosialisasi bagi seluruh civitas SMP Negeri 264 Jakarta Barat bahwa pengupayaan penggunaan energi terbarukan yang dilakukan saat ini dapat mencegah krisis energi dimasa yang akan datang.
d. Memberikan sosialisasi bagi seluruh civitas SMP Negeri 264 Jakarta Barat tantang manfaat lain penggunaan panel surya dalam bidang ekonomi.

e-ISSN: 2655-5948
p-ISSN: 2655-5956

e. Memberikan arahan pada praktek pemasangan dan pemanfaatan Panel Surya di Lingkungan SMP Negeri 264 Jakarta Barat.

2. METODE PELAKSANAAN

2.1. Pendidikan Masyarakat

Kegiatan ini memilih menggunakan metode Pendidikan Masyarakat, hal ini mengingat di lingkungan ini belum memiliki informasi lebih tentang pemanfaatan Sel Surya melalui Panel Surya. Dengan memberikan Pendidikan Masyarakat khususnya dilingkungan sekolah dan peserta didik, diharapkan informasi ini akan mudah tersebar dan akhirnya membentuk budaya cinta lingkungan.

Sosialisasi Pemanfaatan Sel Surya Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dan Instalasi Panel Surya ini dilakukan dalam dua sesi yang diikuti oleh 20 – 30 peserta. Sesi pertama atau hari pertama kegiatan merupakan sesi teori. Pada sesi ini sosialisasi dilakukan. Materi diberikan kepada seluruh peserta kegiatan. Materi yang diberikan antara lain berupa pengetahuan tentang isu lingkungan global, pengetahuan pemanfaatan energi terbarukan yang berasal dari Sel Surya, sesi pertama diakhiri dengan diskusi juga tanya jawab dengan peserta kegiatan.

Sesi kedua dilakukan pada hari kedua. Pada sesi kedua ini dilakukan praktek pemasangan dan pemanfaatan sel surya yang berasal dari matahari. Instalasi panel surya ini dilakukan oleh seluruh anggota tim dan Mitra.

2.2. Permasalahan Mitra

Mitra masyarakat yang akan bekerjasama dalam melaksanakan Program Kemitraan masyarakat Jurusan Teknik Sipil ini adalah SMP Negeri 264 yang berlokasi di Keluarah Rawa Buaya Jakarta Barat. SMP N 264 merupakan wadah akademik dalam mengelola generasi penerus bangsa secara intelektual yang sangat besar potensinya untuk merubah model penggunaan energi konvensional dan beralih menjadi energi terbarukan dimasa yang akan datang melalui sosialisasi yang akan diberikan.

Target peserta yang akan mengikuti acara ini adalah 20 (dua puluh) orang antara lain:

1. Seluruh civitas akademik SMP Negeri 264 yang berkenan hadir mengikuti acara sosialisasi pemanfaatan sel surya sebagai sumber energi alternatif.
2. Pengurus dan Anggota OSIS SMP N 264

Penggunaan energi listik di ruang lingkup wilayah mitra tentunya sangat diperlukan guna menunjang sarana pendidikan. Pemasangan Panel Surya dan Pemanfaatan Sel Surya Sebagai Sumber Energi Terbarukan di Lokasi Mitra diharapkan dapat membantu Mitra dalam menekan penggunaan energi listrik yang kemudian dapat dikembangkan pemanfaatannya di beberapa bagian yang termasuk ruang lingkup wilayah mitra yang kemudian akan dapat di rasakan manfaatnya dalam skala yang lebih besar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Kegiatan sosialisasi pemanfaatan sel surya sebagai sumber energi terbarukan dan instalasi panel surya dalam rangka menumbuhkan sikap peduli lingkungan menuju indonesia bebas emisi telah dilaksanakan dan berlangsung dengan baik di SMP Negeri 264 Jakarta Barat. Hasil dari kegiatan sosialisasi pemanfaatan sel surya sebagai sumber energi terbarukan dan instalasi panel surya ini di fokusnya pada tujuan awal kegiatan PKM ini, antara lain sebagai berikut:

1. Melalui kegiatan sosialisasi ini kami tim kegiatan PKM telah membantu menyebarluaska dan sekaligus menerapkan hasil- hasil penelitian/ kajian kepada masyarakat sebagai Bagian

e-ISSN: 2655-5948
p-ISSN: 2655-5956

dari upaya untuk memberdayakan danmeningkatkan kualitas hidup masyarakat dengan pemutakhiran teknologi yang ada.

2. Melalui kegiatan PKM ini merupakan bentuk kerjasama dan kemitraan dengan masyarakat sebagai perwujudan dari pengembangan kompetensi sosial di kalangan para dosen.
3. Panel surya telah dimanfaatkan sesuai dengan penggunaannya di SMP N 264 Jakarta Barat, tepatnya pada koridor depan ruang kelas sebanyak 4 titik serta dalam keadaan baik sampai hari ini.
4. Seluruh Civitas SMP N 264 menjadi lebih paham dan mengerti bagaimana sumber energi listrik terbarukan yang ramah lingkungan dan efisien, serta bagaimana mensiasati pemenuhan kebutuhan energi di tengah harga listrik yang terus naik.

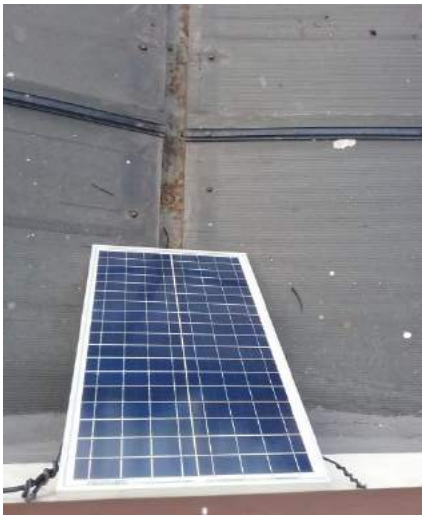
3.2. Pembahasan

Sesuai dengan rencana target luaran, dengan dilaksanakannya kegiatan sosialisasi pemanfaatan sel surya sebagai sumber energi terbarukan dan instalasi panel surya kali ke dua ini diharapkan dapat membantu meningkatkan penerapan IPTEK di kalangan masyarakat umum, dimulai dari kalangan pendidik dan pelajar, khususnya pengurus OSIS, dengan harapan program ini akan dengan mudah tersosialisasikan dan akhirnya sampai pada khalayak umum diluar zona pendidikan.

Acara sosialisasi pemanfaatan sel surya sebagai sumber energi terbarukan dilakukan pada hari Senin, 21 Mei 2018 pada pukul 09.00 WIB sampai dengan selesai, sedangkan pemasangan panel surya telah dilakukan pada hari Jumat, 25 Mei 2018 dimulai dari pukul 09.00 sampai dengan selesai. Acara sosialisasi tersebut dihadiri tim PKM yang terdiri dari dosen Jurusan Teknik Sipil STT PLN Jakarta serta diikuti oleh 29 peserta yang terdiri dari Kepala Sekolah, Bapak/ Ibu guru, siswa-siswi pelajar, khususnya para pengurus OSIS di SMP N 264 Jakarta Barat.

Kegiatan PKM kali ini tentusaja belum mampu menyelesaikan seluruh permasalahan Mitra yaitu pemenuhan kebutuhan listrik yang tinggi selama pelaksanaan kegiatan belajar mengajar berlangsung, akan tetapi setidaknya melalui kegiatan PKM ini, Mitra menjadi lebih terbuka bahwa selain permasalahan finansial dalam pemenuhan kebutuhan listrik, ada permasalahan lain yang tidak kalah pentingnya yaitu kerusakan lingkungan hidup sebagai akibat dari meningkatnya permintaan listrik oleh masyarakat yang bersumber dari bahan bakar fosil. Permasalahan lingkungan yang telah mendunia ini tidaklah menjadi tanggung jawab pemerintah saja, melainkan menjadi tanggung jawab seluruh masyarakat di belahan dunia manapun. Dengan demikian dengan melakukan sosialisai pemanfaatan sel surya serta pemasangan panel surya sebagai sebagai sumber energi alternatif guna pemenuhan kebutuhan listrik, diharapkan menjadi salah satu metode yang efektif dalam rangka mewujudkan Indonesia bebas emisi dan menjaga kelestarian lingkungan hidup.

Terang : Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat Menerangi Negeri
Vol. 2, No. 1, Desember 2019
DOI: https://doi.org/10.33322/terang.v2i1.488
e-ISSN: 2655-5948
p-ISSN: 2655-5956



Gambar 1. Penempatan panel surya di atap kanopi Lantai dua SMP N 264 Jakarta Barat



Gambar 2. Penempatan panel surya di atap kanopi lantai dua SMP N 264 Jakarta Barat (Tampak samping).



Gambar 3. Instalasi pemasangan kabel panel surya di SMPN 264 Jakarta Barat.



Gambar 4. Penempatan box kontrol panel suraya berapa pada ruang Kepala Sekolah SMP N 264 Jakarta Barat.

e-ISSN: 2655-5948
p-ISSN: 2655-5956



Gambar 5. Penayangan video animasi proses global warming sebagai akibat naiknya polutan akibat pemakaian bahan bakar fosil.



Gambar 6. Penyerahan panel surya secara simbolis di terima oleh perwakilan dari SMPN 264 Jakarta Barat.

3.3. Kendala yang Dihadapi

Pelaksanaan program kemitraan ini tidak luput dari kendala-kendala yang muncul di lapangan, beberapa kendala yang kami hadapi antara lain:

1. Kesesuaian waktu pelaksanaan yang sempat berubah beberapa kali, hal tersebut di karenakan tingkat kesibukan dari Tim PKM serta Mitra yang relatif tinggi dan bertepatan dengan bulan Ramadhan dan libur lebaran, serta kegiatan belajar siswa-siswi yang sangat padat.
2. Kendala lain adalah tingginya harga panel surya yang dipergunakan sebagai media pemanfaatan sel surya jika dibandingkan dengan jumlah dana kegiatan. Jadi meskipun pihak Mitra telah mendapatkan hasil serta manfaat dikarenakan berkurangnya pemenuhan kebutuhan akan lsitrik PLN, akan tetapi dirasakan kurang maksimal karena jumlah daya yang di hasilkan tidak begitu banyak.

3.4. Evaluasi Kegiatan

Hasil evaluasi yang didapatkan dari kegiatan Program Kemitraan Masyarakat di SMPN 264 merujuk pada latar belakang kegiatan, kondisi saat kegiatan berlangsung, tujuan kegiatan serta kendala yang muncul selama kegiatan berlangsung adalah:

1. Mitra terlihat sangat antusias menerima informasi tentang pemanfaatan sel surya melalui panel surya, hal tersebut nampak pada respon peserta dalam sesi tanya-jawab dan interaksi yang muncul selama sosialisai berlangsung dimulai dari tahap persiapan, pelaksanaan dan pemasangan panel surya yang berlangsung sampai sore hari masih diikuti oleh sebagian siswa hingga kepala sekolah.
2. Tingginya harga pemasangan awal panel surya yang menjadi kendala dapat terjawab dengan pelaksanaan PKM terhadap satu Mitra dilakukan lebih dari satu kali, sehingga dampak positif yang muncul sebagai akibat dari terpasangnya panel surya di sekolahan tersebut dapat lebih terasa.

e-ISSN: 2655-5948
p-ISSN: 2655-5956

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat di ambil dari seluruh rangkaian acara Program Kemitraan Masyarakat dengan judul sosialisasi Pemanfaatan Sel Surya Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dan Instalasi Panel Surya Dalam Rangka Menumbuhkan Sikap Peduli Lingkungan Menuju Indonesia Bebas Emisi, adalah :

1. Melalui program kegiatan kemitraan yang dilakukan dengan memberikan sosialisasi kepada masyarakat tentang pemanfaatan sel surya sebagai sumber energi alternatif yang sangat dekat dengan kehidupan kita setiap harinya, serta latar belakang perlunya kita mempergunakan energi alternatif tersebut di harapkan mampu membuka wawasan sekaligus memberikan motivasi kepada pihak Mitra untuk melakukan pengembangan pemanfaatannya sebagai bentuk kepedulian kita terhadap masa depan bumi dikemudian hari.
2. Dengan sampainya informasi pemutakhiran serta penerapannya kepada masyarakat, hal tersebut dapat memotivasi Mitra untuk mengembangkan pemanfaatan panel surya di SMPN 462 dengan lebih baik sehingga menjadi sekolah yang mandiri dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di sekolah tersebut.
3. Optimalisasi tujuan PKM memerlukan keseriusan serta kepedulian dari berbagai lapisan elemen masyarakat seperti tim pelaksana, institusi tim pelaksana, serta pihak Mitra guna meningkatkan kesejahteraan kehidupan bermasyarakat serta turut menjaga kelestarian lingkungan hidup menuju Indonesia Bebas Emisi.
4. Berdasarkan evaluasi yang dilakukan terhadap kegiatan ini menunjukkan bahwa kegiatan ini masih dapat dilanjutkan kembali mengingat adanya permintaan dari pihak sekolah lain sebagai mitra selanjutnya. Serta skala sosialisasinya dapat lebih diperluas guna mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

4.2. Saran

Berdasarkan kendala serta uraian kegiatan diatas, saran yang dapat kami berikan antara lain sebagai berikut:

1. Langkah yang dapat ditempuh guna mengatasi tingginya harga instalasi panel surya adalah dengan membangun kerjasama dengan pihak produsen panel surya dalam rangka menyukseskan kegiatan sosialisai pemanfaatan sumber energi alternatif ini, sehingga tim pelaksana PKM bisa mendapatkan harga beli dan instalasi panel surya yang lebih rendah dibandingkan harga yang sebelumnya.
2. Sebaiknya Mitra melakukan pengembangan dalam skala yang lebih besar secara mandiri agar dampak ekonomi dapat dirasakan dengan lebih karena dapat menekan pembiayaan kebutuhan listrik yang selama ini dibebankan.
3. Pemilihan lokasi PKM selanjutnya diharapkan benar-benarmempertimbangkan dari sisi kebutuhan pihak Mitra, yaitu Mitra yang benar-benar membutuhkan bantuan tenaga Listrik atau pada daerah-daerah yang belum sepenuhnya di aliri oleh listrik.

e-ISSN: 2655-5948
p-ISSN: 2655-5956

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Instansi/perusahaan/lembaga yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan kegiatan pengabdian pada masyarakat, khususnya LPPM STT PLN dan SMPN 462 Jakarta Barat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Hasyim Asy'ari., 2014, Pemanfaatan Solar dengan PLN sebagai Sumber Energi Listrik Rumah Tinggal. Jurnal Emitor Volume 14.

[2] Heri, J., 2011, Jurnal Ilmiah, Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Solar Cel Kapasitas 50wp.

[3] Ikhsan., 2013, Jurnal ilmiah Dosen pada Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar, Peningkatan Suhu Modul Dan Daya Keluaran Panel Surya Dengan Menggunakan Reflektor.

[4] Ima Maysha., 2103. Pemanfaatan Tenaga Surya Menggunakan Rancangan panel Surya Berbasis Transistor 2N3055 dan Thermoelectric Cooler.

[5] Rusman.,2015. Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi Solar Cell dengan Kapasitas 50 WP. Jurnal Turbo Vol. 4. No.2. 2015.

DOI: https://doi.org/10.52436/1.jpmi.20

Sosialisasi Pemanfaatan Energi Terbarukan Dan Pelatihan Teknologi Tepat Guna Berbasis Solarcell Untuk Pelajar SMPIT Ibnu Sina Merauke

Muhamad Rusdi*[1], Hariyanto[2], Cipto[3]
[1]Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Musamus, Indonesia
[2,3]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Musamus, Indonesia
*e-mail: rusdi_ft@unmus.ac.id[1], hariyanto_ft@unmus.ac.id[2], cipto@unmus.ac.id[3]

Abstrak

Konservasi energi merupakan langkah pemerintah untuk melestarikan sumber daya energi. Mengingat kebutuhan energi saat ini sebagian besar masih ditopang oleh energi fosil. Energi fosil adalah sumber daya alam seperti gas alam, batu bara dan minyak bumi yang semakin berkurang jumlahnya. Penggunaan energi fosil juga dapat menimbulkan polusi dan kerusakan alam yang signifikan. Energi terbarukan adalah energi ramah lingkungan yang menjadi topik bahasan belakang ini sebagai pengganti energi fosil. Namun, pemanfaatan energi terbarukan masih belum banyak diketahui masyarakat. Kesadaran dan perilaku hemat energi pada masyarakat juga masih kurang. Perlunya sosialisasi dan penyuluhan sejak dini kepada masyarakat sebagai sarana untuk mendukung langkah pemerintah dalam konservasi energi dan pemanfaatan energi terbarukan. Dengan program pengabdian kepada masyarakat dana hibah lembaga LP2M Universitas Musamus, kami sebagai bagian dari Civitas akademik kampus Universitas Musamus melakukan program Pengabdian Kemitraan Masyarakat (PKM) sebagai sarana dalam membantu permasalahan tersebut. Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilakukan di SMPIT Ibnu Sina Merauke sebagai mitra dan langkah awal sosialisasi masyarakat sejak dini. Adapun teknis kegiatan ini dilakukan dengan memberikan sosialisasi dan penyuluhan tentang pentingnya konservasi energi dan pemanfaatan energi terbarukan. Selain itu, kegiatan ini juga meliputi pelatihan Teknologi tepat guna berbasis solar cell guna meningkatkan minat dan softskill peserta. Hasil evaluasi yang dilakukan mencapai 53% dari akurasi evaluasi tingkat pemahaman peserta mengenai perilaku hemat energi dan teknologi tepat guna berbasis energi terbarukan.

***Kata kunci**: Energi Terbarukan, Konservasi Energi, Solar Cell, Teknologi Tepat Guna.*

Abstract

Energy conservation is a government step to conserve energy resources. Current energy needs are still largely supported by fossil energy. Fossil energy refers to natural resources such as natural gas, coal and petroleum, which have fewer errors. The use of fossil energy can also cause significant pollution and natural damage. Renewable energy is environmentally friendly energy which is the topic of discussion as fossil energy. However, the use of renewable energy is still unknown to the public. There is also a lack of awareness and energy-saving behavior in the community. The need for early socialization and outreach to the community as a means to support government steps in energy conservation and utilization of renewable energy. With a community service program with a grant from the Musamus University LP2M institution, we as part of the Musamus University campus academic community carry out the Community Partnership Service (PKM) program as a means of helping these problems. This community service activity was carried out at SMPIT Ibnu Sina Merauke as a partner and the first step in community socialization from an early age. The technical technicalities of this activity are carried out by providing socialization and counseling on the importance of energy conservation and the use of renewable energy. In addition, this activity also includes training on appropriate technology based on solar cells to increase interest and soft skills participants. The results of the evaluation reached 53% of the evaluation of the level of understanding of the participants regarding the behavior of energy and appropriate technology based on energy.

***Keywords**: Appropriate Technology, Energy Conservation, Renewable Energy, Solar Cell.*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi fosil masih menjadi pemasok utama pembangkit listrik ataupun transportasi yang digunakan untuk saat ini dikarenakan meningkatnya aktifitas dan kebutuhan manusia. Namun, energi fosil juga berperan dalam meningkatkan polusi udara dan mengakibat kerusakan alam yang cukup besar. Permasalahan yang ditimbulkan karena penggunaan energi

DOI: https://doi.org/10.52436/1.jpmi.20

fosil mendorong negara-negara berkembang untuk melakukan penelitian mengenai sumber energi yang lebih ramah lingkungan. Pemanfaatan energi terbarukan saat ini berkembang pesat sebagai pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi surya, angin, air dan panas bumi [1]. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang banyak digunakan dan sesuai dengan potensi di Kabupaten Merauke yaitu angin dan surya. Khususnya energi surya, Kabupaten Merauke memiliki 800 – 2000 W/m2 rata-rata radiasi energi matahari yang dihasilkan dengan 10-14 W daya listrik konstan [2]. Pemanfaatan energi surya dapat dilakukan dengan menggunakan solar cell yang berfungsi sebagai piranti yang mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atau sebagai pembangkit energi listrik tenaga surya (PLTS) [3][4][5]. Dimana PLTS banyak diaplikasikan pada skala rumah sebagai pemasok utama energi listrik atau mode terhubung jaringan PLN [3][6]. Pada skala yang lebih kecil Solar Cell juga dapat diterapkan sebagai pengisi daya baterai *Handphone* [7][8][9].

Persoalan diatas menunjukkan bagaimana perlunya kesadaran masyarakat tentang perilaku hemat energi dan meningkatkan wawasan masyarakat mengenai peran penting energi terbarukan dalam penghematan energi dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Peralihan energi bukan hal yang mustahil dilakukan untuk membangun desa ataupun kota mandiri energi. Terlebih lagi didukung dengan adanya kebijakan pemerintah tentang pemanfaatan energi terbarukan. Hal tersebut perlu didorong dengan melakukan sosialisasi dan pelatihan kepada masyarakat[10]. Selain itu, pemerintah melalui Kementerian ESDM telah melakukan sosialisasi mengenai konservasi energi dilingkungan sekolah guna menanamkan paradigma berperilaku hemat energi sejak dini [11].

Pengabdian kemitraan masyarakat dengan mengadakan sosialisasi tentang peran energi terbarukan dalam mewujudkan desa ataupun kota mandiri energi serta memberikan pelatihan atau *workshop* yaitu pemanfaatan energi terbarukan berbasis solar cell sebagai media *charger handphone*. Kegiatan ini dilaksanakan disekolah SMPIT IBNU SINA Merauke dalam upaya atau langkah yang dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan menanamkan kesadaran perilaku hemat energi sejak dini.

2. METODE

Metode pelaksanaan yang digunakan pada pengabdian ini terdiri dari 3 tahapan yaitu : Diskusi dan Observasi, Sosialisasi dan penyuluhan, Pelatihan dan Perancangan produk. Adapun uraian dari tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut :

1) Metode Diskusi dan Observasi : Pengabdian ini diawali dengan proses komunikasi dengan kepala sekolah dari SMPIT Ibnu Sina Merauke untuk memperoleh informasi dan perijinan dari mitra untuk melakukan peninjauan lokasi.
2) Metode Sosialisasi dan penyuluhan : Memberikan sosialisasi kegiatan dengan menjelaskan tahapan-tahapan dari kegiatan yang dilakukan. Memberikan penyuluhan tentang pentingnya perilaku hemat energi dan pemanfaatan energi terbarukan.
3) Metode Praktik dan *Drill* : Setelah penyuluhan, pemberian materi dan demonstrasi diberikan peserta diberikan pelatihan dengan mempraktekkan langsung sesuai dengan materi dan demonstrasi yang diberikan. Hal tersebut dilakukan untuk membantu peserta dalam memahami materi. Kegiatan pelatihan meliputi pengenalan bahan dan peralatan yang digunakan dalam melakukan perancangan produk (Teknologi tepat guna berbasis solar cell).

Tabel 1. Jadwal Pelaksanaan Pengabdian

Jenis Kegiatan	Waktu
Survei dan analisis situasi	28 September 2020
Sosialisasi Pemanfaatan energi terbarukan	14 Oktober 2020
Pelatihan Pemanfaatan energi surya berbasis solar cell	15 Oktober 2020
Evaluasi & Monitoring	19 Oktober 2020

DOI: https://doi.org/10.52436/1.jpmi.20

Adapun kegiatan pengabdian ini dilaksanakan selama 2 bulan yaitu dari bulan September sampai Oktober 2020 bertempat di SMPIT Ibnu Sina Merauke. Tabel 1 menunjukkan jadwal kegiatan pengabdian kepada masyarakat (PKM).

Kegiatan pengabdian dilaksanakan dalam beberapa tahapan pelaksanaan dimulai pada tanggal 28 September 2020 dengan kegiatan yaitu survei dan analisis situsi yang berupa proses komunikasi dengan mitra khususnya kepala sekolah SMPIT Ibnu Sina Merauke guna memperoleh informasi baik itu berupa kebutuhan mitra maupun permasalahan mitra dan perizinan untuk melaksanakan kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Selanjutnya, pelaksanaan kegiatan yang dilakukan yaitu sosialisasi pemanfaatan energi terbarukan pada tanggal 14 Oktober 2020 dan dilanjutkan dengan pelatihan pemanfaatan energi surya berbasis solar cell pada tanggal 15 Oktober 2020. Evaluasi dan monitoring kegiatan pengabdian dilaksanakan pada tanggal 19 Oktober 2020 berupa pemberian kuis atau soal mengenai pemanfaatan energi terbarukan dan konservasi energi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pelaksanaan Kegiatan

Tahapan Pelaksanaan ini dibagi dalam beberapa tahapan yang disusun berdasarkan urutan kegiatan pengabdian yang telah dilakukan. Adapun tahapan pelaksanaan yaitu :

- Sosialisasi Pemanfaatan Energi Terbarukan

Sosialisasi Pemanfaatan Energi Terbarukan dilakukan dengan menggunakan media online (Seminar Online) melalui Google meet seperti yang di tunjukkan pada gambar 2. Hal tersebut untuk sebisa mungkin menghindari kerumunan atau kontak langsung akibat mewabahnya Covid-19 yang melanda Indonesia. Kegiatan ini diikuti oleh Guru dan Murid SMPIT Ibnu Sina Merauke. Materi Sosialisasi menyangkut tentang krisis energi, pengenalan sumber energi terbarukan, pemanfaatan energi terbarukan dan konservasi energi.



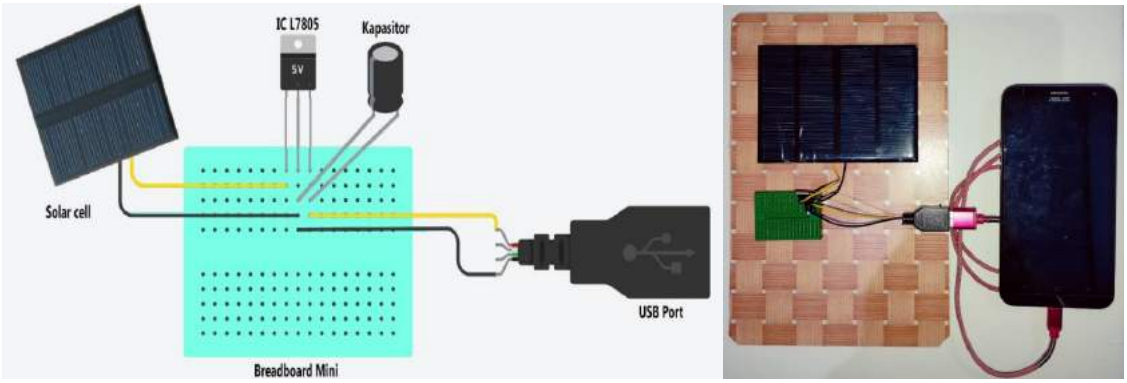
Gambar 2. Kegiatan Sosialisasi Pemanfaatan Energi Terbarukan (Seminar Online).

- Pelatihan Pemanfaatan Energi Terbarukan Berbasis Solar Cell

Modul training solar cell sebagai media *charger handphone* merupakan produk Teknologi Tepat Guna (TTG) yang dapat digunakan sebagai bahan praktek bagi siswa-siswi atau peserta pada program pengadian ini. Diharapkan dengan adanya sosialisasi dan pelatihan ini dapat meningkatkan perilaku hemat energi dan mengenalkan mereka tentang pemanfaatan energi terbarukan khusus energi matahari.

Vol. 1, No. 3 Juni 2021, Hal. 79-84
DOI: https://doi.org/10.52436/1.jpmi.20

Gambar 3 menunjukkan skematik dan prinsip kerja dari modul training solar cell sebagai media *charger handphone* yaitu memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan solar cell. Energi listrik yang dihasilkan solar cell kemudian melalui komponen IC 7805 untuk membatasi tegangan yang keluar sesuai dengan spesifikasi tegangan pada *handphone*.



Gambar 3. Skematik & Instalasi Modul training solar cell sebagai media *charger handphone.*

Pada Pelatihan ini Peserta Dibagi menjadi 5 Kelompok yang terdiri dari 5 orang seperti yang diperlihatkan pada gambar 4. Tentunya Kegiatan Pelatihan ini disesuaikan dengan standar pencegahan covid-19. Dimana peserta diwajibkan untuk menggunakan masker handsanitizer/mencuci tangan sebelum memasuki ruangan. Hasil dari perakitan modul training kemudian diuji coba oleh peserta seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 4. Perakitan Modul training solar cell sebagai media *charger handphone.*

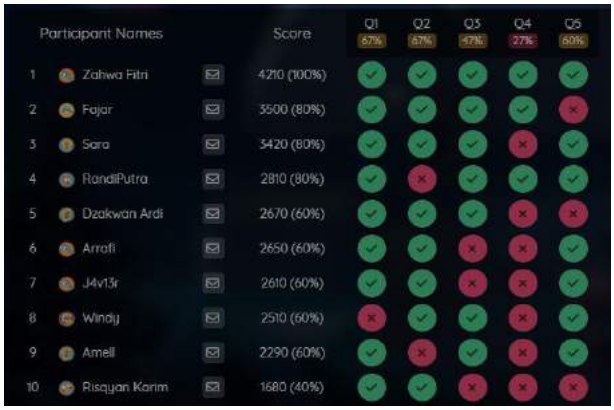


Gambar 5. Pengujian Modul training solar cell sebagai media *charger handphone.*

DOI: https://doi.org/10.52436/1.jpmi.20

b. Monitoring & Evaluasi

Pada Tahapan ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil dari kegiatan pengabdian yang telah dilakukan. Evaluasi tingkat pemahaman peserta mengenai pemanfaatan energi terbarukan dengan melakukan uji/kuis yang dilakukan secara online melalui Quizizz.com. Penilaian di lakukan pada 15 peserta yang mengikuti evaluasi dengan hasil yang di peroleh sebesar 53 % akurasi peserta menjawab soal dengan benar 3 dari 5 soal yang diberikan seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Daftar 10 Besar Peserta yang mengikuti Kuis.

4. KESIMPULAN

Simpulan Sosialisasi dan pelatihan pemanfaatan energy terbarukan di SMPIT Ibnu Sina Merauke telah terlaksana. Peserta Sosialisasi dan pelatihan memahami dan mampu dalam menerapkan pemanfaatan energy terbarukan. Selain itu, menambah kesadaran peserta dalam berperilaku hemat energi dengan hasil 53% dari akurasi evaluasi pemahaman peserta. Adanya Teknologi Tepat Guna berbasis solar cell sebagai luaran yang dapat menjadi bahan pembelajaran mengenai pemanfaatan energy terbarukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah berkontribusi dalam terlaksananya program pengabdian kepada masyarakat ini. Khususnya kepada pihak dari SMPIT IBNU SINA Merauke sebagai mitra pengabdian dan Universitas Musamus Merauke melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) dalam hal pendanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] IESR, “Energi kita,” *Institute for Essential Services Reform (IESR)*, no. November, 2019.

[2] D. Hardiantono and F. H. Sumbung, “Rancang Bangun Unit Pembangkitan Dan Modul Pengukurannya Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Angin Dan Matahari),” *Mustek Anim Ha*, vol. 5, no. 3, pp. 231–245, 2016, doi: 10.35724/mustek.v5i3.629.

[3] M. Rusdi, F. A. Samman, and R. S. Sadjad, “FPGA-based electronic pulse generator for single-phase DC/AC inverter,” in *2019 International Conference on Information and Communications Technology, ICOIACT 2019*, pp. 756–760, 2019, doi: 10.1109/ICOIACT46704.2019.8938571.

[4] W. H. Piarah, Z. Djafar, Hariyanto, and Mustofa, “A new simulation of photovoltaic and

DOI: https://doi.org/10.52436/1.jpmi.20

thermoelectric generator hybrid system with a beam splitter cold and hot mirror for low intensity," *Int. Rev. Mech. Eng.*, vol. 13, no. 9, pp. 559–567, 2019, doi: 10.15866/ireme.v13i9.17884.

[5] M. Rusdi, F. A. Samman, R. S. Sadjad, A. E. Umraeni Salam, and C. Machbub, "Standalone Single Phase DC-AC Inverter with FPGA-based Pulse Modulated Generator Unit," in *2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, pp. 7–12, Jul. 2020, doi: 10.1109/ISITIA49792.2020.9163770.

[6] Z. Fuadi, M. Ashari, F. A. P, and A. Photovoltaic, "Perancangan dan Simulasi Full Bridge Inverter Lima Tingkat dengan Dual Buck Converter Terhubung Jaringan Satu Fasa," *J. Tek. Pomits*, vol. 3, no. 1, pp. 2337-3539 (2301-9271), 2014.

[7] W. Rotib, "Aplikasi Sel Surya Sebagai Energi Alternatif," *Inst. Sci. Technol. Stud.*, vol. 4 no.1, pp. 1–8, 2001.

[8] G. R. F. S. Sugeng Haryadi, "Rancang Bangun Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Charger Handphone Di Tempat Umum," *Tek. mesin UNISKA*, vol. 02, no. 02, pp. 114–120, 2016.

[9] S. Hidayat, "Pengisi Baterai Portable Dengan Menggunakan Sel Surya," *J. Energi Kelistrikan*, vol. 7, no. 2, pp. 137–143, 2015.

[10] H. Prasetijo, A. Fadli, P. B. Santoso, and W. H. Purnomo, "Workshop Penggunaan Microsoft Office Sebagai Penunjang Keterampilan Hard Skill Siswa Pendidikan Dasar," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Indonesia (JPMI)*, vol. 1, no. 1, pp. 7–15, 2021.

[11] I. D. Kosambi, R. A. Diantari, T. Darmana, and S. Hidayat, "Sosialisasi Energi Baru Terbarukan Untuk Pelajar SMP Annida Al," *Terang*, vol. 1, no. 2, pp. 105–112, 2019.

STUDI POTENSI ENERGI TERBARUKAN DI KAWASAN TIMUR INDONESIA BERBASIS ANALISIS RETScreen INTERNATIONAL

THE STUDY OF RENEWABLE ENERGY POTENTIAL IN EASTERN OF INDONESIA BASED ON RETScreen INTERNATIONAL ANALYSIS

Imran Amin[1], Nadjamuddin Harun[2], Ansar Suyuti[3]

[1]Teknik Energi Elektrik, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin (aminimran7170@yahoo.com)
[2]Teknik Energi Elektrik, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin,
(Email:n_harun@unhas.ac.id)
[3]Teknik Energi Elektrik, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
(Email:suyuti128@cloud.com)

Alamat Korespondensi :
Imran Amin
Program Studi Teknik Elektro
Konsentrasi Teknik Energi Elektrik
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin Makassar
Hp. 085255088388
Email:aminimran7170@yahoo.com

Abstrak - IMRAN AMIN. *Studi Potensi Energi Terbarukan Di Kawasan Timur Indonesia Berbasis Analisis RETScreen International* (dibimbing oleh Nadjamuddin Harun dan Ansar Suyuti). Potensi energi matahari (kWh/m2/d) 5,43 (Maluku), 4,97 (Papua) dan 5,66 (Sulawesi Barat) dan Potensi energi angin rata-rata 6,9 m/s perlu dikembangkan untuk meningkatkan rasio elektrifikasi. Penelitian ini bertujuan mendapatkan kelayakan pembangkit berdasarkan model energi, lingkungan dan ekonomi menggunakan software *RETScreen International* dan evaluasi kebijakan ketenagalistrikan. Simulasi PLTS 100 kWdengan modul Samsung LPC235SM dan PLTB 50.000 kWdengan50 unit turbin angin AAER 1000S 70, diperoleh energi PLTS (MWh) 126 (Maluku), 117,5 (Papua) dan 126,5 (Sulawesi Barat)dan energi PLTB (MWh) 92.650126 (Maluku), 91.269 (Papua) dan 91.937 (Sulawesi Barat). Pengurangan emisi GRK PLTS dan PLTB (t CO_2/tahun) 92,2 dan 17.816 (Maluku), 85,9 dan 17.551 (Papua) dan 91,8 dan 17.679 (Sulawesi Barat). Hasil analisa finansial PLTS diperoleh IRR dan NPV 27,8% dan $269.489 (Maluku), 24,9% dan $230.709 (Papua) dan 27,6% dan $267.080 (Sulawesi Barat) sedangkan hasil analisa finansial PLTB diperoleh IRR dan NPV 13,1% dan $ 2.294.471(Maluku) 12,5% dan $ 1.021.172 (Papua) dan 12,8% dan $1.637.070 (Sulawesi Barat). Kebijakan tarif dan subsidi untuk PLTS $30 sen/kWh ($300 per MWh) dan untuk PLTB Rp. 1250 per kWh ($100 per MWh) sudah memberikan hasil sebanding dengan biaya investasi dan operasional. Sehingga dapat disimpulkan bahwa PLTS dan PLTB pada provinsi Maluku, Papua dan Sulawesi Barat layak dan menguntungkan.

Kata kunci : PLTS, PLTB, Kebijakan Tariff, RETScreen International, emisi GRK, IRR, NPV

Abstarct - IMRAN AMIN. *The Study of Renewable Energy Potential in Eastern of Indonesia Based on RETScreen International Analysis (supervised by Nadjamuddin Harun and Ansar Suyuti). The potency of solar energy (kWh/m^2/d) 5,43(Maluku), 4,97(Papua) and 5,66(West Sulawesi) and wind energy potential average 6,9 m/s should be developed to increase the electrification ratio, This study aims to get feasibility of plant based on energy models, environmental and economic use RETScreen International software and evaluation of electricity policy. 100kW Solar Power Plant(SPP)simulationwith Samsung LPC235SM and WPP50,000 kW with 50 unit wind turbines AAER1000S70, gained SPPenergy (MWh) 126 (Maluku), 117,5 (Papua) and 126,5 (South West) and Wind Power Plant (WPP)energy (MWh) 92.650(Maluku), 91.269(Papua) and 91.937(West Sulawesi). SPPand WPPGHG emissions reduction (tCO2/year) are about 92,2 and 17.816 (Maluku), 85,9 and 17.551 (Papua) and 91,8 and 17.679 (West Sulawesi). SPP financial analysis results obtained IRR and NPV of 27,8% and $269,489 (Maluku), 24,9%, and $230.709(Papua) and 27,6% and $ 267.080(West Sulawesi), while the results of the financial analysis WPP obtained IRR and NPV 13,1% and $2.294.471(Maluku) 12,5% and $1.021.172 (Papua) and 12,8% and $1.637.070(West Sulawesi). Feed-in Tariff policy and subsidies for SPP is $30 cents/kWh ($300/MWh) and Rp.1.250/kWh ($100/MWh) for WPPalready give good results when compared to the investment and operational costs. It concluded that SPP and WPP in this location are feasible and profitable.*

Keywords: *Solar Power Plant (SPP), Wind Power Plant (WPP), Feed-in Tariff, RETScreen International, GHG Emissions, IRR, NPV*

PENDAHULUAN

Indonesia dengan letaknya di sepanjang equator dengan bentuk wilayah kepulauan dan memiliki garis pantai yang panjang memiliki potensi energi matahari (kWh/m2/d) 5,43 (Maluku), 4,97 (Papua) dan 5,66 (Sulawesi Barat) dan Potensi energi angin (pada ketinggian 20 m) rata-rata 6,9 m/s yang sangat layak untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga surya dan pengambangan pembangkit listrik tenaga angin. Khususnya di kawasan timur Indonesia yang masih rendah rasio elektrifikasinya disebabkan oleh kondisi geografis dimana ketersediaan pembangkit jauh dari pusat beban, banyaknya pelanggan yang tersebar di pada daerah terpencil, terjauh pada pulau-pulau kecil dan terluar seperti di perbatasan sehingga pemanfaatan potensi energi matahari ataupun energi angin menjadi pertimbangan utama untuk meningkatkan rasio elektrifikasi di kawasan Indonesia Timur (Manjang, S. dan I. Kitta ,2011).

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dimanfaatkan melalui dua macam teknologi yaitu teknologi fotovoltaik (PV) dan teknologi fototermik (surya termal). Teknologi PV mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik melalui perangkat semikonduktor yang disebut sel surya, sedangkan teknologi surya termal memanfaatkan panas dari radiasi matahari dengan menggunakan alat pengumpul panas atau yang biasa disebut kolektor surya. Teknologi PV dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) berupa sistem terpusat (*centralized*), sistem tersebar (*stand alone*) dan system hibrida (*hybrid system*). *Centralized PV* sistem adalah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang mensuplai listrik secara terpusat untuk berbagai lokasi/ beban yang bersifat *on grid* maupun *off grid* sedangkan sistem stand

alone hanya mensuplai listrik khusus untuk kebutuhan beban yang tersebar di masing-masing lokasi dan bersifat *off grid.* Pada sistem hybrid, PLTS digunakan bersama-sama dengan sistem pembangkit lainnya dalam mensuplai listrik. Komponen sistem umumnya terdiri dari rangkaian sel surya yang membentuk modul surya (*PV Panel*) dan beberapa komponen pendukung seperti baterai, inverter, sistem kontrol dan lain-lain yang disebut juga sebagai *balance of system / BOS*. Aplikasi teknologi PV antara lain:PLTS pedesaan / perkotaan (*on grid / offgrid*), *Solar Home System* (SHS), *solarstreet lighting*, *solar pumping*, *BST solar*,*solar refrigerator*(Nafeh E.-S. A.,2009;Ahammed, F. and A. Azeem, 2009;Patricia H. J., 2012; Boedoyo, M. S., 2013).

Energi angin adalah sumber energi terbarukan yang dapat diubah menjadi energi mekanis dan listrik melalui sistem konversi dengan merubah energi kinetik yang ditampilkan dalam gerakan angin menjadi energi mekanis untuk mengoperasikan perlengkapan mekanis seperti pompa, kincir, dan lain-lain.Energi mekanis kemudian digunakan untuk memutar rotor dalam generator untuk menghasilkan listrik. Konversi keenergi mekanis disebut sistem konversi energi angin mekanis atau kincir angin, dan konversi ke listrik dilakukan dalam sebuah sistem konversi energi angin elektrik,yang lebih dikenal sebagai turbin angina (Tim Contaned Energi Indonesia, 2010 dan Sitompul, R.,2011). Penggunaan energi angin di lokasi yang dipilih membutuhkan data/informasi potensi (pasokan) angin aktual dan permintaan energi pada lokasi itu.Nasa Surface Meteorology And Solar Energy menyediakan data iklim yang dapat diakses melalui software *RETScreen International* untuk studi kelayakan dan evaluasi sistem.

RETScreen International adalah sebuah software yang digunakan untuk memfasilitasi studi pra-kelayakan dan studi kelayakan proyek-proyek energi bersih. Dengan menerapkan lima langkah analisa proyek sesuai standar internasional, *RETScreen International* dapat membantu para *stakeholders* (terutama calon investor) untuk membuat keputusan-keputusan penting menjelang implementasi proyek. *RETScreen* yang didesain oleh *RETSCreen International Canada*, menyediakan fasilitas studi kelayakan untuk berbagai teknologi energi bersih, yaitu: energi angin, energi air skala kecil, energi surya, cogeneration (gabungan listrik dan panas), energi biomassa, pemanas udara tenaga surya, pemanas air tenaga surya, sistem pengendalian temperatur gedung pasif, dan pemompa panas dari sumber bawah tanah (panas bumi). Output yang dihasilkan *RETScreen International* meliputi kapasitas energi, estimasi pengurangan emisi gas rumah kaca,analisa finansial, analisa sensitifitas dan analisa resiko (Suyuti, A. dan Syafaruddin, 2012;Kaltschmitt, M., et al., 2007 dan Nainggolan, H. P.,2006)

Penelitian tentang Energi terbarukan antara lain oleh Muhammad Amin (2009) meneliti tentang pengembangan energi matahari

dan energi angin dengan sistem hybrid denganmembuat design kriteria pada pembuatan prototype pembangkit listrik tenaga angin dan matahari sistem hybrid dengan method SURFER. Sedangkan Irwan Raharjo dan Ira Fitriana (2009) meneliti potensi PLTS dengan metode MARKAL untuk menganalisis optimasi alternatif pembangkit listrik dengan mempertimbangkan biaya terendah untuk pemilihan sumber energi dan teknologi pembangkit listrik dan dampak penggunaan energi terhadap lingkungan.sedangkan Eka Irawan (2010) menganalisis Energi Indonesia Dengan menggunakan Aplikasi LEAP dengan menganalisis energi Indonesia dari tahun 2010 sampai dengan 2030, konsumsi energi di hitung dari empat sektor yaitu ; rumah tangga, industri, jasa, dan transportasi. Penelitian lain dilakukan oleh Dewi Purnama Sari, Refdinal Nazir (2012) untuk menilai optimasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator - Photovoltaic Array Menggunakan Homer, dan Firdaus Riyanda (2009) meneliti Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan PLTP 30 MW Untuk memenuhi Kebutuhan Listrik Di Pulau Sumbawa Nusa Tenggara Barat. Sedangkan Salama Manjang, Ikhlas Kitta (2011) mengevaluasi dan memetakan optimalisasi pemanfaatan potensi sumber energi terbarukan untuk pengembangan pembangkit tenaga listrik pada daerah yang terisolir dari listrik dengan metode LEAP (*Longrange Energy Alternatives Planning*), kemudian menganalisis optimalisasi dan ekonomis teknologi dengan konsep pembiayaan melalui investasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kelayakan pembangkit berdasarkan model energi, lingkungan dan ekonomi dengan menggunakan software *RETScreen International*. Dan evaluasi kebijakan regulasi ketenagalistrikan di Indonesia (Road Map Energi Indonesia,2013; ESDM,2016).

BAHAN DAN METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kampus Universitas Hasanuddin Makassar, jalan Perintis Kemerdekaan KM 10, waktu pelaksanaan penelitian dan penulisan berlangsung bulan April 2016 sampai dengan Juli 2016

Sumber data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu data iklim yang diperoleh dari *RETScreen International*. Data ini mengacu kepada hasil pengukuran satelit NASA di Amerika Serikat. Software ini sendiri dapat menampilkan data iklim pertahun pada beberapa tempat di seluruh dunia. Data iklim yang dimaksud adalah temperatur udara, kelembaban relatif, intensitas solar radiasi perhari, tekanan udara, kecepatan angin, temperature bumi dan sebagainya, dan data harga product dan data manufaktur energi *photovoltaic*dan manufaktur

energi angin dari program *RETScreen International*.

Sumber data lainnya adalah ketentuan tarif (Feed-in Tariff) untuk PLTS dan PLTB, data perencanaan ketenagalistrikan yang berasal data dokumen RUPTL 2016 – 2025 (ESDM, 2016) berupa perencanaan kebutuhan listrik dan perencanaan pembangunan PLTS dan PLTB pada Provinsi Sulawesi Barat, Provinsi Maluku dan Provinsi Papua.

Rancangan penelitian

Penelitian dimulai dengan metode dokumentasi. Metode ini digunakan untuk memperoleh data-data yang spesifik dan akurat tentang intensitas cahaya, angin, suhu udara, kelembaban relatif, lokasi data iklim dan proyek yang bersumber dari software RETScreen International. Metode dokumentasi juga digunakan untuk mengumpulkan data-data pendukung berupa ketentuan tarif listrik, kebijakan subsidi, dan perencanaan kebutuhan listrik serta perencanaan pembangunan pembangkit listrik pada lokasi yang diteliti. Selanjutnya melakukan simulasi / menghitung berdasarkan data manufaktur energi terbarukan dengan software*RET Screen International*. Setelah selesai, langkah selanjutnya menganalisis output dari perhitungan RETScreen International ini berupa besar energi yang diekspor kejaringan, total pendapatan pertahun, dan menganalisis kelayakan finansial dari masing-masing model energi terbarukan.

Tahapan analisis selanjutnya dilakukan untuk pengambilan keputusan jenis energi yang potensial untuk dikembangkan yaitu dengan melakukan evaluasi kelayakan berdasarkan aspek teknologi berupa pertimbangan model energi yang layak dan menguntungkan, aspek lingkungan berupa penilaian tingkat pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) dan aspek ekonomi dengan menilai persentase IRR dan NPV dari perhitungan RETScreen International.Tahapan selanjutnya dilakukan analisis regulasi ketenagalistrikan yaitu dengan membuat perhitungan berdasarkan perencanaan kelistrikan dalam RUPTL 2016 – 2025 danmembuat skenario penambahan pembangkit PLTS dan PLTB serta menghitung pengurangan emisi GHG yang dihasilkan juga kontribusinya terhadap perencanaan pembangkit 2016 – 2025 menggunakan analisis regresi berganda.

Model Analisis data

Metode yang digunakan dalam analisis data dalam penelitian ini adalah analisis model energi, analisis keuangan, analisis emisi GHG, dan analisis kelayakan dengan software *RETScreen International* dan analisis statistik dengan software SPSS (Tsoutsos, T., et al.,2009; Wang, J.-J., et al.,2009; Suyuti, A. dan Syafaruddin, 2012).

HASIL PENELITIAN

Simulasi dengan model *RETScreen International* untuk PLTSmenggunakan 426 unit modul Mono-Si –LPC235SM faktor kapasitas 15%, dimensi 1,6 x 0,9 m^2 dan intensitas radiasi 800 W/m^2 - 1000 W/m^2 atau 4 kWh/m2/d - 5 kWh/m2/d untukkapasitas daya 100 kW pada lokasi Provinsi Maluku, Papua dan Sulawesi Barat menghasilkan energi yang diekspor ke jaringan PLN sebesar 126,0 MWh (di Maluku), 117,5 MWh (di Papua) dan 126,5 MWh (di Sulawesi Barat) yang dihasilkan berdasarkan karakteristik manufaktur dan karakteristik iklim yaitu intensitas radiasi matahari pertahun sebesar 5,43 kWh/m2/d (di Maluku), 4,97 kWh/m2/d (di Papua) dan 5,66kWh/m2/d (di Sulawesi Barat) serta diperoleh pengurangan emisi GHG (tCO2/tahun) 92,2 (di Maluku) dan 85,9 (di Papua) dan 91,8 (di Sulawesi Barat) dengan biaya modul $3000/ kW. (Tabel 1)

Simulasi dengan model RETScreen International untuk PLTBmenggunakan 50 unit turbin angin AAER 1000 dengan ketinggian tower 70 meter sehingga diperoleh kecepatan angin rata-rata 6,9 m/s maka diperoleh energi listrik (MWh) 92.650 (di Maluku), 91.269 (di Papua) dan 91.937 (di Sulawesi Barat) dan pengurangan emisi GHG (tCO2/tahun) 17.816 (di Maluku) dan 17.561 (di Papua) dan 17.679 (di Sulawesi Barat) dengan total biaya $1.800 per kW, dimana $ 700 per kW disubsidi oleh pemerintah dan $1.100 per kW ditanggung investor. (tabel 2)

Hasil simulasi analisa finansial pada proyek pembangkit listrik PLTS di kota Ambon, listrik yang diekspor ke jaringan 126 MWh, harga ekspor listrik $/MWh 420, pendapatan tahunan $ 52.922, biaya tahunan $33.108, dan IRR 27,8% sedangkan NPV $ 269.489 untuk tingkat bunga 7%. Hasil simulasi analisa finansial pada proyek pembangkit listrik PLTS di kota Jayapura, listrik yang diekspor ke jaringan 117 MWh, harga ekspor listrik $/MWh 420, pendapatan tahunan $ 49,338, biaya tahunan $33.108, dan IRR 24,9%. sedangkan NPV $ 230.709 untuk tingkat bunga 7%.Hasil simulasi analisa finansial pada proyek pembangkit listrik PLTS di kota Majene, listrik yang diekspor ke jaringan 125 MWh, harga ekspor listrik $/MWh 420, pendapatan tahunan $ 52.700, biaya tahunan $33.108, dan IRR 27,6%. sedangkan NPV $ 267.080 untuk tingkat bunga 7%.(Tabel 3)

Hasil simulasi analisa finansial pada proyek pembangkit listrik PLTB di kota Ambon, listrik yang diekspor ke jaringan 92.650 MWh, harga ekspor listrik $ /100MWh, pendapatan tahunan $ 52.700, biaya tahunan $8.244.523, dan IRR 13,1%. sedangkan NPV $ 2.294.471 untuk tingkat bunga 7%.Hasil simulasi analisa finansial pada proyek pembangkit listrik di kota Jayapura, listrik yang diekspor ke jaringan 91.269 MWh, harga ekspor listrik $ /100MWh, pendapatan tahunan $ 9.126.870, biaya tahunan $8.244.523, dan IRR 12,5%. sedangkan NPV $ 1.021.172 untuk tingkat bunga 7%.Hasil simulasi analisa finansial pada proyek

pembangkit listrik di kota Majene, listrik yang diekspor ke jaringan 91.937 MWh, harga ekspor listrik $ /100MWh, pendapatan tahunan $ 9.193.702, biaya tahunan $8.244.523, dan IRR 12,8%. sedangkan NPV $ 1.637.070 untuk tingkat bunga 7%. (tabel 4)

Kelayakan pembangkit PLTS dan PLTB berkaitan dengan sejumlah aspek dengan beberapa kriteria yang dapat dikategorikan sebagai kriteria pendukung dan kriteria yang perlu dioptimalkan yaitu : 1. kriteria pendukung (cukup intensitas radiasi matahari, cukup kecepatan angin, hemat bahan bakar, mudah diinstalasikan, mudah dipasang pada daerah terpencil, ramah lingkungan, membuka peluang dan lapangan kerja, kebijakan tarif, insentif dan subsidi). 2. Kriteria yang perlu dioptimalkan (pengembangan industri dalam negeri untuk suku cadang, SDM terampil untuk operator dan maintenance dan dukungan riset dan pengembangan)

Kebutuhan listrik tahun 2016 provinsi Maluku 121 MWh dengan total kapasitas pembangkit 151,4 MWh dan kebutuhan listrik di hingga tahun 2025 mencapai 285 MW dengan total kapasitas pembangkit direncanakan mencapai 686,8 MW terdiri dari 151,4 PLTD , 295 PLTMG, 20 PLTP, 38,4 PLTM, 130 PLTU, 16 PLTA, 6 PLTBM, 10 PLTS dan 20 PLTB. sedangkan kebutuhan listrik tahun 2016 provinsi Papua 140 MWh dengan total kapasitas pembangkit 264,8 MWh dan kebutuhan listrik hingga tahun 2025 mencapai 308 MW dengan total kapasitas pembangkit direncanakan mencapai 683 terdiri dari 225,6 PLTD, 7,3 PLTD/PLTM, 13,9 PLTD/PLTS, 220 PLTMG, 130 PLTU, 16 PLTA, 6 PLTBM, 10 PLTS dan 20 PLTB. Dan kebutuhan listrik di provinsi Sulawesi Barat tahun 2016 mencapai 61 MWh dengan total kapasitas pembangkit 8,41 MWh dan kebutuhan listrik mencapai 134 MW pada tahun 2025 dengan total kapasitas pembangkit direncanakan mencapai 609,41 terdiri dari 50 PLTU, 5 PLTBM, 546 PLTA, dan 8,41 PLTD.(tabel 5)

PEMBAHASAN

Dalam simulasi dengan data sebagaimana pada tabel 1 di atas digunakan produk manufaktur samsung Mono-Si – LPC235SM dengan kapasitas daya perunit 235 Watt sehingga untuk mendapatkan kapasitas PLTS 100 kW diperlukan 426 unit modul Mono-Si –LPC235SM. Dengan luas modul 1,6 x 0,9 m^2 perunit maka 426 unit modul memerlukan luas area minimal 625 m^2 (25m x 25 m), dalam simulasi ini luas area yang digunakan seluas 855 m^2. Modul ini beroperasi pada intensitas radiasi matahari 800 W/m^2 - 1000 W/m^2 atau 4 $kWh/m^2/d$ - 5 kWh/m2/d. Dengan intensitas radiasi ($kWh/m^2/d$) 5,43 (Maluku), 4,97 (Papua) dan 5,66 (Sulawesi Barat) maka modul ini dapat bekerja maksimal pada lokasi ini. Tinggi rendahnya tingkat intensitas radiasi yang diterima pada modul akan mempengaruhi besarnya energi listrik yang

dihasilkannya sehingga terdapat variasi besar energi pada ketiga lokasi yang disimulasikan. Variasi besar energi yang dihasilkan oleh PLTS mempengaruhi tingkat pengurangan emisi GHG yang disebabkan oleh PLTS, semakin besar energi listrik yang dihasilkan semakin tinggi tingkat pengurangan emisi GHG dalam simulasi ini.

Dalam simulasi dengan data sebagaimana pada tabel 2 di atas digunakan produk 50 unit turbin angin AAER 1000 dengan ketinggian tower 70 meter dengan kapasitas daya perunit 1000 Watt sehingga untuk mendapatkan kapasitas PLTS 50.000 kW diperlukan 50 unit turbin angin. turbin ini beroperasi pada kecepatan angin minimal 4 m/s, pada ketinggian 20 meter maka kecepatan angin rata-rata mencapai 6,9 m/s. Selain oleh karakteristik turbin angin, perubahan kecepatan angin akan mempengaruhi besar energi listrik yang dihasilkannya sehingga penempatan turbin pada lokasi dengan kecepatan angin yang sesuai adalah sangat penting untuk menjaga pasokan listrik yang dihasilkan tetap stabil.

Tabel 3 menunjukkan hasil analisis finansial pada simulasi PLTS pada lokasi yang dikaji. Besarnya harga ekspor listrik yang ditetapkan berkaitan dengan besarnya biaya investasi dan biaya operasional yang dikeluarkan oleh investor. Rendahnya harga ekspor listrik yang dikenakan oleh PLN yang tidak sebanding dengan biaya investasi dan operasional akan menyebabkan rendahnya minat investor untuk berinvestasi dalam pengembangan pembangkit PLTS walaupun potensi energi matahari sangat besar dan kemudahan instalasi dan mobilitas sistem ini sangat layak. Tingginya biaya investasi disebabkan karena konponen bahan baku yang masih didominasi oleh bahan impor. Diharapkan adanya pengembangan industri dalam negeri yang dapat mengatasi masalah ini. Pemerintah Indonesia sudah menetapkan kebijakan tarif (feed in tariff) untuk energi terbarukan yang memperhitungkan tarif transfer listrik ke PLN yang sebanding dengan biaya investasi untuk PLTS ini. Untuk saat ini tarif transfer listrik (feed in tariff) ini adalah $ 25 sen sampai $ 30 sen per kWh. Harga tertinggi $ 30 sen per kWh diberikan apabila investor menggunakan 40% komponen dalam negeri dalam pengembangan PLTS. Dalam perhitungan simulasi ini digunakan harga $ 420 per MWh untuk penjualan listrik ke PLN. Dalam simulasi ini diperoleh persentase IRR adalah lebih dari tingkat bunga 7 % yang ditetapkan yaitu 27,8 % (Maluku), 24,9% (Papua) dan 27,6 (Sulawesi Barat) dan dengan perhitungan NPV pada tingkat bunga 7% diperoleh nilai NPV $ 269.489 (Maluku), $ 230.709 (Papua) $ 267.080 (Sulawesi Barat) sehingga proyek PLTS dalam simulasi ini layak yang menguntungkan.

Tabel 4 menunjukkan hasil analisis finansial pada simulasi PLTB pada lokasi yang diteliti. Harga ekspor listrik dalam simulasi ini ditetapkan $ 100/MWh. Untuk harga ekspor listrik dari pembangkit PLTB di Indonesia pemerintah belum menetapkan tarif resmi yang

sesuai, saat ini sedang diusulkan harga Rp. 1.250 per kW harga ini sebanding dengan harga $ 100 per MWh pada kurs Rp. 12.500 per $ 1. Jika harga ekspor listrik yang dikenakan oleh PLN yang tidak sebanding dengan biaya investasi dan operasional akan menyebabkan rendahnya minat investor untuk berinvestasi dalam pengembangan pembangkit PLTB. Tingginya biaya investasi disebabkan karena konponen bahan baku yang masih didominasi oleh bahan impor. Dalam simulasi ini diperoleh persentase IRR adalah lebih tinggi dari tingkat bunga 7 % yang ditetapkan yaitu 13,1 % (Maluku), 12,5 % (Papua) dan 12,8 (Sulawesi Barat) dan dengan perhitungan NPV pada tingkat bunga 7% diperoleh nilai NPV $ 2.294.471 (Maluku), $ 1.021.172 (Papua) $ 1.637.070 (Sulawesi Barat) sehingga proyek PLTB dalam simulasi ini layak yang menguntungkan.

Berdasarkan tabel 5 kebutuhan listrik tahun 2016 diprediksi meningkat 100% hingga tahun 2025. Berdasarkan prediksi ini maka perencanaan pembangunan pembangkit listrik dilakukan untuk mengantisipasi peningkatan ini. Perencanaan pembangkit listrik yang dilakukan pemerintah mencapai 686,8 MWh (Maluku), 683 MWh (Papua), dan 609,41 MWh (Sulawesi Barat) sudah mampu memenuhi kebutuhan listrik pada ketiga lokasi ini. Namun demikian belum semua area dapat tersentuh sarana kelistrikan yang bersumber dari PLN disebabkan kondisi lokasi pembangkit yang jauh dari pusat beban sehingga target rasio elektrifikasi dapat tidak terpenuhi jika tidak ditemukan solusi untuk mengantisipasi lokasi yang sulit dijangkau ini. Keungulan PLTS dan PLTB yang dapat ditempatkan secara tersendiri (stand alone) maupun hibrid dan terkoneksi dengan grid PLN menjadi pilihan yang baik dengan potensi energi matahari dan energi angin yang melimpah khususnya di wilayah Indonesia Timur ini. Untuk wilayah yang sulit dijangkau dan memungkinkan pembangunan PLTS dan PLTB, pemerintah merencanakan 10 MW PLTS dan 20 MW PLTB di Maluku, 13,9 MW PLTS hybrid dengan PLTD, dan 20 MW PLTS di Papua, sedangkan di Sulawesi Barat tidak terdapat perencanaan PLTS ataupun PLTB padahal dari kajian dengan simulasi *RETScreen International*, potensi energi matahari sangat tinggi yaitu 5,66 kWh/m2/d.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Pemanfaatan energi surya dan energi angin di kawasan timur Indonesia masih terkendala dengan teknologi produksi yang mahal dengan biaya investasi awal yang tinggi sehingga pemanfaatannya belum secara maksimal dilakukan
2. Simulasi PLTS dengan modul PV Mono-Si –LPC235SM menggunakan model *RETScreen International* pada lokasi Provinsi Maluku, Papua dan Sulawesi Barat pada kapasitas PLTS 100 kW menghasilkan listrik (MWh) 126,006 (di Maluku), 117,471 (di Papua) dan 126,475

(di Sulawesi Barat) serta diperoleh pengurangan emisi GHG (tCO2/tahun) 92,2 (di Maluku) dan 85,9 (di Papua) dan 91,8 (di Sulawesi Barat) dengan biaya modul $3000/ kW. Sedangkan Simulasi PLTB dengan penggunaan 50 unit turbin angin AAER 1000 dengan ketinggian tower 70 meter diperoleh energi listrik (MWh) 92.650 (di Maluku), 91.269 (di Papua) dan 91.937 (di Sulawesi Barat).

3. Dengan kemudahan instalasi dan kemampuannya menjangkau daerah terisolir, dan kemampuan mereduksi emisi gas GHG serta tidak terdapat dampak kebisingan dan pencemaran maka pembangkit ini ramah lingkungan. Serta secara ekonomis memiliki nilai IRR 27,8% (di Maluku), 24,99% (di Papua) dan 27,6 %(di Sulawesi Barat) dengan NPV ($) 269.489 (di Maluku), 230.709 (di Papua) dan 267.080 (di Sulawesi Barat) pada tingkat bunga 7% sehingga PLTS ini layak dan menguntungkan. Sedangkan untuk PLTB secara teknologi masih terkendala mahal dan kurang tersedianya suku cadang dan jasa perawatan sedangkan secara lingkungan walaupun dapat mereduksi emisi GHG tetapi juga memerlukan lahan yang luas dan strategis. walaupun secara ekonomis memiliki nilai IRR 13,1% (di Maluku), 12,5 (di Papua) dan 12,8 (di Sulawesi Barat) dengan NPV ($) 2.294.471 (di Maluku), 1.021.172 (di Papua) dan 1.637.070 (di Sulawesi Barat) pada tingkat bunga 7% sehingga PLTB ini layak dan menguntungkan
4. Walaupun potensi energi surya dan energi angin layak dikembangkan pada ketiga lokasi, pembangunan pembangkit yang direncanakan pemerintah hanya 10 MW (PLTS) dan 20 MW (PLTB) di Maluku, 20 MW (PLTS) di Papua dan tidak terdapat perencanaan pembangunan pembangkit PLTS ataupun PLTB di Sulawesi Barat. Kebijakan tarif (Feed-in tariff) 25 sen / kW hingga 30 sen / kW untuk penjualan listrik PLTS ke PLN perlu disosialisasikan untuk menarik minat calon investor. Sedangkan kebijakan tarif untuk listrik PLTB yang belum ditetapkan perlu dikalkulasi secara cermat untuk mendapatkan harga yang layak untuk investasi PLTB. nilai $420 per MWh ($ 25 sen / kWh) untuk PLTS dan $100 per MWh (Rp. 1250 / kWh) dalam simulasi ini layak dan menguntungan.

Saran

1. Pemerintah perlu mempertegas dan mensosialisasikan kebijakan yang dapat mendorong investasi PLTS di indonesia seperti penyesuaian dalam kebijakan tarif transfer listrik ke PLN, kebijakan penggunaan komponen dalam negeri, dan kebijakan tentang prioritas pemanfaatan

energi terbarukan untuk meningkatkan rasio elektrifikasi di Indonesia.

2. Perlunya meningkatkan dukungan terhadap pengembangan PLTS dan PLTB meliputi pengembangan industri dalam negeri untuk komponen teknologi PLTS dan PLTB, termasuk suku cadang, penyediaan SDM terampil untuk operasional dan perawatan, ketersediaan lahan dan dukungan riset dan pengembangan system yang sesuai.
3. Perlunya pemerintah secara kontinu melakukan evaluasi dan penyesuaian terhadap perencanaan energi yang sesuai dengan potensi lokal wilayah dan mengacu kepada pencapaian target minimal 23% bauran EBT hingga tahun 2025 dan minimal 31% bauran EBT hingga tahun 2050.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa penyusunan penelitian ini banyak mengalami rintangan, tantangan dan hambatan, namun dengan bantuan dari berbagai pihak maka semua ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggitingginya kepada Bapak Prof. Dr. H.Ir. Nadjamuddin Harun, dan Bapak Prof. Dr. Ir.H. Ansar Suyuti, MT. selaku pembimbing yang banyak memberi motivasi dan waktu luang untuk memberikan petunjuk dan bimbingan sehingga penyelesaian tesis ini dapat berlangsung dengan baik. Terima kasih juga saya sampaikan kepada bapak dan ibu dosen yang telah memberikan masukan dan bimbingan selama penulis menempuh perkuliahan.

DAFTAR PUSTAKA

Ahammed, F. and A. Azeem (2009). *An economic analysis of solar PV micro-utility in rural areas of Bangladesh*. Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), 2009 1st International Conference on the, IEEE.

Amin, M. (2009). *Pengembangan Energi Matahari dan Angin Sistem Hibrid*.

Boedoyo, M. S. (2013). *Potensi dan Peranan PLTS Sebagai Energi Alternatif Masa Depan di Indonesia*. Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia

ESDM,(2016) RUPTL 2016 - 2025

Faisal Ahmmmed dan Abdullahil Azeem (2009), An Economic Analysis of Solar PV Micro-Utility in Rural Areas of Bangladesh.

IRAWAN, E., et al. (2014). *Analisis Energi Indonesia: Aplikasi LEAP*, Universitas Gadjah Mada.

Kaltschmitt, M., et al. (2007). *Renewable energy: technology, economics and environment*, Springer Science & Business Media.

Manjang, S. and I. Kitta (2011). "Pemetaan dan Optimalisasi Pemanfaatan Potensi Sumber Energi Terbarukan untuk Pengembangan Pembangkit Tenaga Listrik Pada Daerah yang Terisolir Dari Listrik PLN."

Nafeh E.-S. A. (2009), *Design and Economic Analysis of a Stand-Alone PV System to Electrify a Remote Area Household in Egypt*. The open renewable energy journal

Nainggolan, H. P. (2006). *Studi Keekonomian Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Terpadu Surya—Mikro Hidro.*

Nasa Surface Meteorology And Solar Energy: RETScreen Data, diakses pada tanggal 24 Nopember 2012 (https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/)

Patricia H. J. (2012). *Analisis Keekonomian Kompleks Perumahan Berbasis Energi Sel Surya*, UI, Jakarta.

Rahardjo, I. and I. Fitriana (2005). *Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia.* Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, dan Energi Terbarukan, P3TKKE, BPPT, Januari.

RENDRA, M. and I. A. Budiman (2013). *Pemodelan Perencanaan Energi di Indonesia*, Universitas Gadjah Mada.

Riyanda, F. (2009). *Studi Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan (PLTP) 30 MW Untuk memenuhi Kebutuhan Listrik Di Pulau Sumbawa Nusa Tenggara Barat*.

Road Map Energi Indonesia (2013). Kementrian ESDM. Jakarta.

Sari, D. P. and R. Nazir (2015). *Optimalisasi desain sistem pembangkit listrik tenaga hybrid diesel generator-photovoltaic array menggunakan HOMER (studi kasus: Desa Sirilogui, Kabupaten Kepulauan Mentawai)*.Jurnal Nasional Teknik Elektro

Sitompul, R. (2011). *Manual Pelatihan Teknologi Energi Terbarukan yang Tepat Untuk Aplikasi di Masyarakat Pedesaan*. Jakarta: PNPM Support Facility (PSF): 45-75.

Suyuti, A.; Syafaruddin (2012).*Studi Potensi Energi Matahari Berbasis Analisis RETScreen International di Sulawesi Selatan, Makassar*.

Tim Contaned Energi Indonesia (2010), *Modul Pelatihan Panduan Energi Terbarukan*, Jakarta

Tsoutsos, T., et al. (2009). *Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete*. Energy Policy**37**(5): 1587-1600.

Wang, J.-J., et al. (2009). *Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making.*

Renewable and Sustainable Energy Reviews **13**(9): 2263-2278.

LAMPIRAN

Tabel 1.Model energi dengan PLTS yang disimulasikan dengan model*RETScreen International*

Uraian	Maluku	Papua	Sulawesi Barat
Spesifikasi :	426 unit modul Samsung Mono-Si –LPC235SM faktor kapasitas 15%, dimensi 1,6 x 0,9 m^2 dan intensitas radiasi 800 W/m^2 - 1000 W/m^2 atau 4 kWh/m2/d - 5 kWh/m2/d		
Intensitas radiasi matahari (kWh/m2/d)	5,43	4,97	5,66
Energi yang diekspor ke jaringan PLN(MWh)	126,0	117,5	126,5
Pengurangan emisi GHG (tCO2/tahun)	92,2	85,9	91,8

Tabel 2.Model energi dengan PLTB yang disimulasikan dengan model*RETScreen International*

Uraian	Maluku	Papua	Sulawesi Barat
Spesifikasi	50 unit turbin angin AAER 1000 dengan ketinggian tower 70 meter		
Kecepatan angin pada ketinggian 10 m rata-rata (m/s)	4,5	2,7	2,7
Kecepatan angin pada ketinggian 20 m rata-rata (m/s)	6,9	6,9	6,9
Energi yang diekspor ke jaringan PLN(MWh)	92.650	91.269	91.937
Pengurangan emisi GHG (tCO_2/tahun)	17.816	17.56	17.679

Tabel 3.Analisis finansial dengan PLTS yang disimulasikan dengan model*RETScreen International*

Uraian	Maluku	Papua	Sulawesi Barat
Listrik yang diekspor ke jaringan (MWh)	126	117	125
harga ekspor listrik ($/MWh)	420	420	420

pendapatan tahunan ($/tahun)	52.922	49,338	52.700
biaya tahunan ($)	33.108	33.108	33.108
IRR (%)	27,8	24,9	27,6
NPV pada tingkat bunga 7% ($)	269.489	230.709	267.080

Tabel 4.Analisis finansial dengan PLTB yang disimulasikan dengan model*RETScreen International*

Uraian	Maluku	Papua	Sulawesi Barat
Listrik yang diekspor ke jaringan (MWh)	92.650	91.269	91.937
harga ekspor listrik ($/MWh)	100	100	100
pendapatan tahunan ($/tahun)	9.265.037	9.126.870	9.193.702
biaya tahunan ($)	8.244.523	8.244.523	8.244.523
IRR (%)	13,1	12,5	12,8
NPV pada tingkat bunga 7% ($)	2.294.471	1.021.172	1.637.070

Tabel 5.Kebutuhan listrik dan kapasitas pembangkit yang direncanakan oleh PLN 2016 - 2025

Uraian	Maluku	Papua	Sulawesi Barat
Kebutuhan listrik tahun 2016	121	140	61
kapasitas pembangkit tahun 2016	151,4	264,8	8,41
Kebutuhan listrik sampai tahun 2025 (MW)	285	308	134
Total kapasitas pembangkit sampai tahun 2025(MW)	686,8	683	609,41
Kapasitas dan jenis pembangkit (MW)	151,4 PLTD 295 PLTMG 20 PLTP 38,4 PLTM 130 PLTU	225,6 PLTD 7,3 PLTD/PLTM 13,9 PLTD/PLTS 220 PLTMG 80 PLTG/MG	50 PLTU 5 PLTBM 546PLTA 8,41PLTD

16 PLTA	14,2 PLTM
6 PLTBM	134PLTU
10 PLTS	70 PLTA
20 PLTB	10 PLTBM
	20 PLTS
	1 PLTSa

J. MANUSIA DAN LINGKUNGAN, Vol. 14, No. 1, Maret 2007: 26-34

STUDI POTENSI ENERGI ANGIN DAERAH PANTAI PURWOREJO UNTUK MENDORONG PENYEDIAAN LISTRIK MENGGUNAKAN SUMBER ENERGI TERBARUKAN YANG RAMAH LINGKUNGAN

(The Study of Wind Energy Potential at The Cost Area of Purworejo District To Stimulate The Electricity Utilization Using Environmentally Friendly Renewable Energy)

Samsul Kamal
Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin-Industri FT UGM
Jl. Grafika No.2 Yogyakarta, Indonesia, 55281
Email : samsulugm@yahoo.com; Telp. 081328767101

Diterima: 10 November 2006 Disetujui: 30 Januari 2007

Abstrak

Pemanfaatan energi angin di Indonesia, khususnya untuk pembangkit listrik masih berskala sangat kecil. Penggunaan energi angin saat ini masih terbatas terutama untuk tujuan penelitian yang sifatnya sporadis. Pemanfaatan energi angin untuk pembangkit listrik guna keperluan masyarakat, masih terkendala oleh tidak cukupnya pengetahuan tentang sejauh mana teknologi turbin angin telah berkembang hingga sekarang, serta masih sangat terbatasnya pengetahuan dan informasi akan tempat-tempat yang mempunyai potensi energi angin yang tinggi. Pemerintah Propinsi Jawa Tengah melalui Pemerintah Daerah Kabupaten Purworejo merencanakan untuk mendorong penggunaan energi yang bersih atau bersahabat dengan lingkungan untuk penyediaan energi listrik yaitu menggunakan sumber energi angin. Studi ini bertujuan untuk mencari daerah dengan potensi energi angin yang tinggi. Berdasar pada pengukuran kecepatan, arah dan pola angin di Kertojayan yang berlokasi di 67° 49' 49.5" LS dan 109° 49' 45,6 " BT, menunjukkan bahwa angin di daerah tersebut mempunyai prospek yang baik untuk sumber energi listrik. Data yang terkumpul menunujukkan bahwa energi angin yang tersedia di daerah tersebut mempunyai potensi yang baik untuk menjadikannya sebagai daerah pembangkit energi listrik tenaga angin. Kecepatan angin rerata tahunan tercatat 6,06 m/dtk. yang memberikan rerata rapat daya sebesar 300,045 W/m^2. Berdasar pada data yang ada dianjurkan untuk menggunakan mesin turbin angin berskala medium 100 kW setiap mesinnya dengan konstruksi arah tetap, guna memanfaatkan energi angin yang tersedia secara ekonomis.

Kata kunci : energi angin, pengukuran potensi, listrik kincir angin

Abstrak

The use of wind energy in Indonesia, especially for electricity generation, is of a very small scale. Current application today is limited mainly in sporadic experimental purposes. The use of wind energy in electricity generation for public uses is hindered by lack of awareness in the current level of wind turbine technology as well as inadequate knowledge and information on site potential of high wind energy. The government of Central Java province through Purworejo district government plans to stimulate the use of clean energy for electric energy supply by using wind energy source. This study is to revisit the wind energy source at Purworejo cost area by collecting information on the prospective sites with high wind energy potential. Based on the speed, direction and characteristic of wind measured at Kertojayan located at latitude 67° 49' 49.5" S and longitude 109° 49' 45.6 " N , it is indicated that the site is a

prospective site location for electric wind energy area. The collected data were used to show that the available wind energy at measuring site is sufficient for the generation of electricity. The mean annual wind speed was found to be 6.06 m/s. The corresponding annual power density was found to be 300.045 W/m². On the basis of the wind data , it is suggested to use the medium scale of 100 kW wind turbine machine per unit with fixed direction for harvesting the available wind energy economically.

Keywords : wind energy, potential measuremen, electric wind turbine.

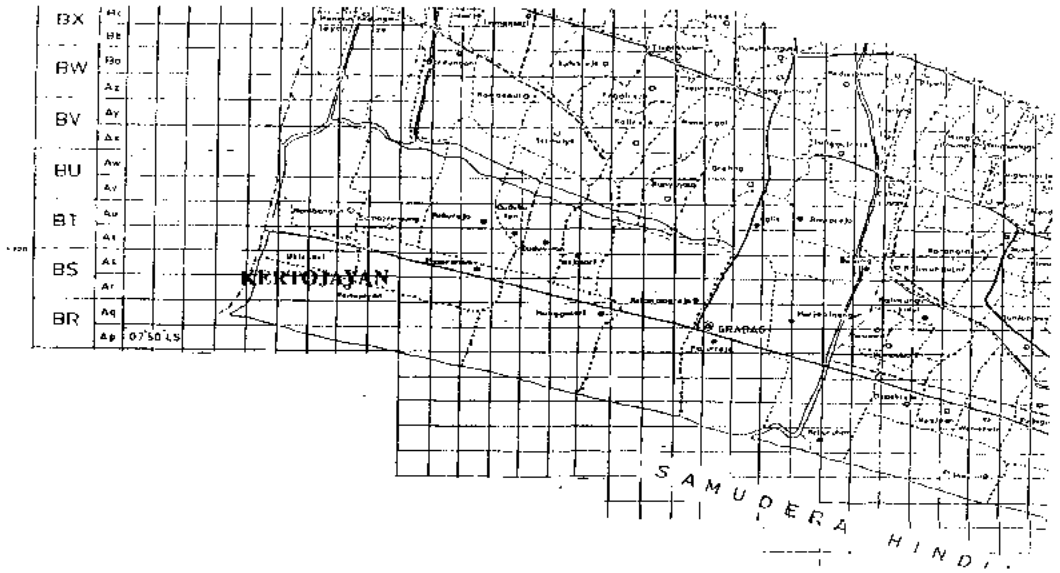
PENGANTAR

Energi merupakan salah satu kebutuhan utama manusia untuk memperoleh tujuan-tujuan kehidupan sosial, ekonomi dan lingkungan. Negara memandang energi untuk mengokohkan pembangunan berkelanjutan guna mendukung aktivitas ekonomi nasional. Dengan demikian mudah dimengerti kiranya bahwa kebutuhan energi disetiap negara selalu meningkat sejalan dengan peningkatan produk domestik bruto (*Gross National Product*, GNP) sebagaimana disampaikan oleh Anderson (1979). Kebutuhan energi dapat dipenuhi dari berbagai sumber energi primer yang dapat digolongkan menjadi dua jenis sumber. Pertama adalah sumber energi tak terbarukan (*non-renewable energy*) seperti misalnya minyak fosil, gas alam, batubara. Kedua adalah sumber energi terbarukan (*renewable energy*) seperti misalnya panas bumi (*geothermal*), air terjun atau hidro, angin, sinar matahari. Kedua sumber tersebut dapat dikonversikan menjadi energi terpakai (*used energy*) berupa listrik, panas maupun cahaya. Indonesia memiliki kedua jenis sumber energi tersebut dalam jumlah yang boleh dikatakan cukup banyak. Namun demikian pemenuhan kebutuhan energi listrik masih didominasi dari sumber energi tak terbarukan. Data Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (2003) menunjukkan dari total energi yang diperlukan, sekitar 52 % nya adalah kebutuhan minyak bumi, 21,2 % adalah kebutuhan gas alam, 19 % batubara dan 4 % hidro serta 3,1 % panas bumi. Sementara itu pertumbuhan kebutuhan energi naik secara signifikan dengan rerata kenaikkan sekitar 7 % setiap tahun.

Dari aspek lingkungan, proses konversi energi dari energi tak terbarukan menjadi energi terpakai/final menghasilkan polutan yang jauh lebih besar dibanding dari energi terbarukan. Perkiraan polutan yang dihasilkan adalah 860 g CO_2, 10 g SO_2 dan 3 g NO_x untuk setiap kWh listrik yang dihasilkan sebagaimana ditunjukkan oleh Renewable Energy World (2003). Karena itu, sejalan juga dengan Kyoto *Protocol* dan tanggung jawab pemerintah terhadap pelestarian lingkungan, Indonesia melalui *Director General for Electricity and Energy Utilization* (2005) mencanangkan kebijakan dan peraturan yang disebut Kebijakan Energi Nasional yang menargetkan setidaknya 5 % dari pembangkit energi ditahun 2020 harus berasal dari energi terbarukan.

Angin adalah energi terbarukan yang bebas polutan dengan potensi cukup baik di Indonesia. Kecepatan rerata bervariasi antara 3 hingga 6 m/detik, namun pemanfaatannya masih sangat kecil, yaitu baru sekitar 0,6 MW (Hanan Nugroho, 2005). Potensi energi angin di Indonesia umumnya terdapat di daerah pantai barat Jawa memanjang sampai dengan terutama bagian wilayah timur. Teknologi konversi energi angin menjadi listrik menunjukkan kecenderungan harga yang bersaing dan harga sekitar 2,62 cent $ setiap kWh dengan harga instalasi sekitar 555 $ setiap kW diprediksi dapat dicapai ditahun 2010, Wind Force 12 (2001).

Desa Kertojayan merupakan salah satu desa di kawasan yang telah ditetapkan sebagai Kawasan Bahari Terpadu (KBT) oleh Pemerintah Daerah Kabupaten Purworejo untuk pengembangan industri kelautan.



Gambar 1. Lokasi geografis studi

Salah satu usaha untuk memenuhi kebutuhan energinya adalah dengan memanfaatkan energi angin. Pemanfaatan energi angin di suatu daerah/lokasi memerlukan kajian yang komprehensif agar karakteristik angin di daerah tersebut diketahui pola dan siklusnya. Tujuan studi ini adalah untuk melakukan evaluasi awal besaran kualitatif (*qualitative magnitude evaluation*) angin yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan potensi energi angin sebagai energi listrik di daerah pantai Purworejo.

METODOLOGI

Angin adalah udara yang bergerak, yang dipengaruhi oleh gaya-gaya akibat tekanan, koriolis putaran bumi, inersial dan gesekan permukaan bumi. Evaluasi energi angin disuatu daerah / lokasi meliputi ; pola dan *magnitude* kecepatan angin, arah angin , rapat daya serta potensi energi tersedia dan dilakukan setidaknya selama satu (1) tahun, Freris (1990).

Lokasi / *site*

Lokasi studi adalah di daerah pantai Purworejo yang terletak di desa Kertojayan, Kecamatan Grabag, Kabupataen Purworejo, pada posisi 07° 49' 49.5" LS dan 109° 49' 45.6" BT dengan ketinggian 3 m dpl. Lokasi ini dipilih sebagai salah satu representasi daerah pantai Purworejo karena halangan (*terrain features*) angin yang relatif kecil, dekatnya dengan jaringan transmisi PLN serta dekat dengan kegiatan industri perikanan dan tempat pelelangan ikan (TPI). Selain itu, melalui wawancara awal, masyarakat di daerah tersebut juga tidak berkeberatan terhadap keberadaan kincir angin apabila akan dibangun di daerah tersebut, Laporan Akhir (2004)

Peralatan / Instrumentasi

Peralatan pokok yang digunakan meliputi ; anemometer untuk mengukur kecepatan angin, *wind direction vane* untuk mendeteksi arah angin dilengkapi dengan *global positioning system* (GPS). Properti angin lainnya yang diukur adalah temperatur, menggunakan termometer, tekanan menggunakan barometer dan kelembaban menggunakan *humidity* meter. Semua peralatan pokok tersebut ditempatkan pada satu menara (*tower*) dengan posisi anemometer pada ketinggian 60 m, *Wind Direction Vane* pada ketinggian 25 m. Termometer, barometer dan *humidity* meter di tempatkan pada pada ketinggian 3 m dan mengikuti standard pengukuran *American Wind Energy Association*, AWEA. Untuk pengumpulan data digunakan *data logger NRG System* jenis

Symphonie Logger yang dilengkapi dengan *Signal Conditioning Moduls* (*SCM*). *Card* penyimpan data yang digunakan adalah *Multi Media Card* (*MMC*) berkapasitas 16 *mega byte*. Logger tersebut adalah *programmable data logger* yang mampu mengambil pembacaan dan menyimpan data dari berbagai sensor yaitu anemometer, wind *direction vane*, termometer, barometer dan *humidity* meter.

Data yang terekam dari sensor disimpan dalam memorinya dan secara periodik dapat di *down load* ke dalam komputer guna analisa. Data angin pada studi ini berisi pencatatan rerata lima detik secara kontinyu dengan durasi setiap periode satu jam selama satu tahun (Oktober 2004 – September 2005).

Metode Evaluasi Potensi Angin

Beberapa metode evaluasi dapat digunakan untuk mengestimasi potensi energi angin dari data yang diperoleh, antara lain menggunakan *energy pattern factor*, *direct use*, *bins* (kotak) dan statistik (Manwell *et al*, 2003). Sesuai dengan tujuan studi ini, maka metode kotak akan lebih sesuai untuk digunakan. Inti langkah metode kotak adalah pertama, data dipilah menjadi N_B kotak dengan julat w_j dan *mid point* m_j. Jika f_j adalah frekuensi kejadian data, maka jumlah observasi kecepatan angin dapat dinyatakan dengan, N

$$N = \sum_{j=1}^{N_B} f_j \quad \text{..... (1)}$$

Sedang rerata kecepatan angin dari periode total pengumpulan data , $\overline{U}$, adalah

$$\overline{U} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_B} m_j \, f_j \quad \text{.....(2)}$$

Selanjutnya deviasi standar dari rerata kecepatan angin, σ_U , diungkapkan sebagai

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{1}{N-1}\left\{\sum_{j=1}^{N_B} m_j^{\,2} f_j - N\left(\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N_B} m_j f_j\right)^2\right\}} \quad \text{..(3)}$$

Adapun rapat daya angin rerata, *wind power density*, atau daya angin yang dapat diharapkan setiap satuan luas , $\overline{P}/A$ dapat diungkapkan dengan

$$\overline{P}/A = \left(1/2\right)\rho \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_B} m_j^{\,3} \, f_j \quad \text{.....(4)}$$

Akhirnya *qualitative magnitute* dari sumber angin dapat diklasifikasikan menurut Manwell *et al* (2003) sebagai berikut

$$\overline{P}/A < 100 \ W/m^2 \Rightarrow poor\ (jelek)$$
$$\overline{P}/A \approx 400 \ W/m^2 \Rightarrow good\ (baik)$$
$$\overline{P}/A > 700 \ W/m^2 \Rightarrow great\ (sangat\ baik)$$

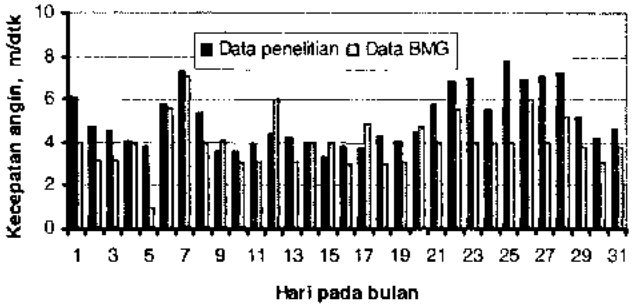
.....(5)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekam data selama satu tahun dari bulan Oktober 2004 hingga September 2005 dapat dilihat pada Tabel 1, yang sudah disusun sesuai dengan metode kotak. Data angin direkam selama 24 jam setiap hari, setiap bulan selama satu tahiun.

Sebagai verifikasi terhadap hasil tersebut, maka dilakukan pembandingan hasil pengukuran yang diperoleh , terhadap rekam data dari stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) seposisi daerah pantai yaitu Cilacap. Diambil sebagai contoh data bulan Oktober yang dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil pembandingan menunjukkan kesesuaian yang cukup baik.

Dari data yang diperoleh, pertama dapat diungkapkan distribusi kecepatan angin rerata bulanan, seperti dapat dilihat pada Gambar. 3. Dari data dapat diperoleh bahwa kecepatan rerata angin bulanan yang terekam adalah 6,06



Gambar 2. Pembandingan data harian dari penelitian terhadap data harian BMG pada bulan Oktober 2004.

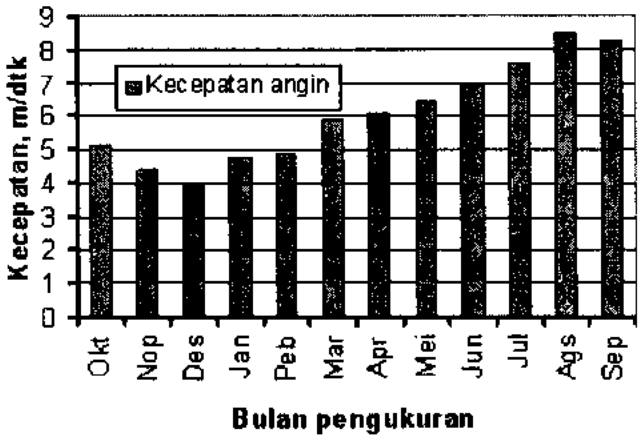
Tabel 1. Hasil pengukuran kecepatan

Kelas Interval m/dtk	Harga Tengah m_i	Frekuensi f_i	f_i /N	$(f_i/N) \times (m_i)^3$
0 - 1	0,5	244	0,030168	0,003771
1 - 2	1,5	365	0,045128	0,152307
2 - 3	2,5	768	0,094955	1,483672
3 - 4	3,5	772	0,095450	4,092418
4 - 5	4,5	871	0.107690	9,813251
5 - 6	5,5	970	0,119930	19,953353
6 - 7	6,5	862	0,106577	29,268708
7 - 8	7,5	772	0.095450	40,267968
8 - 9	8,5	611	0,075544	46,393459
9 - 10	9,5	601	0,074307	63,708964
10 - 11	10,5	598	0,073936	85,590162
11 - 12	11,5	321	0,039688	60,360487
12 - 13	12,5	105	0,012982	25,355468
13 - 14	13,5	72	0,008902	21,902258
14 - 15	14,5	52	0,006429	19,599610
15 - 16	15,5	40	0,004945	18,414562
16 - 17	16,5	35	0,004327	19,437425
17 - 18	17,5	13	0,001607	8,6125156
18 - 19	18,5	10	0,001236	7,8258855
19 - 20	19,5	5	0,000618	4,5823924
20 - 21	20,5	1	0,000123	1,0596603

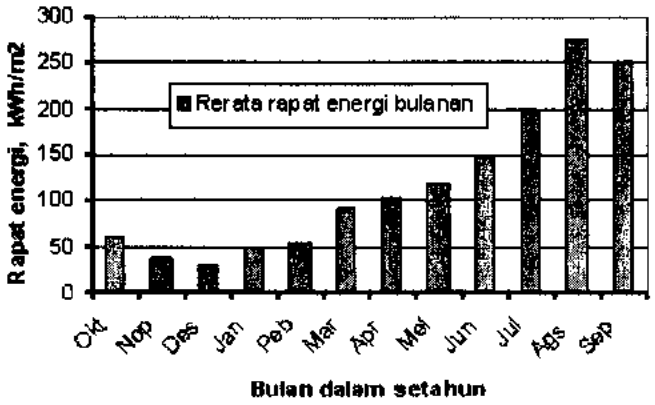
Rapat Daya Energi Angin Rerata (*Average Wind Power Energy*) $\overline{P}/_{A}$ = 300,045 W/m^2

Prediksi Rapat Produksi Energi Listrik Rerata dalam Setahun = 1,426 MWjam/m^2

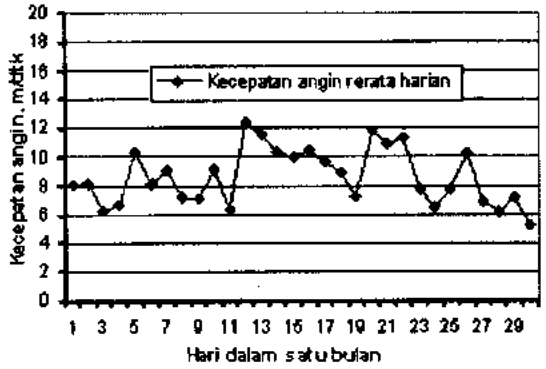
m/detik. Rentang kecepatan angin adalah terendah sekitar 4 m/detik pada Desember 2004 hingga tertinggi sampai dengan sekitar 8,5 m/detik pada bulan Agustus 2005. Bulan-bulan Oktober sampai dengan Pebruari merupakan bulan dengan angin yang relatif tenang (*calm*) sementara bulan Maret sampai dengan September kecepatan angin relatif cukup besar (*windy*). Bulan Oktober sampai dengan Pebruari biasanya adalah musim penghujan (*rainy season*). Aspek ini kiranya dapat juga dihubungkan dengan pemanfaatan sumber energi terbarukan yang lain (*energy mixed*), misal tenaga air (*micro hydro*) dimana saat tersebut terjadi penambahan supply air karena cuaca hujan, sementara energi angin saat tersebut sedikit menurun sehingga tenaga air dapat mencukupkannya begitu sebaliknya. Selanjutnya dengan menggunakan data kecepatan tersebut dapat diprediksi rerata rapat energi bulanan, sebagaimana terlihat pada Gambar. 4.



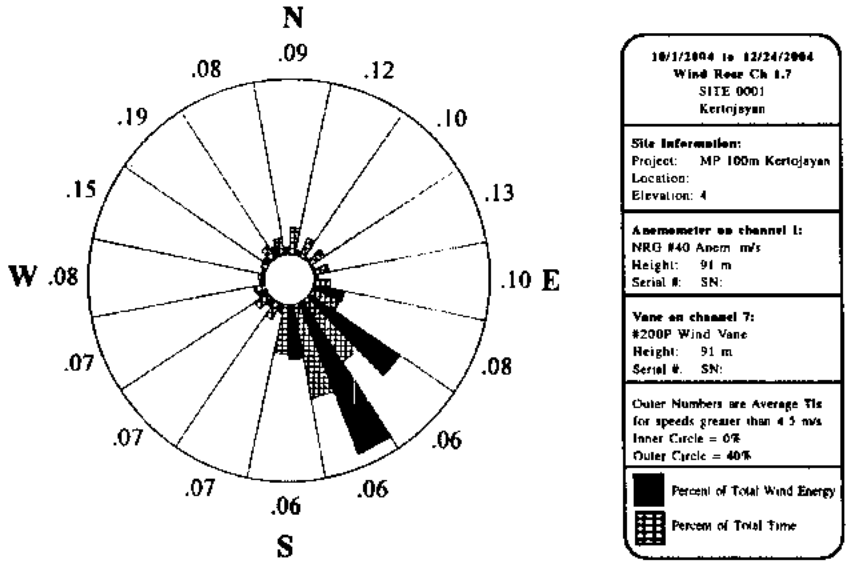
Gambar 3. Distribusi kecepatan angin rerata tiap bulan selama satu tahun (Okt. 04 – Sept.05)

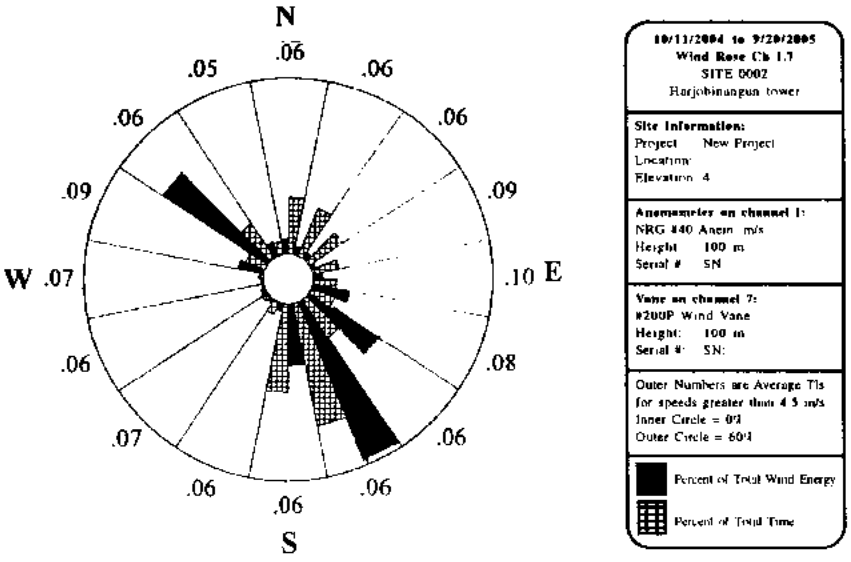


Gambar 4. Rapat Energi Bulanan



Gambar 5. Fluktuasi Kecepatan Angin Harian Bulan Agustus 2005.





Gambar 6. Rekam arah angin (*wind rose*) 2004-2005

Tabel 2. Rekomendasi kapasitas daya

Wind Velocity (mean) m/s]	*Capacity kW*	*Scale*
2,5 - 4,0	s.d 10	*small*
4,0 - 5,0	10 - 100	*medium*
> 5	> 100	*large*

Dapat dimengerti kiranya bahwa pola rapat energi akan mengikuti pola kecepatan angin. Berdasar data terekam, fluktuasi kecepatan angin dalam sehari (*diurnal wind speed*) dapat diperlihatkan polanya pada bulan Agustus 2005 sebagaimana terdapat pada Gambar 5. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa kecepatan angin harian relatif cukup tinggi dan merata. Selanjutnya, dengan menggunakan data Tabel 1 dan ungkapan persamaan (2) dan (4) serta waktu pengamatan selama satu tahun , maka dapat diperoleh $\overline{P}/A$ atau rapat daya rerata 300,045 W/m^2 serta produksi rapat energi listrik rerata selama setahun diprediksi sekitar 1,426 MWjam/m^2. Dengan demikian, berdasar pada *qualitative magnitude* dari Manwell *et al* (2003) sebagaimana tertera pada persamaan (5), potensi angin di Kertojayan masuk dalam kategori baik (*good*) karena nilai $\overline{P}/A$ mendekati nilai 400 W/m^2. Untuk arah angin, hasil rekam data arah angin yang tertera pada *wind rose*, Gambar 6, menunjukkan bahwa prosentase total energi dan waktu terbesar angin adalah pada arah tenggara.

Walaupun teknologi konstruksi kincir angin saat ini tidak begitu mempersoalkan arah karena mekanisme kontrol arah otomatis yang ada, namun turbin angin dengan arah yang ditetapkan (*fixed direction*) sesuai dengan *wind rose* akan dapat lebih ekonomis harga konstruksinya.

Berbagai ukuran/kapasitas daya kincir angin sekarang sudah mudah diperoleh. Pertimbangan konstruksi, kehandalan, serta keekonomian operasi dan perawatan harus dipertimbangkan.

Berbagai pengalaman pelaksanaan lapangan, Khennas (2003), memberikan skala perkiraan awal kapasitas daya mesin konversi kincir angin yang ekonomis berdasar kecepatan angin rerata sebagaimana terlihat pada Tabel 2.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari studi ini dapat diperoleh bahwa energi angin di daerah pantai Purworejo dengan titik pengukuran di desa Kertojayan mempunyai kecepatan rerata tahunan sebesar 6.06 m/detik. Kecepatan angin ini memberikan potensi rapat energi listrik sebesar 300.045 W/m^2 dengan potensi rapat produksi energi listrik sekitar 1,426 MWjam/m^2. Berdasar pada rapat energi yang ada, maka potensi energi listrik dari angin di daerah pantai Purworejo tergolong kategori baik.

Sesuai dengan rekam data arah angin *wind rose*, persentase total energi dan waktu terbesar adalah pada arah tenggara.

Pemanfaatan energi angin direkomendasi untuk skala menengah (*medium*) dengan kapasitas daya sekitar 100 kW setiap unit agar diperoleh keekonomian hasil energi listrik yang cukup ekonomis. Penggunaan konstruksi kincir angin dengan arah tetap (*fixed direction*) dapat dipertimbangkan untuk mengurangi biaya konstruksi. Untuk pemanfaatan yang melibatkan banyak unit kincir angin, pertimbangan lingkungan seperti habitat jalan burung, pemandangan dan *noise* perlu diperhatikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Studi ini dilakukan dengan melibatkan berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih antara lain kepada : Balitbang Propinsi Jawa Tengah, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Semarang dan PT. Cerah Sempurna Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson, L.L., dan Tillman, D.A., 1979, *Synthetic Fuels From Coals* John Wiley & Sons, New York.

Director General for Electricity and Energy Utilization, 2005, *Indonesia Government Policy on Renewable Energy* World Renewable Energy Regional Congress and Exhibition" Jakarta 17-21 April, METI, WRE.

Freris, L., L., 1990, *Wind Energy Conversion System*, Prentice Hall

Hanan Nugroho, 2005, *Financing Renewable Energy Utilization in Indonesia : Notes* World Renewable Energy Regional Congress and Exhibition", Jakarta 17-21 April 05, METI, WREN.

Khennas, S., Dunnet, S., dan Piggot, H., 2003, *Small Wind System for Rural Energy Services* ITDG Publishing

Laporan Akhir, 2004, *Penelitian Survey Pengkajian dan Pelaksanaan Energi Angin* Lembaga Penelitian Universitas Negeri Semarang.

Manwell, J.F., Mc Gowan, J.G., dan Rogers A.,L., 2003, *Wind Energy Explained, Theory, Design and Application*, John Wiley & Sons Ltd, August 2003.

Renewable Energy World, Review Issue 2003, *Review Issue 2003-2004*, Vol.6

Wind Force 12 , 2001, *A Blueprint to Achieve 12% World's Electricity from Wind Power by 2020* EWEA (European Wind Energy Association)

DOI: doi.org/10.21009/03.SNF2020.01.FA.03

STUDI POTENSI HIDROGEN AIR LAUT MELALUI PROSES ELEKTROLISIS SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN

Ihza Nursina Salam Aklan [a], Cecep E Rustana[b]

Program Studi Fisika, FMIPA Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka No. 01, Rawamangun 13220, Indonesia

Email: [a)]ihzanursina@gmail.com, [b)]ce.rustana59@gmail.com

Abstrak

Melimpahnya ketersediaan air laut di dunia mendorong para peneliti untuk terus mengembangkannya menjadi energi yang bisa digunakan oleh umat manusia. Salah satu dari pemanfaatan air laut adalah dengan mengubah nya menjadi hidrogen. Hidrogen dengan mudah dapat diproduksi dan tahan lama dari air laut. Hal ini menunjukan air laut memiliki potensi besar sebagai pengganti bahan bakar fosil yang sampai saat ini masih digunakan. Pada penelitian ini, peneliti melakukkan studi untuk menganalisis hasil-hasil penelitian yang sudah dilakukan untuk memaparkan potensi air laut sebagai sumber energi terbarukan.

Kata Kunci: Air laut,Hidrogen,Elektrolisis,Energi

Abstract

The abundant availability of sea water in the world encourages researchers to continue to develop it into energy that can be used by humanity. One of the uses of sea water is to convert it into hydrogen. Hydrogen can easily be produced and is durable from seawater. This shows that seawater has great potential as a substitute for fossil fuels which are still used today. In this study, researchers conducted a study to analyze the results of research that has been done to explain the potential of sea water as a renewable energy source.

Keywords: Sea water, Hydrogen, Electrolysis, Energy

PENDAHULUAN

Penggunaan energi bagi umat manusia masih terfokus pada energi fosil yang jumlahnya terbatas dimana penggunaannya pun mengakibatkan pemanasan global. Ini mendorong kepada upaya untuk mencari energi yang memiliki keberlanjutan yang baik (sustainable). Air laut adalah sumber daya paling melimpah di planet kita dimana jumlah air laut adalah 97% dari total seluruh air di planet kita[1]. Maka dari itu air laut sangat cocok sebagai pengganti dari energi fosil yang digunakan pada saat ini.

Air laut bisa dimanfaatkan untuk berbagai hal di kehidupan manusia, salah satu energi yang bersumber dari air laut ialah hidrogen yang dapat digunakan tidak hanya secara langsung sebagai bahan bakar bersih tetapi juga energi yang bisa disimpan karena dapat diangkut dalam jarak yang jauh. Hidrogen ini juga tidak menyebabkan polusi, ringan, dan sustainable karena dapat diproduksi dari air dengan mudah. Selain itu energi matahari dapat dimanfaatkan secara efisien untuk produksi hidrogen. Beberapa cara yang bisa dilakukan untuk mengekstraksi energi dari air laut ialah gradien

termal, generator angin dan gelombang, elektrolisis, dan fotolisis. Namun, elektrolisis air laut untuk produksi hidrogen adalah teknologi yang menjanjikan paling sederhana [2].

Elektrolisis adalah perubahan kimia, atau reaksi dekomposisi dalam suatu elektrolit oleh arus listrik. Elektrolit larut dalam pelarut polar (misalnya air) dengan terdisosiasi menjadi ion-ion positif (kation-kation) dan ion-ion negatif (anion-anion). Ion negatif disebut anion karena pada saat elektrolisis larutan tertarik ke muatan positif pada anoda, sedangkan ion positif disebut katoda karena melalui larutan akan bergerak menuju muatan negatif (katoda)[3].Melalui proses elektrolisis, air laut dapat diubah menjadi hidrogen yang dapat menggantikan dan setidaknya mengurangi penggunaan energi fosil yang terbatas dan menimbulkan permasalahan pemanasan global. Energi hidrogen yang bersumber dari air laut ini dapat menjadi solusi bagi energi bersih dan salah satu solusi terhadap pengurangan pemanasan global di bumi.

METODE PENELITIAN

Proses pemanfaatan air laut menggunakan elektrolisis sudah berhasil dilakukan pada beberapa penelitian dan akan direview serta akan dibandingkan semua hasilnya

. Penelitian ini akan menggunakan kajian literatur terhadap hasil-hasil penelitian sebelumnya yang terkait dengan produksi hidrogen dari air laut sebagai energi alternatif melalui proses elektrolisis. Hasil penelitian ini akan dimanfaatkan oleh peneliti untuk pengembangan metode dan pelaksanaan penelitian lebih lanjut yang lebih efektif dan efisien untuk mengembangkan potensi air laut sebagai sumber energi alternatif untuk memproduksi hidrogen.HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini kami menuliskan beberapa format dasar untuk menuliskan persamaan matematika. Persamaan matematika yang dituliskan harus menggunakan simbol yang sudah baku.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam jurnal ini akan memaparkan beberapa gabungan hasil penelitian dan berupa review hasil atau data untuk menyimpulkan dari hasil-hasil penelitian yang sudah ada yaitu pemanfaatan air laut sebagai energy khususnya dengan proses elektrolisis untuk menghasilkan hidrogen. Sesuai dengan judul bahwa akan membandingkan hasil dari penelitian penelitian sebelumnya untuk melihat potensi dari air laut sebagai energy terbarukan.

Menurut (Kuang,2019) elektrolisis air laut untuk menghasilkan bahan bakar hydrogen sangat bermanfaat bagi energi terbarukan dimana dalam penelitiannya dia menemukan bahwa dalam elektrolit 1 M KOH dengan konsentrasi tinggi dari 2 M NaCl, Anoda Ni^3 yang dipasangkan dengan katoda Ni-NiO-Cr_2O_3 bertahan selama 600 jam. Maka dari itu ia berkata bahwa elektroda yang bisa menahan korosi dapat dimanfaatkan sebagai kesempatan untuk menggunakan air laut yang luas di bumi sebagai pembawa energi[4].

Selanjutnya pada penelitian (Rahmi,2019) ditemukan bahwa waktu elektrolisis mempengaruhi 99,9% dari produksi hydrogen dalam proses elektrolis selain itu produksi hydrogen sudah bisa dilakukan denga tegangan sebesar 0,096 Volt dan penggunaan katalis CO2 dapat mempercepat produksi hydrogen ,dimana keuntungan yang diperoleh pada elektrolisis menggunakan katalis CO2 adalah prinsip yang dilakukan sederhana seperti pada elektrolisis konvensional pada umumnya, namun dapat memperoleh gas hidrogen dengan energi yang lebih rendah sehingga memiliki biaya produksi yang lebih rendah[5].

Lalu pada penelitian (Fukuzumi,2017) ditemukan bahwa total potensial energy H_2 di laut hitam diperkirakan berjumlah 270 juta ton, jumlah tersebut dapat memproduksi energy thermal sebesar 38,3 juta TJ atau energy listrik sebesar 8,97 juta Gwh, Elektrolisis langsung air laut untuk mengembangkan H_2 dan O_2secara selektif tanpa pembentukan klorin atau hipoklorit telah di mungkinkan dengan kriteria desain umum pada pH> 7,5 dalam air laut dengan overpotential (h) <0,48 V. Klorida anion yang terkandung dalam air laut bertindak sebagai katalis untuk mempercepat oksidasi air laut. H_2O_2diproduksi dari air laut dan udara oleh energi matahari telah digunakan secara langsung sebagai bahan bakar dalam sel bahan bakar H_2O_2. Dengan demikian, H_2O_2dapat menjadi

alternatif yang berkelanjutan dan bahan bakar hijau untuk barang-barang listrik portabel, karena oksigen, air laut, dan sinar matahari adalah sumber daya yang melimpah, dan pembangkit listrik dimungkinkan dengan sel bahan bakar dengan struktur satu kompartemen sederhana [1]. Berdasarkan kajian ini peneliti akaan mengembangkan penelitian untuk memproduksi hidrogen dari air laut yang diharapkan lebih efektif dan efisien dengan melihat pengaruh waktu dan jenis elektroda terhadap hidrogen yang dihasilkan menggunakan potensi alam Indonesia.

PENUTUP

Proses elektrolisis adalah salah satu proses yang paling sederhana dan menjanjikan untuk mengubah air laut menjadi hidrogen. Dimana energi hidrogen dari air laut yang diproduksi melalui proses elektrolisis bisa menjadi salah satu dari pilihan energi baru bagi manusia dikarenakan hidrogen dari air laut bisa diproduksi dengan biaya yang cukup ringan karena oksigen, air laut, dan sinar matahari adalah sumber daya yang melimpah serta ramah lingkungan yang memungkinkan hidrogen bisa menjadi pengganti energy fosil dibumi.

REFERENSI

[1] S. Fukuzumi, Y. M. Lee & W. Nam, “Fuel Production from Seawater and Fuel Cells Using,” Chemsuschem, pp. 4264-4276, 2017.

[2] I. S. Al-Mutaz, T. F. Al-Fariss & F. A. Abd El-Aleem, “Hydrogen Production From Sea Water,” The First Saudi Symposium on Energy, Utilization Conservation, Jeddah, Saudi Arabia, 1990.

[3] S. Y. L. Isana, “Perilaku Sel Elektrolisis Air Dengan Elektroda Stainless Steel,” Prosiding seminar nasional Kimia dan Pendidikan Kimia, Yogyakarta, 2010.

[4] K. Yun *et al*., “Solar-driven, highly sustained splitting of seawater,” PNAS, pp. 6624-6629, 2019.

[5] H. I. Rahmi, “Desain Sistem Reaktor dan Pengukuran H2 Berbasis Elektrolisis dengan Katalis CO2,” Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, 2019.

ARTIKEL REVIEW

STUDI POTENSI LIMBAH TEMBAKAU MENJADI BIO-OIL MENGGUNAKAN METODE FAST-PYROLYSIS SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN

Rafiqi Rajauddin Amin, Rimbi Rodiyana Sova, Dewinta Intan Laily, Dina Kartika Maharani*
Jurusan Kimia, Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Kota Surabaya, Indonesia
*Email: dinakartika@unesa.ac.id

Received 8 October 2020
Accepted 4 December 2020

Abstrak

Perkembangan industri yang semakin pesat menyebabkan kebutuhan bahan bakar dan energi semakin meningkat khususnya bahan bakar fosil (*petroleum*). Hal tersebut berdampak terhadap terjadinya krisis energi. Biomassa menjadi perhatian khusus sebagai salah satu sumber energi terbarukan untuk mengatasi krisis energi yang terjadi saat ini. Biomassa terdiri dari hemiselulosa, selulosa, dan lignin yang dapat dikonversi menjadi cairan (*bio-oil*)dari *pyrolisi*s. Salah satu limbah yang dapat dikonversi menjadi *bio-oil* yaitu limbah tembakau. Limbah tembakau dihasilkan lebih dari 2 juta ton setiap tahunnya. Limbah tersebut memiliki kandungan yang berpotensi diolah lebih lanjut menjadi bio-oilmenggunakan metode *fast-pyrolysis* dengan langkah-langkah pembuatan *bio-oil* secara efisien dan berkualitas. Adapun hasil bio-oil dari limbah tembakau menggunakan metode fast pyrolysis memiliki nilai karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, dan senyawa organik lain serta rasio H/C lebih besar dari pada hasil bio-oil limbah tembakau menggunakan metode low pyrolysis. Dimana *bio-oil* limbah tembakau menggunakan metode *fast-pyrolysis* memiliki nilai kalor yang tinggi setara dengan distribusi hidrokarbon dari biodiesel, yang berarti memiliki potensi sebagai energi alternatif pengganti petroleum. Potensi sebagai bahan bakar pengganti petroleum juga harus dimbangi dengan produksi yang cepat dan efisien, produksi *bio-oil* dapat dimaksimalkan dengan pemillihan reactor dan suhu optimum yang digunakan.

Kata kunci: Limbah, Tembakau, Bio-Oil, Energi Terbarukan, Fast-pyrolisis

Abstract

The rapid development of industry causes the need for fuel and energy to increase, especially fossil fuels (petroleum). This has the effect of an energy crisis. Biomass is of particular concern as one of the renewable energy sources to address the current energy crisis. Biomass consists of hemiselulose, cellulose, and lignin that can be converted into liquids (bio-oils) of pyrolysis. One of the wastes that can be converted into bio-oil is tobacco waste. Tobacco waste is produced by more than 2 million tons eachs. The waste has the potential to be further processed into bio oil using fast pyrolysis method with efficient and quality bio-oil manufacturing measures. The bio-oil results from tobacco waste using the fast pyrolysis method have values of carbon, hydrogen, nitrogen, oxygen and other organic compounds and the H/C ratio is greater than the yield of tobacco waste bio-oil using the low pyrolysis method. Where the bio-oil of tobacco waste using the fast pyrolysis method has a high heating value equivalent to the distribution of hydrocarbons from biodiesel, which means it has the potential as an alternative energy to replace petroleum. The potential as a substitute fuel for petroleum must also be balanced with fast and efficient production, maximizing bio-oil production by selecting the reactor and the optimum temperature used.

Keywords: Waste, Tobacco, Bio-Oil, Renewable Energy, Fast-pyrolisis

Pendahuluan

Pesatnya pertumbuhan penduduk yang diiringi dengan meningkatnya kemajuan industrimenyebabkan kebutuhan akan bahan bakar dan energi semakin meningkat khususnya bahan bakar fosil (*petroleum*). Hal tersebut berdampak pada berkurangnya persediaan cadangan *petroleum* di alam karena krisis energi yang juga menghambat kegiatan ekonomi. Selain itu penggunaan bahan bakar fosil menjadi salah satu penyebab utama pencemaran lingkungan dan pemanasan global. Berdasarkan peraturan pemerintah No. 79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional menyatakan bahwa pada tahun 2025 target peran energi baru dan terbarukan paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 diimbangi dengan pengurangan peran minyak bumi kurang dari 25% pada tahun 2025 dan kurang dari 20% pada tahun 2050.Hal inilah yang mendorong untuk mengembangkan energi terbarukan yang lebih efisien dan ramah lingkungan sebagai pengganti *petroleum*.

Biomassa menjadi perhatian khusus sebagai salah satu sumber energi terbarukan untuk mengatasi krisis energi yang terjadi saat ini. Kandungan biomassa yakni hemiselulosa, selulosa, dan lignin dan sejumlah kecil spesies organik dan anorganik lainnya tergantung pada jenis biomassa. Sumber daya biomassa biasanya dalam bentuk kayu dan limbah kayu, tanaman pertanian dan produk samping limbahnya, limbah padat kota, limbah proses pulp, dan sebagainya. Biomassa dapat dikonversi menjadi cairan (*bio-oil*), padat (*bio-char*), dan produk-produk gas dari pyrolysis(Akalina & Karagöz, 2011).

Salah satu tanaman pertanian yang berpotensi untuk dikonversi menjadi biomassa yaitu tembakau. Komoditas tembakau tersebar di beberapa provinsi di Indonesia yang dimanfaatkan dalam berbagai industri rokok, kosmetik, obat-obatan. Tembakau yang digunakan sebagai bahan utama dalam industri rokok hanya menggunakan daunnya dan menyisakan batang, akar, ranting dan daun kecil sebagai limbah pertanian. Liu et al., (2015) menyatakan bahwa batang tembakau memiliki kandungan nikotin sebesar 0,26%, selulosa dan lignin berturut-turut sebesar 56,10% dan 15,11%. Kandungan tersebut berpotensi besar sebagai *bio-oil* yang merupakan energi alternatif terbarukan dan ramah lingkungan daripada bahan bakar fosil (minyak bumi)(Rahmatullah, dkk, 2019).

Bio-oil merupakan senyawa oksigenat organik yang berbeda-beda dan tidak seperti bahan bakar minyak bumi pada umumnya. Hal ini karena tingginya kadar air, sekitar 15-20% yang berfungsi juga sebagai pengikat ratusan molekul yang berbeda yang disebut sebagai emulsi mikro. *Crude bio-oil* dapat digunakan sebagai pemanas rumah tangga atau *boiler* untuk pengeringan dan dapat ditingkatkan menjadi bahan bakar yang mempunyai nilai kalor yang lebih tinggi dan dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan dalam industri kimia (oleokimia), seperti *petroleumfuel* (Wibowo, 2020).

Metode yang digunakan untuk pembuatan *bio-oil* dari biomassa melalui *thermochemical process* yaitu pyrolysis. Pyrolysis merupakan proses dekomposisi bahan kimia organik melalui tahap

pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi gas (Ridhuan et al., 2019). Metode pyrolysis sangat baik karena memaksimalkan senyawa lignin dan selulosa yang dihasilkan dari tumbuhan untuk menghasilkan bahan bakar cair. Penggunaan katalis dapat diaplikasikan pada proses pyrolysis dengan sebutan pyrolysis katalitik. Teknik pyrolysis yang berbeda memicu perbedaan dalam kuantitas dan kualitas produk yang dihasilkan. *Bio-oil* memiliki kandungan nitrogen dan sulfur yang rendah, dapat digunakan sebagai bahan bakar di beberapa mesin dan *boiler* yang dimodifikasi. Selain itu, minyak pyrolysis kaya akan senyawa organik yang memeberikan nilai tambah (Barla & Kumar, 2019).

Jenis pyrolysis yang saat ini berkembang untuk menghasilkan *bio-oil* yaitu melalui proses *fast pyrolisis*. Proses *fast pyrolisis* dilakukan pada suhu antara 400°C-600 ^{o}C dengan lama pemanasan sekitar 0,5-2 detik.Kelebihan proses *fast pyrolisis* yaitu produk cair (*Bio-oil*) lebih banyak daripada jenis pyrolysis yang lain. *Bio-oil* dari *fast pyrolisis* dapat memberikan nilai kalor tinggi yang memiliki distribusi hidrokarbon yang serupa dengan diesel standar (Barla & Kumar, 2019). Beberapa teknologi pyrolysis cepat (fast pyrolysis) antara lain *bubbling fluidized bed, circulating fluidized bed reactor, rotating cone pyrolyzer, ablative pyrolysis, vacuum pyrolysis,* dan *auger reactor*. Selain itu mulai dikembangkan juga *free fall* yang sudah dipanaskan pada suhu antara 400-700°C. Produk yang dihasilkan *fast pyrolisis* selain cairan bio-oil, akan dihasilkan juga arang dan gas (Wibowo & Hendra, 2015).

Berdasarkan beberapa uraian diatas , penulisan artikel review ini bertujuan untuk memberikan telaah literatur mengenai cara pembuatan bio-oil dari tembakau menggunakan *fast-pyrolysis* serta mengetahui kandungan bio-oil tembakau yang dihasilkan pada proses *fast-pyrolysis.*

Metode Review

Metode yang digunakan adalah melalui studi literatur yang telah dirangkum dari artikel-artikel yang relevan dengan proses pyrolysis menggunakan limbah tembakau. Pembahasan pada artikel review disusun secara narrative untuk menunjukkan bahwa proses pyrolysis limbah tembakau menggunakan metode *fast pyrolysis* menghasilkan persen bio oil yang lebih tinggi.

Hasil kajian dan Pembahasan

Limbah Tembakau

Tanaman tembakau tersebar sangat luas di Indonesia. Berdasarkan data statistik Kementerian Pertanian Republik Indonesia tahun 2020, luas lahan tanaman tembakau mencapai total 204.961 Ha dengan kisaran populasi tanaman tembakau per hektar lahan adalah 22.000 pohon dan berat tembakau sekitar 0,5 kg. Jika ditotal tahun 2020 limbah pohon tembakau mencapai 2.302.268,36 ton.

Tabel 1 menunjukkan kandungan limbah tembakau yang berpotensi untuk dijadikan biomassa. Kandungan biomassa yakni hemiselulosa, selulosa, dan lignin dan sejumlah kecil spesies organik dan anorganik lainnya tergantung pada jenis biomassa.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Tembakau

Hasil analisis akhir(kering dan bebas abu (daf))	**Berat (%)**	**Referensi**
C (berat%)	32.66- 46.96	(B. Liu et al., 2013), (Cardoso et al., 2011), (Chen et al., 2016), (Onorevoli et al., 2018), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
H (berat%)	4.37 - 8.54	(B. Liu et al., 2013), (Cardoso et al., 2011), (Chen et al., 2016), (Onorevoli et al., 2018), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
N (berat%)	0.81 - 6.85	(B. Liu et al., 2013), (Cardoso et al., 2011), (Chen et al., 2016), (Onorevoli et al., 2018), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
O (berat%)[a]	29.08 - 49.96	(B. Liu et al., 2013), (Cardoso et al., 2011), (Chen et al., 2016), (Onorevoli et al., 2018), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
S	0.04 - 0.76	(B. Liu et al., 2013), (Cardoso et al., 2011), (Chen et al., 2016), (Onorevoli et al., 2018), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
Rasio atom H/C	1.89	(Onorevoli et al., 2018)
Rasio atom O/C	0.71	(Onorevoli et al., 2018)
Nilai kalor (MJ/kg)	11.30 - 20.43	(Chen et al., 2016)(Onorevoli et al., 2018), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
Hasil analisis proksimat	**Berat (%)**	**Referensi**

Abu (berat%, keadaan kering)	5.20 - 24.33	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
Kelembaban (berat%, yang diterima)	2.83 - 9.40	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
Volatil (berat%, keadaan kering)	59.75 - 70.20	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
Karbon tetap[a]	6.14 - 17.55	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016), (Yıldız & Ceylan, 2019), (Yang et al., 2012), (Wu et al., 2015)
Analisis struktur	**Berat (%)**	**Referensi**
Lignin	6.51 - 18.63	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016)
Hemiselulosa	5.05 - 11.78	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016)
Pektin	15.21	(Chen et al., 2016)
Minyak	2.82	(B. Liu et al., 2013),
Selulosa	39.01 - 26.43	(B. Liu et al., 2013), (Chen et al., 2016)

Produk pyrolysis bergantung pada parameter proses serta komposisi bahan baku. Parameter proses yang penting diantaranta adalah suhu operasi, laju pemanasan, ukuran partikel, waktu tinggal volatil dan arang, dan keberadaan katalis. Bagian fisik dan kimia yang penting dari bahan baku seperti kandungan volatil, kelembaban, abu juga memengaruhi hasil produk pyrolysis(Hassan et al., 2015).

Pyrolysis

Pyrolysis adalah dekomposisi bahan kimia organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen yang terjadi pada suhu antara 350-750 (Kasim, F, et al, 2015; Cahyono, 2013; Astuti,D.H, et al., 2018; Herliati et al., 2019; Putra, A.E., et al., 2016; Ratnani & Widiyanto, 2018; Syamsudin et al., 2016; Wibowo, 2016; Yusrizal dan Idris, 2016). Pada saat pemanasan material padat akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi gas (Herliati et al., 2019; Nurnasari dan Subiyakto, 2019; Ridhuan et al., 2019).

Proses ini melepas 3 jenis produk, yaitu cair (Bio-oil), padat (arang), dan gas (Cahyono, 2013, Fachrizal, N, et al, 2012; Kasim, F, et al, 2015; Putra, A.E, et al., 2016; Ridhuan et al., 2019; Syamsudin et al., 2016). Jenis gas yang terbentuk dari proses pyrolysis bervariasi yaitu CO, CO_2, H_2, H_2O, dan CH_4 (Cahyono, 2013; Kasim, F, et al, 2015; Chen et al., 2016; B. Liu et al., 2013; Ratnani & Widiyanto, 2018; Syamsudin et al., 2016). Hasil dari pyrolysis memiliki kandungan yang berbeda-beda, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain suhu (Astuti, D.H., et al, 2018; Kasim, F, et al, 2015; Herliati et al., 2019; Mufandi et al., 2019; Fachrizal, N, et al, 2012; Qiram et al., 2015), jenis bahan (Kasim, F, et al, 2015; Astuti, D.H., et al, 2018), jenis reaktor (Herliati et al., 2019), waktu (Astuti D.H,et al, 2018; Herliati et al., 2019;. Fachrizal, N. et al, 2012) dan jenis pyrolysis (Kasim, F, et al, 2015.

Pyrolysis adalah kasus khusus dari thermolysis terkait dengan proses kimia charring dan yang paling sering digunakan yaitu bahan organik. Proses pyrolysis dikategorikan menjadi 4 tipe yaitu pyrolysis lambat atau *slow pyrolysis* (Cahyono, 2013; Astuti,D.H, et al. 2018; Kasim, F, et al, 2015; B. Liu et al., 2013; Mufandi et al., 2019; Syamsudin et al., 2016; Wibowo, 2016; Wibowo dan Hendra, 2015), pyrolysis cepat atau *fast pyrolysis* (Cahyono, 2013; Chumsawat dan Tippayawong, 2020; Astuti, D.H, et al, 2018; B. Liu et al., 2013; Mufandi et al., 2019; Fachrizal, N, et al, 2012; Syamsudin et al., 2016; Wibowo, 2016; Wibowo & Hendra, 2015), pyrolysis Kilat atau *flash pyrolysis* (Fachrizal,N, et al, 2012; Wibowo, 2016; Kasim, F, et al, 2015), pyrolysis katalitik biomassa (Akalina dan Karagöz, 2011; Kim et al., 2020; Ridhuan et al., 2019).

Secara umum metode yang sering digunakan dalam proses dekomposisi biomassa adalah metode slow dan fast pyrolysis, yang menjadi perbedaan diantara keduanya adalah temperature, waktu alir, dan produk yang dihasilkan. Slow pyrolysis memiliki tingkat pemanasan lambat dari 0,1-1°C/detik (Kasim, F, et al, 2015), ada juga yang menyebutkan 5-7 K/menit (Ridhuan et al., 2019). Metode pyrolysis ini menghasilkan sedikit bio-oil dan lebih banyak arang dan gas (Ridhuan et al., 2019; Wijayanti & Sasongko, 2012). Pyrolysis cepat dicapai melalui pemanasan cepat antara 10 sampai 1000°C/detik (Ridhuan et al., 2019; Wijayanti & Sasongko, 2012), waktu tinggal pendek yaitu kurang dari 2 detik (Kasim, F, et al, 2015.; Ridhuan et al., 2019), suhu 400-650 ° C, dan dengan pendinginan yang cepat dari uap (Dickerson, 2013). pendinginan yang cepat sangat penting untuk memperoleh produk dengan berat molekul tinggi sebelum akhirnya terkonversi menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Dengan cara ini dapat dihasilkan produk bio-oil 70 hingga 75 % dari berat awal biomassa (Ridhuan et al., 2019; Wijayanti dan Sasongko, 2012).

Bio-oil adalah cairan berwarna kehitaman hasil dari pyrolysis biomassa (Cahyono, 2013; Ridhuan et al., 2019; Wibowo dan Hendra, 2015)yang memiliki berat molekul tinggi dan mudah menguap pada suhu pyrolysis dan terkondensasi pada suhu ruang (Syamsudin et al., 2016). Kandungan dari bio-oil sendiri bervariasi tergantung dari kandungan biomassa(Astuti, D.H., 2018; Kasim, F, et al, 2015; Herliati et

al., 2019) dan suhu pyrolysis(Chen et al., 2016; F Kasim, F, et al, 2015; Nurnasari & Subiyakto, 2019). Adapun secara umum bio-oil dari biomassa yang komposisi utamanya adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin mengandung senyawa turunan dari fenol, senyawateroksigenasi tinggi (Putra, A.E, et al, 2016; Syamsudin et al., 2016), hidroksialdehida, hidroksiketon, asam karboksilat, senyawa yang mengandung cincin furan/pyran, gula-gula anhidro, senyawa fenolik dan fragmen oligomer dari polimer lignoselulosa (Kasim, F, et al, 2015.; Wibowo & Hendra, 2015).

Adapun kandungan bio-oil dari limbah tembakau sangat bervariasi bergantung dari kandungan, suhu dan motode pyrolysis, dari data Cardoso, et al (2013) dilaporkan bahwa pada pyrolysis daun tembakau murni (tanpa tambahan $ZnCl_2$ dan $MgCl_2$) pada suhu 400^oC senyawa utama yang dihasilkan adalah nikotin, sedangkan senyawa lain yang terdeteksi antara lain heksadekana, dodekana, tridekana, 3,3-dimetilbutana-2-ol dan limonene, sedangkan pada suhu 500^oC dihasilkan senyawa nikotin, asam asetat, heksadekana, senyawa-senyawa hidrokarbon seperti keton, alkohol, aldehid dan senyawa aromatic turunan nikotin antara lain pyrol dan piridin (Cardoso, et al., 2011; Nurnasari dan Subiyakto, 2019)

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, diketahui kandungan bio-oil bergantung pada jenis kandungan biomassa (Mukhtar, P, et al, 2016; Syamsudin et al., 2016). Adapun pengaruh metode pengoperasian pyrolysis dengan cara *fast pyrolysis* dan *slow pyrolysis* berdasarkan penelitian dari Pütün et al. (2007) dan Bridgwater et al. (2007) dijabarkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Fast Pyrolysis dan Slow Pyrolysis

Komponen (%)	Tembakau		Tumbuhan Mallee			
	Fast pyrolysis	Slow pyrolysis	Fast pyrolysis 500 ^oC	Slow pyrolisis 420^oC	Slow pyrolysis 500 ^oC	Slow pyrolysis 600 ^0C
Karbon	66.02	64.94	43,9	28,13	28,00	27,39
Hydrogen	8.50	7.92	7,4	9,38	9,38	9,55
Nitrogen	3.02	2.28	0,07	0,03	-	-
Oksigen	27.76	25.32	48,6	62,5	62,7	63,1
Rasio H/C	1.53	1.47	-	-	-	-
HHV	29,59	28,83	14,4	6,8	6,4	7,1
Referensi	(Pütün et al., 2007)		(Bridgwater et al., 2007)			

Dari data Tabel 2 menunjukkan bahwa pengolahan tembakau menjadi *bio-oil* menggunakan metode *fast pyrolysis* memiliki hasil yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan metode *slow pyrolysis*. Faktor yang mempengaruhi perbedaan hasil produk keduanya disebabkan oleh tingkat pemanasan, temperature, dan waktu alir. Hal ini menunjukkan bahwa konversi limbah tembakau menggunakan metode *fast pyrolysis* adalah yang paling mendekati standar atau memenuhi syarat untuk dijadikan bahan bakar pengganti petroleum. Spesifikasi standart bio oil yang dapat digunakan untuk bahan bakar dijabarkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi *Bio-oil* untuk bahan bakar

Properties	**Spesifikasi**	**Keterangan**
HHV	>70.000 BTU/Gal	Metode DINS 51900
Kandungan air	<25%	ASTM D1744
Viskositas	10-150 cP @ 50°C	ASTM D445
Spesifik gravity	1,2 @ 15 ^{o}C	ASTM D4052
Elemental analisis:	**Range**	**Average**
Karbon	51,5-58,3	54,5
Hydrogen	5,5-6,8	6,4
Nitrogen	0,07-0,40	0,2
Sulfur	< 0,07	0,0005
Debu	0,13-0,21	0,16

Sumber : Dynamotive (2006)

Pyrolysis Tembakau

Reaktor merupakan jantung dari setiap proses pyrolysis. Teknologi reaktor *fast-pyrolysis* diantaranya *fixed-bed* reaktor (Akalina & Karagöz, 2011), *fluidized bed* (Thu et al., 2020, Raymundo et al., 2020), *fluidized bed pilot plants* (Treedet & Suntivarakorn, 2018), reaktor *auger*(Kapoor et al., 2017), *ablative* reaktor (Khuenkaeo & Tippayawong, 2018). Kebanyakan reaktor pyrolysis, bahan baku biomassa perlu diproses menjadi ukuran kecil sekitar 2 mm (Khuenkaeo & Tippayawong, 2018). Pyrolysis *fluidized bed reactor* lebih komplek daripada *fixed bed reactor* (Hassan et al., 2015). Tabel 4 berikut menyajikan data hasil *fast pyrolysis* tembakau.

Hasil data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa hasil *fast-pyrolysis* dari setiap percobaan berbeda-beda tergantung pada perilaku yang diterapkan, pemilihan reaktor serta penggunaan

suhu mempengaruhi hasil fast-pyrolysis yang dilakukan. Dalam Tabel 4 diketahui bahwa berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan penggunaan bahan batang tembakau dengan menggunakan reaktor *fluidized bed reactor* dan suhu 400ºC menghasilkan bio-oil 67% wt dimana bio-oil yang dihasilkan lebih tinggi dari pada penelitian-penelitian lainnya, sehingga dapat digunakan dalam acuan produksi bio-oil dari limbah tembakau (Yan, et al., 2018). Penelitian Xia, et al, 2020 yang juga menggunakan fluidized bed reactor dengan feed stock batang tembakau menghasilkan persentase bio oil yang lebih rendah.

Tabel 4. Hasil Konversi Tembakau Menggunakan Metode *Fast Pyrolysis*

Feed stock	**Suhu ºC %wt**	**Reaktor**	**Bio-oil %wt**	**Bio-char %wt**	**Gas % wt**	**Referensi**
Batang tembakau	400	*Fixed-bed reactor*	48,86	39,74	11,40	(Akalina & Karagöz, 2011)
Limbah tembakaku	500	*Fixed-bed reactor*	35,10	43,90	21,00	(Akalina & Karagöz, 2011)
Tembakau	450	*fixed-bed reactor*	43,00	-	-	Chen et al., 2016)
Benih tembakau	700	*fixed bed reactor (quartz)*	40,90	-	-	Onorevoli et al., 2017)
Batang tembakau	400	*fluidized bed reactor*	67,47	-	-	(Yan et al., 2018)
Daun tembaakau	400	*fluidized bed reactor*	60,95	-	-	(Yan et al., 2018)
Tembakau	600	*Ablative vacuum reactor*	54	18-24		(Chumsawat & Tippayawo
Daun tembakau	450	*fluidized bed reactor*	57,57	-	-	(Xia et al., 2020)
Batang tembakaku	400	*fluidized bed reactor*	64,14	-	-	(Xia et al., 2020)

Pada feedstock yang sama yaitu batang tembakau dan suhu yang sama 400 ^{0}C penggunaan reaktor *fluidized bed reactor* pada penelitian (Xia, et al., 2020) menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan reaktor *Fixed-bed* pada penelitian *(*Akalina & Karagöz, 2011). Penggunaan temperatur yang lebih tinggi yaitu 450 ^{0}C dengan feedstock daun tembakau menghasilkan

persen berat bio oil yang cukup tinggoi yaitu 64% (Xia, et al., 2020).

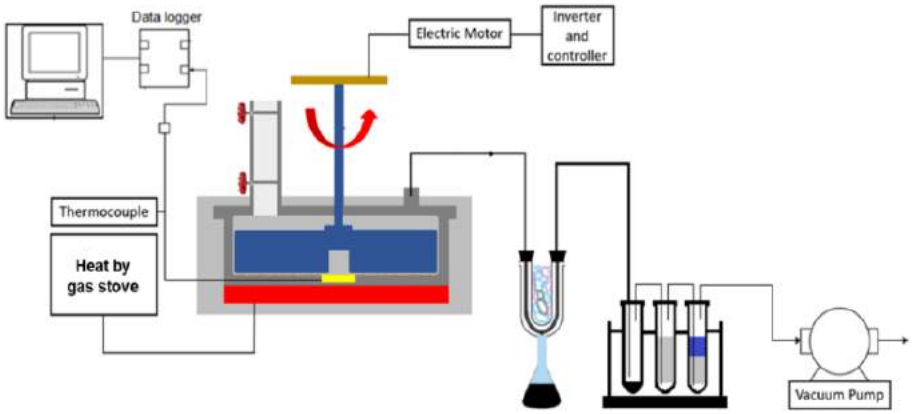
Beberapa contoh skema teknologi *fast-pyrolysis* yang digunakan dalam pembuatan bio-oil limbah tembakau pada penelitian yang telah dilakukan disajikan pada Gambar 1, 2 dan 3.

Reaktor *ablative pyrolisis* seperti pada Gambar 1 didesain untuk mengoptimalkan kinerja pirolisis dan untuk menghasilkan hasil yang tinggi dari minyak nabati. Setiap Jenis reaktor memiliki karakteristik khusus, kapasitas menghasilkan minyak nabati, kelebihan dan keterbatasan. Reactor *ablative pyrolysis* ini dilakukan pada suhu 450-600 ° C dalam skala laboratorium, dipanaskan secara eksternal, reaktor vakum ablatif, ditunjukkan pada Gambar 1. Pirolisis ablatif menawarkan kontrol yang baik pada uap yang dihasilkan dan mampu digunakan untuk biomassa berukuran lebih besar (Khuenkaeo dan Tippayawong, 2018).

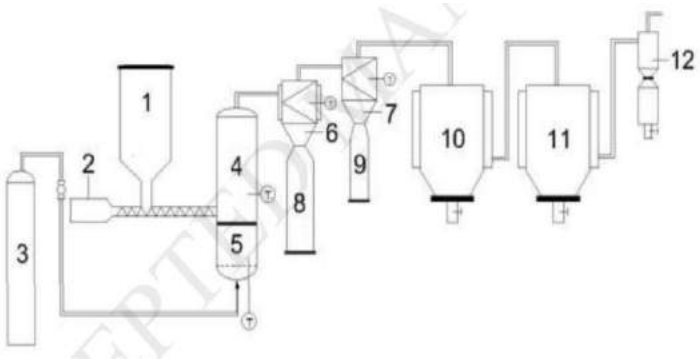
Reaktor jenis lain yaitu reactor fluidized bed sepetti ditunjukkan pada Gambar 2. Yan et al. (2018) dalam penelitiannya menggunakan reactor fluidized bed reactor, dimana biomassa daun tembakau dan batang tembakau dimasukkan dalam reaktor sebanyak 2 kg/jam di bawah suasana nitrogen inert dengan waktu tinggal dalam reaktor sekitar 3-4 detik. Sekitar 50 g *feedstock* dimasukkan ke dalam reaktor *ablative pyrolysis* menggunakan katup umpan yang dipasang di puncak. Reaktor berbentuk panci (diameter dalam 25 cm dan tinggi 4 cm) dipanaskan dengan kompor gas dengan suhu pelat bawah sebesar 50 derajat dikontrol dengan pengontrol dan termokopel tipe-K diukur.

Fast pyrolysis menggunakan *fluidized bed* reactor menggunakan gas nitrogen yang dipanaskan sebelumnya oleh pemanas awal dan laju aliran dikontrol alirannya sebesar 2,8 m^3/jam. Biochar dipisahkan dari produk pirolisis melalui tahapan-tahapan pemisah dua siklon, kemudian gas yang dapat dikondensasikan dan gas yang tidak dapat dikondensasi melewati tiga kondensor, yaitu kondensor dinding, kondensor koil, dan penghancur siklon. Kondensor pertama dan kedua didinginkan dengan air. Biochar, bio-oil, dan non-condensable gas hasil pirolisis dikumpulkan dan diambil sampelnya masing-masing (Yan, et al, 2018).

Pada reactor jenis *fixed bed*, perapian reaktor terbuat dari tabung kuarsa dan itu dipanaskan secara eksternal oleh tungku cincin listrik, yang ditutupi dengan lapisan isolasi di luar. Panjang efektif reaktor adalah 1200 mm dengan diameter dalam 60 mm. Tabung kuarsa dibagi menjadi zona pemanasan dan normal zona suhu 1 dan 2 di sepanjang arah aksial, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Tungku dipanaskan dengan kecepatan 10 ° C / menit sampai suhu akhir yang diinginkan dan dijaga agar tetap konstan. Tipe Termokopel K digunakan untuk mengukur profil suhu di zona pemanas perapian. Filter secara seri digunakan sebagai unit penghilang debu untuk pembersihan bahan bakar gas. Sebuah kondensor seri digunakan sebagai unit pendingin untuk pendinginan bahan bakar gas dan penangkapan tar. Bahan bakar gas dari reaktor memasuki unit pembersihan debu dan unit pendingin secara berurutan (Y. Yang et al., 2019).



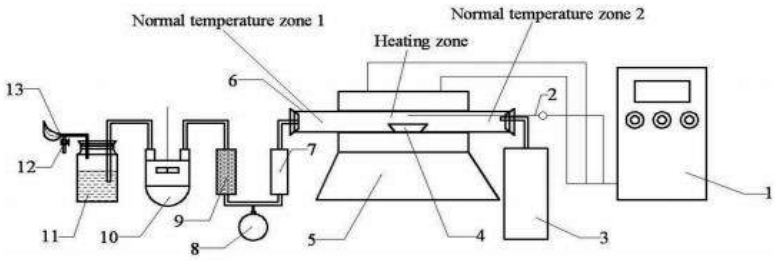
Gambar 1. Diagram Skema *Ablative Pyrolysis* (Chumsawat & Tippayawong, 2020).



Gambar 2. Diagram Skema *Fluidized Bed Pyrolysis*

1: Feeder; 2: feed auger; 3: nitrogen; 4: fluidized bed; 5: preheater; 6, 7: cyclone separators; 8, 9: hoppers;10, 11: condensers; 12: cyclone demisters; T: thermocouples

(Yan et al., 2018).



Gambar 3. Diagram Skema *Fixed-Bed Pyrolysis*

. (1) Temperature controller; (2) thermocouple; (3) nitrogen gas tank; (4) porcelain boat; (5) electric furnace; (6) quartz tube reactor; (7) condenser; (8) tar collector; (9) filter; (10) flowmeter; (11) water-sealed bottle; (12) to gas collector bag; (13) exhaust gas burner
(Y. Yang et al., 2019)

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dapat disimpulkan bio-oil dari limbah tembakau menggunakan metode fast pyrolysis memiliki nilai karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, dan senyawa organik lain serta rasio H/C lebih besar dari pada hasil bio-oil limbah tembakau menggunakan metode low pyrolysis. Dimana bio-oil limbah tembakau menggunakan metode fast pyrolysis memiliki nilai kalor yang tinggi setara dengan distribusi hidrokarbon dari biodiesel, yang berarti memiliki potensi sebagai energi alternatif pengganti petroleum. Potensi sebagai bahan bakar pengganti petroleum juga harus dimbangi dengan produksi yang cepat dan efisien, produksi bio-oil dapat dimaksimalkan dengan pemillihan reactor dan suhu optimum yang digunakan.

Daftar Pustaka

Akalina, M. K., & Karagöz, S. (2011). Pyrolysis of tobacco residue. Part 2: Catalytic. *BioResources*, *6*(2), 1773–1805. https://doi.org/10.15376/biores.6.2.1773-1805

Astuti, D.S, Sani, Yuandana, Y.G, Karlin. (2018). Pyrolysis Study Biochar ' S Characteristic From Tobacco Stem , Papaya Stem and Rice Straw With Pyrolysis Process. *Jurnal Teknik Kimia*, *12*(2), 41–46

B. A. Bohm, "The Minor Flavonoids," in *The Flavonoids: Advances in Research*, J. B. Harborne and T. J. Mabry, Eds. London: Chapman & Hall, 1994.

Barla, F. G., & Kumar, S. (2019). Tobacco biomass as a source of advanced biofuels. *Biofuels*, *10*(3), 335–346. https://doi.org/10.1080/17597269.2016.1242684

Booker, C. J., Bedmutha, R., Scott, I. M., Conn, K., Berruti, F., Briens, C., & Yeung, K. K. C. (2010). Bioenergy II: Characterization of the pesticide properties of tobacco bio-oil. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, *8*. https://doi.org/10.2202/1542-6580.1939

Bridgwater, A. V., Carson, P., & Coulson, M. (2007). A comparison of fast and slow pyrolysis liquids from mallee. *International Journal of Global Energy Issues*, *27*(2), 204–216. https://doi.org/10.1504/IJGEI.2007.013655

Cahyono, M. S. (2013). Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pyrolysis Sampah Organik menjadi Bio-Oil sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Sains &Teknologi Lingkungan*, *5*(2), 67–76. https://doi.org/10.20885/jstl.vol5.iss2.art1

Cardoso, C. R., Miranda, M. R., Santos, K. G., & Ataíde, C. H. (2011). Determination of kinetic parameters and analytical pyrolysis of tobacco waste and sorghum bagasse. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *92*(2), 392–400. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.07.013

Chen, H., Lin, G., Chen, Y., Chen, W., & Yang, H. (2016). Biomass Pyrolytic Polygeneration of Tobacco Waste: Product Characteristics and Nitrogen Transformation. *Energy and Fuels*, *30*(3), 1579–1588. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b02255

Chumsawat, L., & Tippayawong, N. (2020). Utilizing tobacco residues to generate bio-

oil and biochar via ablative pyrolysis. *Chemical Engineering Transactions*, *78*, 49–54. https://doi.org/10.3303/CET2078009

Hassan, M. M., Perves, M., Alam, M. J., Roy, A., & Nabi, M. N. (2015). Design & Construction of a Pyrolysis Reactor for Liquid Oil Production from Olive Seeds. *Proceedings of the International Conference on Mechanical, Industrial and Materials Engineering 2015 (ICMIME2015), December*.

Herliati, H., Prasetyo, S. B., & Verinaldy, Y. (2019). Review: Potensi limbah Plastik dan Biomassa sebagai Sumber Energi Terbarukan Dengan Proses Pyrolysis. *Jurnal Teknologi*, *6*(2), 85–98. https://doi.org/10.31479/jtek.v6i2.13

Kapoor, L., Mekala, A., & Bose, D. (2017). Auger reactor for biomass fast pyrolysis: Design and operation. *International Conference on 21st Century Energy Needs - Materials, Systems and Applications, ICTFCEN 2016*. https://doi.org/10.1109/ICTFCEN.2016.8052749

Kasim, F; Fitrah, A.N; Hambali, E. (2016), Aplikasi Asap Cair pada Lateks. *Jurnal PASTI*, [S.l.], vol. 9, no. 1, April. 2016. ISSN 2598-4853

Khuenkaeo, N., & Tippayawong, N. (2018). Bio-oil Production from Ablative Pyrolysis of Corncob Pellets in a Rotating Blade Reactor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *159*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/159/1/012037

Kim, Y., Shim, J., Choi, J. W., Jin Suh, D., Park, Y. K., Lee, U., Choi, J., & Ha, J. M. (2020). Continuous-flow production of petroleum-replacing fuels from highly viscous Kraft lignin pyrolysis oil using its hydrocracked oil as a solvent. *Energy Conversion and Management*, *213*(December 2019), 112728. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112728

K. T. Sutar and P. U. Singare, "Study of Antioxidant Activity of Hindered Phenols in Bulk Oil and Thin Film Oxidation Conditions in Lubricants," *Rasayan J. Chem*, vol. 11, no. 2, pp. 465-474, 2018.

Lin Yan. (2016) Agricultural Research Service U.S. Department Of Agriculture. [Online]. https://www.ars.usda.gov/plains-area/gfnd/gfhnrc/docs/new

Liu, B., Li, Y. M., Wu, S. Bin, Li, Y. H., Deng, S. S., & Xia, Z. L. (2013). Pyrolysis characteristic of tobacco stem studied by Py- GC/MS, TG-FTIR, and TG-MS. *BioResources*, *8*(1), 220–230. https://doi.org/10.15376/biores.8.1.220-230

Liu, Y., Dong, J., Liu, G., Yang, H., Liu, W., Wang, L., Kong, C., Zheng, D., Yang, J., Deng, L., & Wang, S. (2015). Co-digestion of tobacco waste with different agricultural biomass feedstocks and the inhibition of tobacco viruses by anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, *189*, 210–216. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.003

Mufandi, I., Treedet, W., Singbua, P., & Suntivarakorn, R. (2019). Produksi Bio-Oil dari Rumput Gajah dengan Fast Pyrolysis menggunakan Circulating Fluidized Bed Reactor (CFBr) dengan Kapasitas 45 Kg/H. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, *5*(2), 37. https://doi.org/10.26555/chemica.v5i2.12484

N. Fachrizal, R. Mustafa, M. P. (2012). *Proses Pyrolysis Biomasa Gelombang Mikro*. 153–160.

Nurnasari, E., & Subiyakto, S. (2019). Diversifikasi Produk Tembakau Non Rokok Diversification of Non-Cigarette Tobacco Products. *Perspektif*, *17*(1), 40. https://doi.org/10.21082/psp.v17n1.2018.40-51

Onorevoli, B., da Silva Maciel, G. P., Machado, M. E., Corbelini, V., Caramão, E. B., & Jacques, R. A. (2018). Characterization of feedstock and biochar from energetic tobacco seed waste pyrolysis and potential application of biochar as an adsorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *6*(1), 1279–1287. https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.039

Onorevoli, B., Machado, M. E., Polidoro, A. D. S., Corbelini, V. A., Caramão, E. B., & Jacques, R. A. (2017). Pyrolysis of Residual Tobacco Seeds: Characterization of Nitrogen Compounds in Bio-oil Using Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography with Mass Spectrometry Detection. *Energy and Fuels*, *31*(9), 9402–9407. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b00405

Putra, A. E., Rahman, M., & Aminy, A. (2018). Produksi Bahan Bakar Ramah Lingkungan Melalui Proses Pirolisis Limbah Ban. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, *20*(2), pp. 26-31. 1. http://cot.unhas.ac.id/journals/index.php/jpe/article/view/17Pütün, A. E., Önal, E., Uzun, B. B., & Özbay, N. (2007). Comparison between the "slow" and "fast" pyrolysis of tobacco residue. *Industrial Crops and Products*, *26*(3), 307–314. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.03.011

Qiram, I., Widhiyanuriyawan, D., & Wijayanti, W. (2015). Energi Yang Dihasilkan Pyrolysis Serbuk Kayu Mahoni (Switenia Macrophylla) Pada Rotary Kiln. Jl . MT . Haryono 167 , Malang 65145 , Indonesia ABSTRACT Pirolysis is thermochemical decomposition process of biomass into useful product . A method that ca. 8.

Syamsudin, S., Purwati, S., Surachman, A., & Wattimena, R. B. I. (2016). Pyrolysis Isotermal Sludge Cake Dan Pulp Reject Pabrik Pulp Kraft (*Isothermal Pyrolysis Of Sludge Cake And Pulp Reject From Kraft Pulp Mill*). *Jurnal Selulosa*, *6*(02), 71–82. https://doi.org/10.25269/jsel.v6i02.90

Thu, K., Reungpeerakul, T., & Sangwichien, C. (2020). Simulation of Reaction Kinetics and Heat Transfer Effects on Product Yields from Fast Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunch Biomass in Fluidized Bed Reactor. *Bioenergy Research*. https://doi.org/10.1007/s12155-020-10148-1

Treedet, W., & Suntivarakorn, R. (2018). Design and operation of a low cost bio-oil fast pyrolysis from sugarcane bagasse on circulating fluidized bed reactor in a pilot plant. *Fuel Processing Technology*, *179*(October), 17–31. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.06.006

Wibowo, S. (2016). Karakteristik Bio-Oil Dari Limbah Industri Hasil Hutan Menggunakan Pyrolysis Cepat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, *34*(1), 61–67. https://doi.org/10.20886/jphh.2016.34.1.61-76

Wibowo, S. (2020). *Karakte Ristik Bio-Oil Dari Limbah Industri Hasil Hutan Me Nggunakan Pyrolysis Ce Pat (Characteristics of Bio-oil Made of Forest Products Waste by Fast Pyrolysis*. *34*(1),

Rahman, A. (n.d.). *Uji Parameter Temperatur Dan Tekanan Vakum*. 1–5.

Ratnani, R. D., & Widiyanto. (2018). A Review of Pyrolisis of Eceng Gondok (Water hyacinth) for Liquid Smoke. *E3S Web of Conferences*, *73*, 2–6. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187305010

Raymundo, L. M., Espindola, J. S., Borges, F. C., Lazzari, E., Trierweiler, J. O., & Trierweiler, L. F. (2020). Continuous fast pyrolysis of rice husk in a fluidized bed reactor with high feed rates. *Chemical Engineering Communications*, *0*(0), 1–11. https://doi.org/10.1080/00986445.2020.1798937

Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pyrolysis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, *8*(1), 69–78. https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.924

Robinson T., *The Organic Constituents of Higher Plants 6th Ed*. North Amherst, MA: Cordus Press, 2010.

Siti Mariam Abdul Lathiff, Noraini Jemaon, Siti Awanis Abdullah, and Shajarahtunnur Jamil, "Flavonoids from Artocarpus anisophyllus and their Bioactivities," *Natural Product Communications*, vol. 10, no. 3, pp. 393-396, 2015.

61–76.

Wibowo, S., & Hendra, D. (2015). Karakteristik Bio-Oil Dari Rumput Gelagah (Saccharum spontaneum Linn.) Menggunakan Proses Pyrolysis Cepat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, *33*(4), 347–363. ttps://doi.org/10.20886/jphh.v33i4.935.347-363

Wijayanti, W., & Sasongko, M. (2012). Reduksi Volume Dan Pengarangan Kotoran Sapi Dengan Metode Pyrolysis. *Rekayasa Mesin*, *3*(3), 4040–4410.

Wu, W., Mei, Y., Zhang, L., Liu, R., & Cai, J. (2015). Kinetics and reaction chemistry of pyrolysis and combustion of tobacco waste. *Fuel*, *156*, 71–80. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.04.016

Xia, Q., Yan, B., Wang, H., Xu, J., Zhang, S., Zhou, G., Hu, A., Jiang, J., Xu, S., Wang, J., & Chen, W. (2020). Production of bio-oils enriched with aroma compounds from tobacco waste fast pyrolysis in a fluidized bed reactor. *Biomass Conversion and Biorefinery*. https://doi.org/10.1007/s13399-019-00578-z

Yan, B., Zhang, S., Chen, W., & Cai, Q. (2018). Pyrolysis of tobacco wastes for bio-oil with aroma compounds. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 248–254. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.09.016

Yang, Y., Chen, X., Wang, D., Cheng, G., & Lv, D. (2019). TGA analysis of tobacco rob pyrolysis and release characteristics of noncondensable gas in a fixed-bed reactor. *International Journal of Green Energy*, *16*(5), 378–385. https://doi.org/10.1080/15435075.2019.1572608

Yang, Z., Zhang, S., Liu, L., Li, X., Chen, H., Yang, H., & Wang, X. (2012). Combustion behaviours of tobacco stem in a thermogravimetric analyser and a pilot-scale fluidized bed reactor. *Bioresource Technology*, *110*, 595–602. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.119

Yıldız, Z., & Ceylan, S. (2019). Pyrolysis of tobacco factory waste biomass. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *2019*(136), 783–794. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10973-018-7630-z

Yusrizal, & Idris, M. (2016). Memproduksi Bahan Bakar Gas. *Jurnal Inotera*, *1*(1), 57–63.

TATA KELOLA ENERGI TERBARUKAN DI SEKTOR KETENAGLISTRIKAN DALAM KERANGKA PEMBANGUNAN HUKUM NASIONAL

(RENEWABLE ENERGY GOVERNANCE IN THE ELECTRICITY SECTOR IN THE NATIONAL LAW DEVELOPMENT FRAME WORK)

Oleh: Nunuk Febriananingsih
Pusat Analisa dan Evaluasi Hukum Nasional
Badan Pembinaan Hukum Nasional, Kementerian Hukum dan HAM RI
Email: febrianasdalh1@gmail.com

ABSTRAK

Listrik merupakan sumber daya energi yang strategis dan sangat penting bagi hajat hidup rakyat banyak. Pemerintah sudah berusaha untuk membebaskan Indonesia dari krisis energi listrik dan berupaya mencari alternatif penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT). Pemerintah telah berkomitmen bahwa EBT akan terus dikembangkan untuk menjamin ketahanan energi di Indonesia serta memenuhi permintaan listrik yang kian bertambah. Pemerintah menetapkan target 23% porsi energi bersih dalam bauran energi nasional di tahun 2025 dan 31% pada tahun 2030 melalui Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Pemerintah telah menerbitkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik (selanjutnya disebut Permen ESDM 50/2017) sebagaimana diubah Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya mineral Nomor 53 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik (Permen ESDM 53/2018) yang masih mengalami kendala dalam implementasinya. Beberapa persoalan tersebut diantaranya adalah bagaimana tata kelola EBT di Indonesia, faktor penyebab pertumbuhan pengelolaan EBT yang belum optimal, kebijakan peraturan perundang-undangan terkait EBT di sektor ketenagalistrikan yang perlu dievaluasi. Kajian ini menggunakanpendekatan deskriptif analitis dengan menggunakan metode yuridis normatif yaitu menganalisas norma hukum yang terdapat dalam peraturan perundang-undangan dan implementasinya di lapangan. Hasil penelitian didapatkan bahwa saat ini perkembangan EBT di Indonesia masih menghadapi banyak tantangan yang tercermin dari lambatnya pertumbuhan kontribusi EBT terhadap pasokan energi nasional. Faktor lambannya pertumbuhan EBT disebabkan beberapa hal antara lain Permen 50/2017 mengalami banyak kendala dalam implementasinya, baik dari sisi pembiayaan, kepastian hukum, teknologi dan keadilan.

Kata Kunci: Ketenagalistrikan, Energi Baru Terbarukan, EBT, *BOOT*.

ABSTRACT

Electricity is a strategic energy for many people. The government has been tried to Indonesia's freedom from crisis of electricity and looking for alternative of renewable energy. The government has committed that EBT will be developed to ensure energy security in Indonesia.

The government has set a target of 23% for energy mix in 2025 and 31% stated on National Energy Policy (KEN) and General Plan of National Energy. Indonesia has Ministry of ESDM Regulation Number 50 Year 2017 on Utilization of Renewable Energy Sources for Electric Powe Supply (hereinafter reffered to as Permen 50/2017) as amended by Regulation of the Minister of Energy and Mineral Resources Number 53 Year 2018 concerning Amendment to the Regulation of the Minister of Energy and Mineral Resources Number 50 Year 2017 concerning Utilization of Renewable Energy Resources for Electric Power Supply (hereinafter reffered to as Permen 53/2018) which is still experiencing abstacles in its implementation. Some of these problems include how about renewable energy management in Indonesia, causative factor the growth of EBT management that has not been optimal, regulatory policies related to EBT in the electricity sector that need to be evaluated and future steps in order to realize legal development in the EBT sector according to the target of RUEN. This study using descriptive analytical approach with using juridical normative method, analyzing of legal norm in regulatin and its implementation. The result of study showing that EBT implementation in Indonesia facing many challenges. The slowgoing factor of EBT growth is due to several thing, among others, that Minister Regulation Number 50 Year 2017 facing many obstacles in its implementation, both in term of financing, legal certeanty, technology and justice.

Keywords: *Electricity, Renewable Energy, EBT, BOOT.*

A. Pendahuluan

Bangsa Indonesia saat ini sudah menapaki kaki tahun ketiga pembangunan jangka panjang. Apakah kita akan berhasil menuju visi Bangsa 20 tahun yaitu Indonesia yang mandiri, maju, adil dan makmur? Visi ini mengarah pada pencapaian tujuan nasional, seperti tertuang dalam Pembukaan UUD, dan harus dapat diukur untuk dapat mengetahui tingkat kemandirian, kemajuan, keadilan dan kemakmuran yang kita capai. Untuk mencapai visi tersebut pembangunan hukum diarahkan untuk mendukung terwujudnya Sistem Hukum Nasional yang mantap bersumber pada Pancasila dan Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia 1945, yang mencakup pembangunan materi hukum, struktur hukum, dan budaya hukum termasuk pembangunan hukum sektor energi.[1] Sektor energi merupakan salah satu agenda prioritas dalam RPJMN 2015-2019. Agenda ini masuk dalam agenda Nawacita yang ke-7 dalam rangka mewujudkan kemandirian ekonomi dengan menggerakkan sektor-sektor strategis ekonomi domestik. Pasal 33 ayat (2) UUDNRI Tahun 1945 menyatakan bahwa "Cabang-cabang produksi yang penting bagi

[1] Badan Pembangunan Hukum Nasional, Dokumen Pembangunan Hukum Nasional Tahun 2016, BPHN, Jakarta, 2016, hlm. 17

Negara dan yang menguasai hajat hidup orang banyak dikuasai oleh Negara". Dari sinilah pijakan dari makna kedaulatan energi harus dibangun. Agenda pembangunan bidang dalam Buku II Lampiran RPJMN 2015-2019 juga mengusung isu strategis yang selaras yaitu bidang pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan hidup. Khusus yang menyangkut isu sektor energi adalah: (1) penguatan pasokan, bauran dan efisiensi konsumsi energi.[2]

Energi merupakan sektor penting bagi pembangunan Indonesia. Tidak hanya dalam soal pemasukan kepada Devisa Negara, tetapi juga menentukan dalam perkembangan kemajuan peradaban bangsa Indonesia. Energi merupakan sumber daya alam penting dan strategis yang menguasai hajat hidup orang banyak sehingga menjadi kewenangan Negara untuk menguasainya dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat sesuai dengan Pasal 33 Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945.[3]

Tata kelola energi meliputi penyediaan, pemanfaatan dan pengusahaan harus dilakukan secara berkelanjutan. Dalam mengelola sektor energi untuk jangka panjang perlu dilakukan perencanaan yang terintegrasi pada pengembangan sumber daya energi agar dapat menjamin ketersediaan energi jangka panjang. Indonesia adalah Negara yang memiliki keanekaragaman sumber daya alam yang berlimpah, termasuk sumber daya energi. Peranan Indonesia di bidang energi sangat besar, misalnya Indonesia adalah salah satu eksportir batubara dan LNG *(Liquified Naturan Gas)* terbesar di dunia. Kekayaan tersebut sebenarnya merupakan modal untuk menjadi Negara besar. Namun demikian, sampai saat ini permintaan energi di Indonesia masih didominasi oleh energi yang tidak terbarukan yaitu *(unrenewable energy)* yaitu energi fosil**.** Pada tahun 2013, energi fosil menyumbang 94.3% dari total keseluruhan kebutuhan energi, sementara sisanya yaitu 5,7% dipenuhi dari Energi Baru dan Terbarukan (selanjutnya disbut EBT).[4]

---

2 Ibid., hlm. 259-261

3 Badan Pembinaan Hukum Nasional, Analisis dan Evaluasi Hukum Dalam Rangka Kedaulatan Energi, Laporan Akhir Tim Pokja, Jakarta, 2016, hlm. 1.

4 Muhammad AS Hikam: *Ketahanan Energi Indonesia 2015-2025 Tantangan dan Harapan* (Jakarta: CV. Rumah Buku, 2014), hlm. 8.

Pasokan energi diproyeksikan akan tumbuh rata-rata sebesar 5,2% per tahun pada kurun waktu 2012-2025. Bauran energi pada tahun 2012 didominasi oleh minyak bumi (39%), diikuti batubara (22%), dan gas bumi (17%). Mengingat cadangan energi fosil Indonesia terbatas jika dibandingkan dengan cadangan dunia, dimana minyak hanya 0,20%, gas 1,60% dan batubara 1,10% maka peranan minyak dan gas diperkirakan akan menurun dan digantikan oleh peningkatan pasokan batubara dan energi baru terbarukan (EBT) sehingga dirasa perlu segera mengoptimalkan pemanfaatan sumber EBT.[5]

Indonesia memiliki 6 (enam) sumber daya EBT, yakni energi air, surya, angin, arus laut, bio energi dan panas bumi. Potensi Indonesia untuk mengolah atau memanfaatkan sumber EBT tersebut sangatlah mungkin sebab potensi EBT cukup besar. Akan tetapi hingga saat ini pemanfaatannya masih sangat kecil dan belum maksimal dimanfaatkan. Menyadari hal tersebut pemerintah Indonesia perlahan mulai merubah paradigma terhadap EBT dengan cara tidak lagi memandang bahwa EBT ini merupakan energi alternatif melainkan memandang EBT sebagai energi yang penting. Secara nyata, hal ini terlihat dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) pemerintah, dimana dalam RUEN ini pemerintah telah menargetkan EBT dari 11,9% menjadi 23% hingga tahun 2025, dan diharapkan pada tahun 2020 sudah mencapai 17-18%. Untuk mencapai hal ini tidaklah mudah, perlu disusun strategi dalam pengelolaan energi, diantaranya melalui pembangunan pembangkit listrik dengan EBT, salah satunya adalah pembangkit listrik tanaga bayu (PLTB) yang di bangun di Sidrap Sulawesi Selatan, yang diresmikan Presiden Jokowi pada tanggal 2 Juni 2018. Dengan memiliki 30 (tigapuluh) *wind turbin generator* (WTG) atau kincir angin, PLTB Sidrap akan menghasilkan listrik sebesar 75 Mega Watt (MW) dan diproyeksikan akan mampu mengaliri listrik kepada 70.000 pelanggan di wilayah Sulawesi Selatan. PLTB Sidrap merupakan pembangkit tenaga bayu pertama dan terbesar di Indonesia

[5] Agus Sugiyono, Permasalahan dan Kebijakan Energi Saat Ini, dalam Prosiding Peluncuran Buku Outlook Energi Indonesia 2014 & Seminar Bersama BPPT dan BKK-PII, Jakarta, Tahun 2015, hlm. 10

yang memanfaatkan lahan kurang lebih 100 hektar.[6]

Dalam perkembangannya, berbagai masalah dalam menjaga keberlanjutan pasokan energi dalam memenuhi kebutuhan energi untuk jangka panjang bisa saja terjadi. Dalam pembangunan berkelanjutan *(Sustainable Development Goals)* memasukkan energi agar seluruh negara dapat memastikan bahwa akses energi haruslah terjangkau, andal, modern dan berkelanjutan bagi semua pihak sebab energi berperan sebagai faktor penting dalam pembangunan berkelanjutan. Saat ini perkembangan EBT di Indonesia masih menghadapi banyak tantangan yang tercermin dari lambatnya pertumbuhan kontribusi EBT terhadap pasokan energi nasional, bahkan pada tahun 2014 hingga 2016 saja hanya bergeser dari 6% hingga 7%. Faktor lambannya pertumbuhan EBT disebabkan beberapa hal antara lain tantangan pembiayaan, tantangan teknologi dan tantangan dari sisi kebijakan pemerintah dalam rangka tata kelola EBT yang seringkali efektivitas peraturannya menimbulkan berbagai persoalan.[7]

Berdasarkan latar belakang diatas, dalam artikel ini penulis akan membahas terkait 3 (tiga) hal yaitu: Bagaimana kebijakan tata kelola EBT di Indonesia? Faktor-faktor yang menyebabkan pertumbuhan pengelolaan EBT sektor ketenagalistrikan belum optimal? Dan terkahirBagaimana evaluasi kebijakan peraturan perundang-undangan terkait EBT di sektor ketenagalistrikan?

B. Metode Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan diatas, kajian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan yuridis normatif. Penelitian normatif adalah penelitian yang dilakukan dengan cara meneliti bahan pustaka atau data sekunder. Pemikiran normatif didasarkan pada penelitian yang mencakup (1) asas-asas hukum, (2) sistematik hukum, (3) taraf sinkronisasi vertikal dan horisontal, (4) perbandingan hukum, (5) sejarah hukum.[8]

---

6 https://ekonomi.kompas.com/read/2018/01/16/090100826/melihat-pltb-sidrap-pembangkit-tenaga-angin-pertama-di-indonesia, diakses pada tanggal 20 september 2019

7 https://ekonomi.kompas.com/read/2017/11/17/083000026/bappenas--perkembangan-energi-terbarukan-hadapi-banyak-tantangan

8 Soerjono Soekanto dan Sri Mamudji, *Peranan dan Penggunaan Perpustakaan di Dalam Penelitian Hukum*, Jakarta: Pusat Dokumentasi Hukum Fakultas Hukum Universitas Indonesia, 1979, hlm. 15.

Penulis juga melakukan analisis terhadap beberapa peraturan perundang-undangan terkait sektor ketenagalistrikan dan menganalisisnya dikaitkan dengan implementasinya di lapangan.

C. Pembahasan

1. Kebijakan Tata Kelola EBT di Indonesia

Sumber daya energi sebagai kekayaan alam merupakan anugerah Tuhan Yang Maha Esa kepada rakyat dan bangsa Indonesia. Selain itu, sumber daya energi merupakan sumber daya alam yang strategis dan sangat penting bagi hajat hidup rakyat banyak terutama dalam peningkatan kegiatan ekonomi, kesempatan kerja, dan ketahanan nasional, oleh karenanya maka sumber daya energi harus dikuasai Negara dan dipergunakan bagi sebesar-besarnya kemakmuran rakyat sebagaimana diamanatkan dalam Pasal 33 Undang-undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945. Mengingat arti penting sumber daya energi, Pemerintah perlu menyusun rencana pengelolaan energi untuk memenuhi kebutuhan energi nasional yang berdasarkan kebijakan pengelolaan energi jangka panjang. Oleh karena itu pada tanggal 10 Agustus 2007 pemerintah mengeluarkan Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi (selanjutnya disebut UU Energi).[9]

Pengaturan masalah EBT diatur dalam Pasal 4 ayat (2) dan (3) UU Energi dimana dikatakan bahwa:

Pasal 4 Ayat (2) "Sumber daya energi baru dan sumber daya energi terbarukan diatur oleh Negara dan dimanfaatkan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat";

Pasal 4 Ayat (3) "Penguasaan dan pengaturan sumber daya energi oleh Negara diselenggarakan oleh Pemerintah sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan".

Makna "dikuasai oleh Negara" dalam Pasal 4 Ayat (2) dan (3) tersebut diatas akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

UU Energi mengamanatkan pemerintah untuk menyusun Kebijakan Energi Nasional (KEN). KEN adalah kebijakan pengelolaan energi yang berdasarkan prinsip keadilan,

[9] Indonesia, Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang energi, diundangkan di Jakarta pada tanggal 10 Agustus 2007, LNRI Tahun 2007 Nomor 96, TLNRI Nomor 4746, penjelasan umum.

berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan guna terciptanya kemandirian energi dan ketahanan energi nasional. Oleh karena itu pada tanggal 17 Oktober 2014, pemerintah mengeluarkan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijkaan Energi Nasional (selanjutnya disebut PP 79/2014). Dasar penerbitan PP ini adalah Pasal 11 ayat (2) UU Energi. KEN ini merupakan pedoman untuk memberi arah pengelolaan energi nasional guna mewujudkan kemandirian energi dan ketahanan energi nasional untuk mendukung pembangunan nasional berkelanjutan.

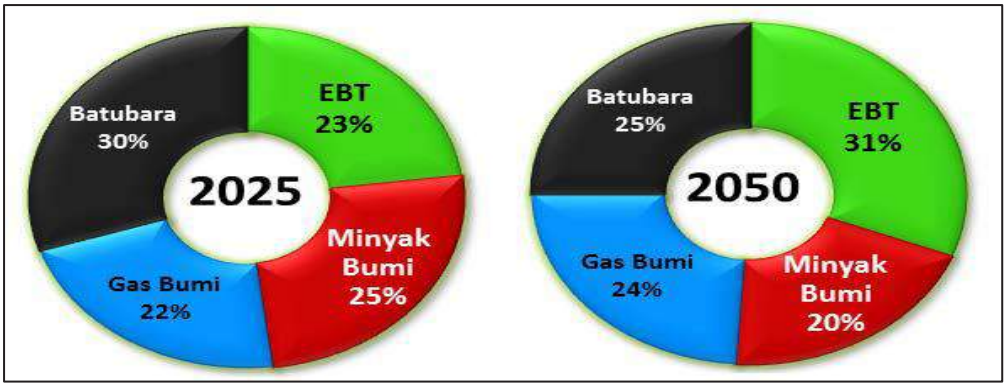
Kebijakan energi nasional terdiri dari kebijakan utama dan kebijakan pendukung yang dilaksanakan untuk periode tahun 2014 sampai dengan 2050. Kebijakan utama meliputi ketersediaan energi untuk kebutuhan nasional, prioritas pengembangan energi, pemanfaatan sumber daya energi nasional, dan cadangan energi nasional. Sedangkan untuk kebijakan pendukung meliputi konservasi energi, konservasi sumber daya energi dan diversifikasi energi; lingkungan hidup dan keselamatan; harga, subsidi dan insentif energi; infrastruktur dan akses untuk masyarakat terhadap energi dan industri; penelitian, pengembangan, dan penerapan teknologi energi; dan kelembagaan dan pendanaan.[10]

Sasaran penyediaan energi primer, kapasitas pembangkit, dan pemanfaatan listrik pada tahun 2025 dan 2050 ditunjukkan dalam Table 1, sedangkan target bauran energi primer yang optimal ditunjukkan pada gambar 1 sebagai berikut:[11]

Tabel 1. Sasaran penyediaan dan pemanfaatan energi

	Satuan	2025	2050
Energi Primer	MTOE	400	1.000
Energi Primer per Kapita	TOE	1,4	3,2
Kapasitas Pembangkit Listrik	GW	115	430
Listrik per Kapita	kWh	2.500	7.000

[10] Ibid., Pasal 3
[11] Agus Sugiyono, Op., Cit, hlm. 13.



Gambar 1. Sasaran Bauran Energi Nasional

Kebijakan peningkatan peran EBT dalam bauran energi nasional seperti yang digambarkan pada gambar 1 bukan tanpa alasan yang kuat. Sebagaimana telah disinggung diatas bahwa Indonesia kaya akan sumber EBT, seperti air terjun, panas bumi, sinar matahari, angin, dan arus laut meskipun sampai saat ini belum termanfaatkan dengan maksimal. Pemanfaatan EBT memang lebih cocok untuk pembangkit tenaga listrik. Sayangnya pembangkit listrik Indonesia masih lebih banyak mengandalkan energi fosil. Rendahnya pemanfaatan dan pengembangan EBT pada pembangkit listrik terjadi karena berbagai permasalahan, antara lain: (a) belum maksimalnya pelaksanaan kebijakan harga, (b) ketidakjelasan subsidi EBT pada sisi pembeli *(off-taker),* (c) regulasi yang belum dapat menarik investasi, (d) belum adanya insentif pemanfaatan EBT, (e) minimnya ketersediaan instrumen pembiayaan yang sesuai dengan kebutuhan investasi, (f) proses perizinan yang rumit dan memakan waktu yang lama, dan (g) permasalahan lahan dan tata ruang.

Selanjutnya, secara lebih teknis KEN menurunkan Rencana Umum Energi Nasional (selanjutnya disebut RUEN) dan Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (selanjutnya disebut RUKN) serta diturunkan lagi yang lebih rinci dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (selanjutnya disebut RUPTL). RUEN merupakan kebijakan Pemerintah Pusat mengenai rencana pengelolaan energi tingkat nasional yang menjadi penjabaran dan rencana

pelaksanaan Kebijakan Energi Nasional yang bersifat lintas sektor untuk mencapai sasaran Kebijakan Energi Nasional. RUEN ditetapkan dalam Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 (selanjutnya disebut Perpres RUEN) yang ditandatangani Presiden Penetapan RUEN ini merupakan pelaksanaan pasal 12 ayat 2 dan pasal 17 ayat 1 Undang-Undang Energi. Pasal 12 ayat 2 tersebut mengamanatkan Dewan Energi Nasional bertugas : (a) merancang dan merumuskan kebijakan energi nasional untuk ditetapkan oleh Pemerintah dengan persetujuan DPR, (b) menetapkan rencana umum energi nasional, (c) menetapkan langkah-langkah penanggulangan kondisi krisis dan darurat energi, serta (d) mengawasi pelaksanaan kebijakan di bidang energi yang bersifat lintas sektoral.

Dalam lampiran 1 Perpres RUEN dikatakan bahwa arah kebijakan energi ke depan berpedoman pada paradigma bahwa sumber daya energi tidak lagi dijadikan sebagai komoditas ekspor semata, tetapi sebagai modal pembangunan nasional. Tujuannya untuk : (a) mewujudkan kemandirian pengelolaan energi, (b) menjamin ketersediaan energi dan terpenuhinya kebutuhan sumber energi dalam negeri, (c) mengoptimalkan pengelolaan sumber daya energi secara terpadu dan berkelanjutan, (d) meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi, (e) menjamin akses yang adil dan merata terhadap energi, pengembangan kemampuan teknologi, industri energi dan jasa energi dalam negeri, (f) menciptakan lapangan kerja dan terkendalinya dampak perubahan iklim dan terjaganya fungsi lingkungan hidup.

RUEN diturunkan pada aturan yang lebih rinci dalam RUKL. RUKL merupakan kebijakan umum di bidang ketenagalistrikan yang terpadu mencakup antara lain, perkiraan kebutuhan dan penyediaan tenaga listrik, kebijakan investasi dan pendanaan, kebijakan pemanfaatan sumber energi primer serta energi baru terbarukan untuk pembangkit tenaga listrik. RUKN ditetapkan sebagai acuan dalam pembangunan dan pengembangan sektor ketenagalistrik-an di masa yang akan datang bagi Pemerintah, Pemerintah Daeerah,

Pemegang Kuasa Usaha Ketenagalistrikan (PKUK) dan Pemegang Izin Usaha Ketenagalistrikan untuk Kepentingan Umum (PIUKU). Peranan RUKN akan semakin penting dengan adanya perubahan lingkungan strategis baik dalam lingkup lokal, nasional, regional maupun global. Disamping itu partisipasi swasta pada sektor ketenagalistrikan diharapkan semakin meningkat, sehingga RUKN ini dapat memperjelas dan membakukan penentuan proyek yang akan dilaksanakan oleh PKUK maupun yang akan dikerjasamakan dengan pihak lain. Hal ini sebagaimana diatur dalam keputusan Menteri ESDM Nomor 2682 K/21/MEM/2008 tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional. RUKN diturunkan lagi yang lebih rinci pada RUPTL. Salah satu kebijakan dalam RUPTL 2018-2027 adalah pemerintah menurunkan total rencana pembangunan pembangkit dari 78.000 megawatt jadi 56.024 megawatt. Hal ini merupakan angka realistis menurut pemerintah.

2. Faktor-Faktor Penyebab Pertumbuhan Pengelolaan EBT di Sektor Ketenagalistrikan Belum Optimal

Pemerintah telah berkomitmen bahwa EBT akan terus dikembangkan untuk menjamin ketahanan energi di Indonesia serta memenuhi permintaan listrik yang kian bertambah. Bahkan Pemerintah Indonesia menetapkan target yang lumayan tinggi yaitu 23% porsi energi bersih dalam bauran energi nasional di tahun 2025 dan 31% pada tahun 2030 melalui Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Untuk mencapai target tersebut, diperlukan tata kelola sektor EBT yang diwujudkan dengan penerapan kebijakan dan penataan regulasi yang tepat serta partisipasi dari semua pihak, baik pemerintah, swasta, maupun masyarakat.

Sebagaimana telah diuraikan pada sub bab sebelumnya bahwa sumber daya energi merupakan kekayaan alam yang tunduk kepada ketentuan Pasal 33 UUD NRI Tahun 1945. Pengaturan masalah EBT diatur dalam Pasal 4 UU Energi. Makna dikuasai dan diatur oleh Negara masih menimbulkan polemik dan multitafsir dalam implementasi-nya. Sebab rezim "dikuasi oleh Negara" dan "diatur oleh Negara" akan

menentukan bentuk pengelolaan sumber EBT. Sebenarnya terkait konsep hak menguasai Negara ini sudah diputuskan oleh Mahkamah Konstitusi melalui Putusan Nomor 36/PUU-X/2012 tentang Pengujian Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi. Secara garis besar Mahkamah Konstitusi menyatakan bahwa Pasal 33 ayat (2) dan ayat (3) tentang pengertian "dikuasai oleh Negara" haruslah diartikan mencakup makna penguasaan oleh Negara dalam arti luas yang bersumber dan diturunkan dari konsepsi kedaulatan rakyat Indonesia atas sumber kekayaan "bumi, air dan kekayaan alam yang terkandung didalamnya" termasuk pula didalamnya pengertian kepemilikan publik oleh kolektivitas rakyat atas sumber-sumber kekayaan dimaksud. Rakyat secara kolektif itu dikonstruksikan oleh UUD 1945 memberikan mandat kepada Negara untuk mengadakan kebijakan *(beleid)* dan tindakan pengurusan *(bestuurdaad),* pengaturan *(regelendaad),* pengelolaan *(behersdaad),* dan pengawasan *(toezichthoudensdaad)* untuk tujuan sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Selanjutnya menurut Mahkamah Konstitusi cabang-cabang produksi yang harus dikuasai oleh Negara adalah jika: "(i) cabang-cabang produksi itu penting bagi negara dan menguasai hajat hidup orang banyak; atau (ii) penting bagi Negara tetapi tidak menguasai hajat hidup orang banyak; atau (iii) tidak penting bagi Negara tetapi menguasai hajat hidup orang banyak". Lima ketentuan tersebut merupakan satu kesatuan.

Beberapa pendapat terkait makna "dikuasai negara" antara lain dikemukakan oleh Mailinda Eka Yuniza[12]. Menurutnya penafsiran makna "dikuasai oleh Negara" itu memiliki 3 (tiga) tingkatan, yaitu (1) tingkat I Negara melakukan pengelolaan langsung atas sumber daya alam; (2) tingkat II Negara membuat kebijakan dan pengurusan;

[12] Mailinda Eka Yuniza, Kajian Distribusi Kewenangan Dalam Tata Kelola Sektor Energi Terbarukan, disampaikan pada Diskusi Terbatas yang diselenggarakan oleh *World Resources Indonesia* (WRI, di Jakarta, tanggal 18 April 2018, hlm. 10.

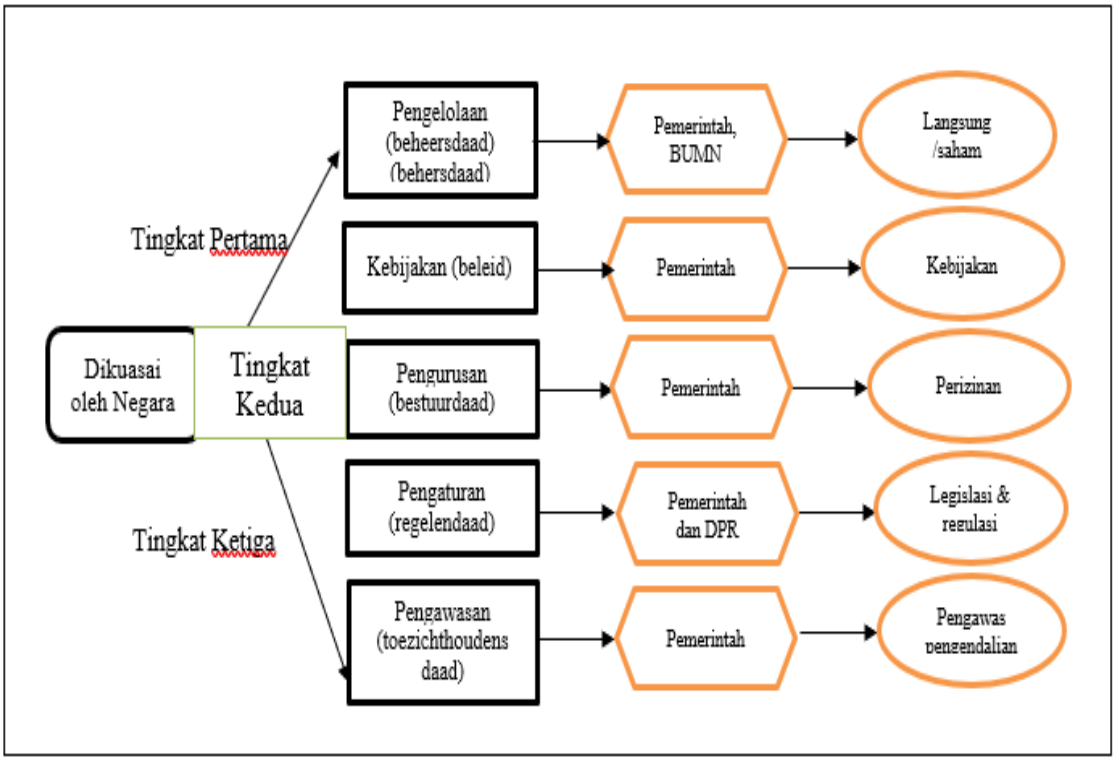
(3) tingkat III Negara melaksanakan fungsi pengaturan dan pengawasan (dengan kata lain diatur). Menurutnya, apabila rezimnya hanya diatur maka kewenangan pemerintah lebih sempit dan implikasinya untuk pemanfaatan dan pengembangan EBT tidak harus ada pengelolaan langsung oleh Pemerintah karena kewajiban itu hanya akan muncul apabila Negara mempunyai kewenangan secara langsung melakukan pengelolaan Sumber Daya Alam. Namun dalam kaitannya dengan sektor ketenagalistrikan, sebagaimana diatur dalam Pasal 33 ayat (2) UUD 1945 dikatakan bahwa Ketenagalistrikan adalah cabang produksi yang penting bagi Negara dan menguasai hajat hidup orang banyak, sehingga harus dikuasai oleh Negara.

Hal ini sejalan dengan putusan MK Nomor 001-021-022/PUU-I/2003 terkait pengujian UU No. 20 Tahun 2002 tentang Ketenagalistrikan. Mahkamah Konstitusi berpendapat bahwa tenaga listrik hingga saat ini masih merupakan cabang produksi yang penting bagi Negara dan menguasasi hajat hidup orang banyak, sehingga oleh karenanya menurut Pasal 33 ayat (2) UUD 1945 harus tetap dikuasai oleh Negara, dalam arti harus dikelola oleh Negara melalui perusahaan Negara yang didanai oleh pemerintah (Negara) atau dengan kemitraan bersama swasta nasional atau asing yang menyertakan dana pinjaman dari dalam dan luar negeri atau dengan melibatkan modal swasta nasional/asing dengan sistem kemitraan yang baik dan saling menguntungkan. Hal ini berarti bahwa hanya BUMN yang boleh mengelola usaha tenaga listrik, sedangkan perusahaan swasta nasional atau asing hanya ikut serta apabila diajak kerjasama oleh BUMN, baik kemitraan, penyertaan saham, pinjaman modal dan lain-lain.

Persoalannya adalah apakah yang dimaksud dengan perusahaan Negara pengelola tenaga listrik hanyalah BUMN, dalam hal ini PLN, ataukah bisa dibagi dengan perusahaan Negara yang lain, bahkan dengan perusahaan daerah (BUMD) sesuai dengan semangat otonomi daerah? Mahkamah berpendapat, jika PLN memang masih mampu dan bisa lebih

efisien, tidak ada salahnya jika tugas itu tetap diberikan kepada PLN, tetapi jika tidak, dapat juga berbagi tugas dengan BUMN lainnya atau BUMD dan PLN sebagai *"holding company"*. [13]

Oleh karena PLN merupakan satu-satunya perusahaan distributor listrik untuk kepentingan umum. Hal ini berimplikasi pada perbedaan rezim UU Energi dan UU Ketenagalistrikan yang masih menimbulkan multitafsir/ standar ganda dalam kewenangan pengelolaan EBT antara Pemerintah, BUMN, ataupun swasta. Salah satu dampaknya adalah adanya ketidakpastian bagi para pelaku usaha. Berbagai persoalan terkait pengaturan EBT akan dijelaskan di sub bahasan berikutnya. Dengan konstruksi hukum yang demikian, tafsir MK dalam makna "dikuasai Negara" Pasal 33 UUD 1945 secara lebih detail dijelaskan dalam gambar sebagai berikut:



Gambar 2: Makna "Dikuasai Negara"

[13] Mahkamah Konstitusi, Putusan MK Nomor 001-021-022/PUU-I/2003 terkait pengujian UU No 20 Tahun 2002 tentang Ketenagalistrikan, Jakarta, 1 Desember 2004, hlm. 348.

Gambar diatas dapat dijelaskan sebagaimana berikut. Saat ini yang terjadi adalah terdapat 3 (tiga) distribusi kewenangan Pemerintah dalam tata kelola sektor EBT:[14]

(1) Tingkat Pertama, Untuk sumber daya EBT yang merupakan pengolahan lebih lanjut dari bahan bakar fosil, panas bumi, nuklir, dan hidro skala besar, maka EBT tersebut dikuasai oleh Pemerintah;

(2) Tingkat Kedua, untuk sumber daya EBT yang tidak berasal dari sumber-sumber diatas, seperti surya, hidro skala kecil, angin, biomasa, maka Pemerintah hanya berperan sebagai legislator atau regulator untuk EBT;

(3) Tingkat Ketiga, seluruh sumber daya EBT yang dimanfaatkan untuk ketenagalistrikan dikuasai oleh Pemerintah, meskipun sumber daya EBT tersebut berasal dari sumber daya EBT yang hanya diatur oleh Pemerintah, seperti surya, angin, biomassa;

Pendapat lainnya adalah dari Prof Jimly Asshidiqie. Sebagaimana kita ketahui bahwa Pustusan Mahkamah Konstitusi adalah pertama dan terakhir *(first and final).* Terkait makna "dikuasai oleh Negara" adalah sudah tepat penguasaan sesuai Pasal 33 UUD bukan pemilikan. Penguasaan memiliki makna lebih luas. Hal ini untuk mengantisipasi perkembangan global dunia. Saat ini Perusahaan Multi Nasional itu sudah merambah ke seluruh dunia, berkembang dan sangat kuat. Dunia usaha adalah instrumen kemajuan suatu bangsa. Oleh Karena itu harus ada *intermediate structure* dalam dunia usaha terhadap Negara. Sebab Negara harus tetap mempunyai kedaulatan, harus tetap berkuasa demi kepentingan nasional. Negara menentukan untuk mengatur. Banyak pihak mempertentangkan antara konsep penguasaan, pemilikan, pengurusan dalam Pasal 33. Penguasaan adalah konsep total seluruhnya. Penguasaan Negara sebagaimana dimaksud dalam Putusan MK yang terdiri dari 5 (lima) konsep frasa yaitu kebijakan, pengurusan, pengaturan, pengelolaan dan pengawasan adalah kesemuanya.

[14] Ibid., hlm. 13

Pelaksanaan terhadap 1 frasa misalnya melaksanakan pengaturan, maka itu juga sebagai bentuk penguasaan Negara. Untuk urusan-urusannya ini perlu ditentukan oleh Pemerintah, misalnya EBT sebagaimana diatur dalam Pasal 4 ayat (1) itu merupakan penegasan bahwa bahan bakar fosil, panas bumi, nuklir, dan hidro skala besar adalah hal yang penting dan menguasai hajat hidup orang banyak menurut Negara, maka harus dikuasai oleh Negara. Kemudian Pasal 4 ayat (2) itu seolah-olah dipertentangkan dengan Pasal 4 ayat (1), yaitu mempertentangkan antara menguasai dan mengatur, padahal seharusnya tidak perlu dipertentangkan. Bahwa setelah dikuasai sebagaimana Pasal 4 ayat(1) masih harus dijabarkan dalam aturan berikutnya bagaimana pengaturannya bagaimana, pengurusannya bagaimana, pengawasannya bagaimana. Inilah yang perlu diluruskan terhadap Pasal 4 UU Energi ini.

Terkait monopoli PLN, tidak bisa disamakan seperti dunia usaha. Monopoli hanya relevan dalam dunia usaha. Negara memang menguasai namun bukan dalam konteks seperti monopoli dalam dunia usaha. BUMN adalah instrumen kekuasaan Negara *(agent of development)* untuk menggerakkan roda ekonomi nasional bukan instrumen untuk mencari keuntungan semata. Sebagai badan hukum, bahan usaha *(private company)* nya Negara, dia dimaksudkan menjadi instrumennya Negara untuk menjalankan fungsi pengusahaan, BUMN tersebut bisa menjadi *pioneer* di usaha tertentu, nanti ketika sudah besar bisa saja dilepas ke swasta (privatisasi). Maksud dari dilaksanakan BUMN adalah untuk mendorong pembangunan ekonomi nasional.

Sejalan dengan pendapat Prof Jimly Asshidiqie adalah pendapat Prof Maria Soemardjono,[15] terkait konsep "dikuasai oleh Negara" ada 3 (tiga) hal kenapa dikuasai oleh Negara yaitu: (1) Penting bagi negara dan menguasai hajat hidup orang banyak; (2) Tidak penting bagi Negara tapi menguasai

[15] Maria Soemardjono, Rapat Tim Pakar Bidang SDALH, diselenggarakan di Jakarta pada tanggal 2 Agustus 2018.

hajat hidup orang banyak; (3) Penting bagi Negara tapi tidak menguasai hajat hidup orang banyak. Ketiga hal ini termasuk dalam konsep dikuasai oleh Negara. Artinya, jika Negara sudah merasa tidak mampu, maka Negara akan minta bantuan pihak lain dalam hal ini bisa swasta, tetapi kontrol tetap ada pada Negara. Jadi jika dalam Pasal 4 UU Energi mengatakan diatur oleh Negara itu salah. Sebab, Hak menguasai Negara itu terdiri dari 5 (lima) frasa yaitu membuat kebijakan, mengelola, mengatur, mengurus dan mengawasi. Tidak bisa dipisah satu per satu, mengatur itu juga termasuk menguasai, jika dipertentangkan justru akan bertentangan dengan Konstitusi. Oleh karena itu Pasal 4 UU Nomor 30 Tahun 2007 seharusnya direvisi karena bertentangan dengan konstitusi UU Pasal 33 UUD NRI Tahun 1945 sebab Bumi, Air, Kekayaan Alam dikuasai oleh Negara. Oleh karena itu agar ketentuan Pasal 4 ayat (2) agar dapat harmonis dengan tafsir MK atas Hak dikuasai Negara, maka sebaiknya ketentuan untuk EBT bukan "diatur" namun "dikuasai oleh Negara", sebab makna "dikuasai oleh Negara" sudah terdapat elemen "diatur". Perlu dirumuskan definisi atau ditambahkan dalam penjelasan terkait makna "diatur" sebagaimana di maksud dalam Pasal 4 ayat (2). Hal ini penting karena pelaku usaha butuh kepastian berusaha di sektor EBT.[16]

Dari beberapa pendapat tersebut diatas, penulis sepakat dengan apa yang disampaikan Prof Jimly Ashidiqie dan juga Prof Maria Soemardjono, bahwa makna "dikuasai oleh Negara" tidak perlu dipertentangan kata per kata, sebab konsepnya adalah menyeluruh.

3. Evaluasi Kebijakan Peraturan Perundang-undangan terkait EBT di Sektor Ketenagalistrikan

Sebagaimana dibahas sebelumnya terakit RUKN, dimana RUKN ditetapkan sebagai acuan dalam pembangunan dan pengembangan sektor ketenagalistrikan di masa yang akan datang bagi Pemerintah, Pemerintah Daerah, Pemegang Kuasa Usaha Ketenagalistrikan (PKUK) dan

[16] Badan Pembinaan Hukum Nasional, Laporan Analisis dan Evaluasi Hukum Terkait Ketenagalistrikan, Jakarta, 2018, hlm. 47-49.

Pemegang Izin Usaha Ketenagalistrikan untuk Kepentingan Umum (PIUKU) dan juga RUPTL dimana salah satu kebijakan dalam RUPTL 2018-2027 adalah pemerintah menurunkan total rencana pembangunan pembangkit dari 78.000 megawatt jadi 56.024 megawatt maka diterbitkanlah Peraturan Menteri Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik (selanjutnya disebut Permen ESDM 50/2017) sebagaimana diubah Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya mineral Nomor 53 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik (Permen ESDM 53/2018). Permen 53/2018 merupakan perubahan beberapa Pasal yang intinya adalah menambahkan ketentuan mengenai pembelian tenaga listrik oleh PT PLN dari pembangkit listrik yang memanfaatkan energi bahan bakar nabati cair, sehingga pasal-pasal lainnya dalam Permen ESDM 50/2017 tetap berlaku.

Dasar diterbitkannya Permen ESDM 50/2017 ini adalah untuk mempercepat pengembangan energi terbarukan untuk kepentingan ketenagalistrikan nasional, sehingga perlu diatur kembali ketentuan mengenai mekanisme dan harga pembelian tenaga listrik oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) yang memanfaatkan sumber energi terbarukan. Permen ESDM 50/2017 ini menggantikan Permen Nomor 12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik sebagaimana telah diubah dengan Pemen ESDM Nomor 43 Tahun 2017 tentang Perubahan atas Permen ESDM Nomor 12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik yang dicabut dan dinyatakan tidak berlaku lagi. Permen ESDM 50/2017 ini menjadi pedoman bagi PT PLN (Persero) dalam melakukan pembelian tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik yang memanfaatkan sumber ET. Sumber ET tersebut meliputi sinar matahari, angin, tenaga air, biomassa, biogas,

sampah kota, panas bumi, dan gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut.[17] Pokok-pokok substansi dari Permen ESDM 50/2017 sebagaimana diuraikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 2. Pokok-Pokok Substansi Permen ESDM 50/2017

NO	POKOK BAHASAN	SUBSTANSI PASAL
1.	Jenis Pembangkit	PLT Surya Fotovoltaik, PLT Bayu, PLT Air, PLT Biomassa, PLT Biogas, PLT Sampah, PLT Panas Bumi dan PLTA Laut (Pasal 3 ayat 3)
2.	Pelaksanaan Pembelian Tenaga Listrik	- Pemilihan Langsung Berdasarkan Kuota Kapasitas (Untuk PLTS Fotovoltaik dan PLTB) - Pemilihan Langsung (Untuk PLTA, PLTBM, PLTBg dan PLTA Laut) - Sesuai Ketentuan PUU (Untuk PLTSa dan PLTP)
3.	Pola Kerjasama	*Build, Own, Operate and Transfer (BOOT)*
4.	Persetujuan Harga	Pembelian tenaga listrik wajib mendapatkan Persetujuan Menteri
5.	Standar Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik (PJBL)	PT PLN (Persero wajib menyusun dan Mempublikasikan Standar Dokumen Pengadaan, Standar PJBL, dan Juknis Pelaksanaan Pemilihan Langsung

Dalam Permen ESDM 53/2018, terdapat perubahan Pasal 1, Pasal 3 dan sisipan Pasal 12A yang pada intinya mengatir tentang pembelian tenaga listrik yang memanfaatkan energi bahan bakar nabati cair dimana hal ini belum diatur dalam Permen ESDM 50/2017. Dalam implementasinya, Permen 50/2017 ini memiliki berbagai persoalan antara lain:

1. Terkait Skema Penentuan Biaya Pokok Penjualan Litrik Energi Terbarukan. Permen 50/2017 mengatur Biaya Pokok Penyediaan (BPP) dalam pembelian listrik dari Sumber ET.[18] Harga pembelian tenaga listrik untuk PLTS Fotovoltatik, PLTB, PLTBm, PLTBg, PLTA Laut menggunakan mekanisme yang saling

[17] Indonesia Permen ESDM Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik, diundangkan di Jakarta pada tanggal 8 Agustus 2017, Berita Negara RI Atahun 2017 Nomor 1107.

[18] Ibid., Pasal 5-20.

menguntungkan *(business to bussines).* Dalam hal BPP pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat diatas rata-rata BPP Pembangkitan nasional, maka harga pembelian paling tinggi adalah sebesar 85% (delapan puluh lima persen) dari BPP Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat. Namun, dalam hal BPP Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat sama atau dibawah rata-rata BPP Pembangkitan nasional, maka harga ditetapkan berdasarkan kesepakatan para pihak.

Harga pembelian tenaga listrik untuk PLT Air, PLT Sampah dan PLTP juga menggunakan mekanisme yang saling menguntungkan *(business to business)*. Dalam hal BPP Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat diatas rata-rata BPP Pembangkitan nasional, harga paling tinggi adalah sebesar BPP Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat. Dalam hal BPP Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan di wilayah Sumatera, Jawa, dan Bali atau sistem ketenagalistrikan setempat lainnya sama atau di bawah rata-rata BPP Pembangkitan nasional, maka harga pembelian tenaga listrik ditetapkan berdasarkan kesepakatan para pihak. BPP Pembangkitan sendiri ditetapkan melalui Keputusan Menteri (Kepmen) ESDM Nomor 1772/2018 tentang Besaran BPP Pembangkitan PT PLN (Persero) Tahun 2017. Regulasi ini mengatur besaran BPP Pembangkitan per wilayah/distribusi/sistem/subsistem sebagai acuan pembelian tenaga listrik oleh PLN.

Untuk lebih jelasnya terkait kerangka harga pembelian listrik dapat di lihat dalam tabel sebagai berikut:[19]

[19] https://www.cnbcindonesia.com/news/20180525141148-4-16595/menimbang-aturan-baru-terkait-skema-harga-listrik-ebt, diakses pada tanggal 8 Agustus 2019

Tabel 3. Kerangka Harga Pembelian Listrik

Sumber Pembangkit Listrik	Kerangka Harga Pembelian Listrik
Solar PV dan Angin	
BPP lokal > rerata BPP nasional	Maksimal 85% dari BPP lokal
BPP lokal ≤ rerata BPP nasional	Ditentukan lewat kesepakatan PLN dan IPP
Hidro	
BPP lokal > rerata BPP nasional	Maksimal 85% dari BPP lokal
BPP lokal ≤ rerata BPP nasional	Ditentukan lewat kesepakatan PLN dan IPP
Biomassa dan Biogas	
BPP lokal > rerata BPP nasional	Maksimal 85% dari BPP lokal
BPP lokal ≤ rerata BPP nasional	Ditentukan lewat kesepakatan PLN dan IPP
Sampah Perkotaan dan Panas Bumi	
BPP lokal > rerata BPP nasional	Maksimal 85% dari BPP lokal
BPP lokal ≤ rerata BPP nasional	Ditentukan lewat kesepakatan PLN dan IPP
Air Laut (belum diregulasi di Permen ESDM 12/2017)	
BPP lokal > rerata BPP nasional	Maksimal 85% dari BPP lokal
BPP lokal ≤ rerata BPP nasional	Ditentukan lewat kesepakatan PLN dan IPP

Sumber: Permen ESDM 50/2017 (2017)

Terkait penentuan harga BPP oleh pemerintah ini dalam implementasi-nya banyak dikeluhkan para pelaku usaha. Salah satu penyebabnya adalah bahwa meskipun tren harga EBT di luar negeri semakin murah, tetapi karena di Indonesia terdapat kewajiban porsi Tingkat Kandungan Dalam Negeri (TKDN) yang besar sebagaimana diatur dalam Pasal 15 Permen ESDM 50/2017, hal ini menjadikan harga EBT masih mahal. Ketika pendapatan pembangkit EBT tergantung dengan BPP yang ditetapkan PLN sementara BPP itu sendiri tidak sesuai dengan komponen biaya yang dikeluarkan, maka hal ini menjadikan proyek pembangkit EBT tidak *feasible dan bankable.*

Selain persoalan BPP, di beberapa tempat masih dimungkinkan untuk terjadinya negosiasi yang dilakukan oleh para pihak. Hal ini dimungkinkan dalam Permen 50/2017 dengan kondisi tertentu. Namun ini juga menimbulkan ketidakpastian hukum dan ketidakadilan, sebab selama dalam klausul aturan pemerintah masih ada kata "negosiasi", ini akan menimbulkan ketidakpastian terma-suk bagi PLN sendiri sebab apabila PLN membeli listrik yang bahkan hanya lebih mahal 5-10 rupiah saja, ini dapat menimbulkan kerugian

keuangan bagi Negara. Selain itu, negosiasi ini juga membuat pelaku usaha menjadi khawatir. Alternatif solusi terhadap persoalan BPP antara lain melalui skema *Feed in Tarif* (selanjutnya disebut FIT). Skema ini pernah digunakan pada kebijakan sebelum penentuan BPP pada Permen 50/2017. Menurut penelitian, ditemukan bahwa harga pembelian listrik untuk pembangkit EBT berdasarkan BPP saat ini memang lebih rendah jika dibandingkan dengan pembelian sistem FIT. Hal ini memang menimbulkan dualisme persoalan. Jika menggunakan skema FIT memang sangat menguntungkan bagi pengembang EBT swasta karena memberikan margin keuntungan yang sangat besar, namun di lain pihak secara bersamaan merugikan pemerintah dan PLN selaku pihak pembeli listrik. Tingginya harga beli tersebut membuat alokasi pembelian listrik oleh PLN menjadi mahal, sehingga berujung pada kebutuhan untuk membebankan listrik mahal tersebut kepada konsumen atau pilihan lain, membebankannya kepada Negara yang memberikan subsidi listrik ke PLN. Alokasi subsidi yang semestinya bisa digunakan untuk membiayai program lain yang memberikan manfaat langsung bagi rakyat mau tidak mau akan tersedot untuk subsidi listrik jika PLN dihadapkan pada harga beli mahal berbasis FIT tersebut. Ini yang tidak sesuai dengan agenda Nawacita bidang ekonomi yaitu mewujudkan kemandirian ekonomi dengan menggerakkan sektor strategis ekonomi domestik, dimana salah satunya adalah mewujudkan kedaulatan energi. Hal ini bertolak belakang sebab dengan *feed in tariff* subsidi tersebut dinikmati oleh perusahaan-perusahaan swasta dan bukan untuk menyasar pengguna tingkat akhir *(end user)* yaitu rakyat.[20]

2. Terkait skema Membangun, Memiliki, Mengoperasikan, dan Mengalihkan *(Build, Own, Operate, and Transfer/BOOT)*

   BOOT adalah pembiayaan yang

[20] Ibid.

dilakukan oleh pihak ketiga (swasta) maupun mendesain, membangun, dan pengelolaan fasilitas infrastruktur untuk periode tertentu sesuai konsesi yang disepakati. Pihak swasta ini bertanggungjawab dalam melakukan pembiayaan, utamanya pada proyen baru *(greenfield).* Untuk skema *BOOT* lamanya waktu konsesi telah ditentukan yaitu 30 (tigapuluh) tahun, dan selama periode konsesi proyek tersebut dimiliki oleh pihak swasta dan dikembalikan kepada pemerintah di akhir konsesi.[21]

Kebijakan skema *BOOT* ini dinilai merugikan oleh Pengusaha. Potensi kerugian tersebut timbul karena melalui skema *BOOT*, PT PLN (Persero) dapat mengambil alih aset pengembang. Menjadi persoalan ketika asset berupa tanah ikut di depresiasi. Pelaku usaha menilai bahwa seharusnya di skema *BOOT*, ketika asset akan diserahkan, seharusnya ada nilai penggantian yang diberikan oleh Negara karena pada saat itu tanahnya masih memiliki nilai. Apalagi investor sudah menanamkan modal yang besar terhadap proyek ini, dan tanahnya juga milik investor. Ini menjadi persoalan di bidang hukum pertanahan juga. Menurut Prof Maria Soemarjono,[22] jika tanahnya adalah milik investor maka sangat tidak fair jika tanahnya juga diserahkan kepada pemerintah. Namun jika skema *BOOT* nya menggunakan tanah milik Pemerintah, memang sudah seharusnya dikembalikan ke pemerintah setelah masa konsesi berakhir. Hal ini perlu ditegaskan dulu persoalan pengalihan asset, apakah termasuk tanah ataukah hanya asset mesin pembangkitnya saja. Hal ini belum terlihat dari regulasi Pemerintah.

Kesulitan pengembang juga dialami ketika tahap *financial closing,* sebab *financial closing* dipengaruhi oleh Skema *BOOT* dan Tarif. Banyak yang tidak mencapai *financial closing*

---

21 Bahtiar Rifai, Kendala Implementasi Kerjsasama Pemerintah Swasta (KPS) Kelistrikan dan Kebutuhan Perbaikan Kebijakan, Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Vol. 24, No. 1, Tahun 2016, hlm. 55

22 Maria Soemarjono, Op., Cit., Rapat Tim Pakar SDALH.

karena proyeknya tidak *bankable*, sementara *bankability* tersebut dipengaruhi oleh perkiraan penjualan listrik. Menurut data sebanyak 68 PPA EBT terkendala jaminan bank. Sebagian besar penandatanganan PPA tahun 2017 tidak bisa melakukan kontrak karena belum menyerahkan jaminan ke Bank. Alasan tidak terjadinya *financial closing* adalah karena skema *BOOT* pada Permen ESDM 50/2017 tidak bisa diterima oleh Bank untuk memberikan pendanaan karena asset yang dijaminkan bukan merupakan milik pengembang. Ketidakpastian hukum ini menjadi persoalan bagi para pelaku usaha dalam pengembangan EBT sebab PPA yang ditandatangani baru akan berlaku secara efektif setelah pengembang menyerahkan jaminan pelaksanaan dan menyepakati bersama tanggal efektif dengan PLN wilayah.[23]

3. Terkait Mekanisme pemilihan langsung dalam bisnis Energi Terbarukan

Permasalahan dalam pemilihan langsung adalah bagaimana mengatur agar tetap ada rasa keadilan *(fairness)* bagi Pemerintah dalam hal ini PT PLN (Persero). Harus ada mekanisme pengawasan yang bisa mengawasi pasar monopoli dengan institusi yang dominan di pasar ini, misalnya dulu ada Badan Pengawasan Listrik (Bapepal) yang menjalankan fungsi pengawasan.

D. PENUTUP

Pemerintah telah menyusun rencana pengelolaan energi untuk memenuhi kebutuhan energi nasional yang berdasarkan kebijakan pengelolaan energi jangka panjang melalui Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi. Pada Sektor ketenagalistrikan, listrik merupakan sumber daya energi yang strategis dan sangat penting bagi hajat hidup rakyat banyak. Pemerintah telah berkomitmen bahwa EBT akan terus dikembangkan untuk menjamin ketahanan energi di Indonesia serta memenuhi permintaan listrik yang kian bertambah. Pemerintah menetapkan

[23] http://news.metrotvnews.com/read/2018/02/15/832136/sebanyak-68-ppa-ebt-terkendala-jaminan-bank, diakses pada tanggal 15 September 2019

target 23% porsi energi bersih dalam bauran energi nasional di tahun 2025 dan 31% pada tahun 2030 melalui Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Namun dalam implementasinya masih terdapat banyak persoalan.

Faktor-faktor penyebab pertumbuhan pengelolaan EBT di sektor ketenagalistrikan belum optimal antara lain: (a) belum maksimalnya pelaksanaan kebijakan harga, (b) ketidakjelasan subsidi EBT pada sisi pembeli *(off-taker),* (c) regulasi yang belum dapat menarik investasi, (d) belum adanya insentif pemanfaatan EBT, (e) minimnya ketersediaan instrumen pembiayaan yang sesuai dengan kebutuhan investasi, (f) proses perizinan yang rumit dan memakan waktu yang lama, dan (g) permasalahan lahan dan tata ruang.

Evaluasi kebijakan peraturan perundang-undangan terkait EBT di sektor ketenagalistrikan antara lain (1) masih adanya perbedaan penafsiran dalan makna "dikuasai negara" pada pasal 4 UU Energi. Bahwa makna "dikuasai oleh Negara" tidak perlu dipertentangan kata per kata, sebab konsepnya adalah menyeluruh. Hal ini sudah jelas di dalam putusan MK Nomor 36/PUU-X/20012 terkait putusan dalam uji materiil UU Nomor 22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi. Penguasaan Negara sebagaimana dimaksud dalam Putusan MK yang terdiri dari 5 (lima) konsep frasa yaitu kebijakan, pengurusan, pengaturan, pengelolaan dan pengawasan adalah kesemuanya. Pelaksanaan terhadap 1 frasa misalnya melaksanakan pengaturan, maka itu juga sebagai bentuk penguasaan Negara; (2) Terkait skema penentuan biaya pokok penjualan (BPP) penjualan listrik energi terbarukan oleh Pemerintah melalui Permen ESDM 50/2017 yang masih banyak dikeluhkan para pelaku usaha; (3) Terkait skema membangun, Memiliki, Mengoperasikan, dan Mengalihkan *(Build, Own, Operate, and Transfer/BOOT);* (4) Terkait mekanisme pemilihan langsung dalam bisnis EBT.

Beberapa alternatif strategi pengembangan EBT di sektor ketenagalistrikan antara lain: (1) Potensi energi terbarukan (matahari, angin, bioenergi, panas bumi) yang dimiliki Indonesia perlu dimanfaatkan secara maksimal untuk menambah kapasitas terpasang pembangkit listrik, rasio elektrifikasi dan penurunan emisi gas rumah kaca sesuai dengan PP Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi

Indonesia; (2) Menemukan titik temu antara kebijakan BPP menurut Permen ESDM 50/2017 dengan keinginan para pengembang untuk kembali pada skema *Feed in Tariff* sehingga pengembangan EBT dapat lebih optimal; (3) Pembebasan pajak impor peralatan energi terbarukan dan mendorong produsen peralatan energi terbarukan lokal melalui pembebasan pajak dan dukungan keuangan secara langsung; (4) Perlu adanya dukungan berupa kebijakan bantuan investasi dari pemerintah sekitar 20-30 % untuk menggairahkan pembangunan energi terbarukan di tengah masih mahalnya harga operasional untuk membangun pembangkitan energi terbarukan; (5) Pemerintah pusat dan pemerintah daerah, saling bekerjasama secara nyata untuk pengembangan di bidang EBT tanpa mengedepankan ego sektoral; (6) Merevisi Pasal 4 UU Nomor 30 tahun 2007 tentang Energi terkait konsep "Hak menguasai Negara" terhadap sektor ketenagalistrikan yang bersumber dari EBT; (7) Sitem pengawasan yang optimal dalam implementasi pemilihan langsung dalam pengembangan pengembangan EBT di sektor ketenagalistrikan.

DAFTAR PUSTAKA

A. Buku

Agus Sugiyono, Permasalahan dan Kebijakan Energi Saat Ini, dalam Prosiding Peluncuran Buku Outlook Energi Indonesia 2014 & Seminar Bersama BPPT dan BKK-PII, Jakarta, Tahun 2015

Badan Pembinaan Hukum Nasional, Analisis dan Evaluasi Hukum Dalam Rangka Kedaulatan Energi, Laporan Akhir Tim Pokja, Jakarta, 2016

Bahtiar Rifai, Kendala Implementasi Kerjsasama Pemerintah Swasta (KPS) Kelistrikan dan Kebutuhan Perbaikan Kebijakan, Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Vol. 24, No. 1, Tahun 2016

Muhammad AS Hikam: *Ketahanan Energi Indonesia 2015-2025 Tantangan dan Harapan* (Jakarta: CV. Rumah Buku, 2014)

B. Makalah

Agus Sugiyono, Permasalahan dan Kebijakan Energi Saat Ini, dalam Prosiding Peluncuran Buku Outlook Energi Indonesia 2014 & Seminar Bersama BPPT dan BKK-PII, Jakarta, Tahun 2015

Mailinda Eka Yuniza, Kajian Distribusi Kewenangan Dalam Tata Kelola Sektor Energi Terbarukan, disampaikan pada Diskusi Terbatas yang diselenggarakan oleh World Resources Indonesia (WRI, di Jakarta, tanggal 18 April 2018

Maria Soemardjono, Rapat Tim Pakar Bidang SDALH, diselenggarakan di Jakarta pada tanggal 2 Agustus 2018.

Jimly Asshidiqie, Makna Dikuasai Negara dalam Pasal 33 UUDNRI Tahun 1945, disampaikan dalam Diskusi Terbatas Reformasi Hukum Tata Kelola Sektor Energi Terbarukan, yang diselenggarakan oleh Badan Pembinaan Hukum Nasional dan *World Resources Indonesia*, di Jakarta, pada tanggal 8 Agustus 2018.

C. Peraturan Perundang-Undangan

Indonesia, Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang energi, diundangkan di Jakarta pada tanggal 10 Agustus 2007, LNRI Tahun 2009 Nomor 133, TLNRI Nomor 4746.

Indonesia, Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang energi, diundangkan di Jakarta pada tanggal 23 September 2009, LNRI Tahun 2007 Nomor 96, TLNRI Nomor 5052.

Mahkamah Konstitusi, Putusan MK Nomor 36/PUU-X/2002 terkait putusan dalam uji materiil UU Nomor 22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi, diputus pada tanggal 13 Nopember 2012 di Jakarta.

Indonesia Permen ESDM Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik, diundangkan di Jakarta pada tanggal 8 Agustus 2017, Berita Negara RI Atahun 2017 Nomor 1107.

D. Internet

https://ekonomi.kompas.com/read/2018/01/16/090100826/melihat-pltb-sidrap pembangkit-tenaga-angin-pertama-di-indonesia

https://ekonomi.kompas.com/read/2017/11/17/083000026/bappenas-- perkembangan-energi-terbarukan-hadapi-banyak-tantangan

https://www.cnbcindonesia.com/news/20180525141148-4-16595/menimbang-aturan-baru-terkait-skema-harga-listrik-ebt

http://news.metrotvnews.com/read/2018/02/15/832136/sebanyak-68-ppa-ebt-terkendala-jaminan-bank

BIODATA PENULIS

Nunuk Febriananingsih, S.H., M.H. Kepala Sub Bidang Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup I pada Pusat Analisa dan Evaluasi Hukum Nasional, Badan Pembinaan Hukum Nasional Kementerian Hukum Nasional. Pendidikan Sarjana (S1) didapat dari Fakultas Hukum Universitas Indonesia Jakarta**.** Selanjutnya yang bersangkutan menyelesaikan pendidikan Magister Hukum (S2) Fakultas Hukum pada Universitas Padjajaran Bandung. Nunuk selalu menjaga hubungan yang harmonis antara keahliannya dalam bidang hukum dan kebutuhan masyarakat. Dia mengikuti minatnya di bidang hukum, setelah menghabiskan masa sarjana di bidang hukum ekonomi yang dilakukan di Universitas Indonesia. Dia melanjutkan studinya melalui program beasiswa Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia di Universitas Padjadjaran Bandung Indonesia dalam hukum tata negara. Setelah 4 tahun bekerja untuk Kepala Sub Bidang Penegakan Hukum di Pusat Penelitian dan Pengembangan Sistem Hukum Nasional, Nunuk pindah ke Kepala Sub Bagian Sumber Daya Alam I yang membawahi bidang hukum Energi Sumber Daya Mineral, Pertambangan, Lingkungan Hidup, Kehutanan, Perkebunan, Pertanahan dan Penataan Ruang, di Lingkungan di Pusat Analisis dan Evaluasi Hukum Nasional. Pendidikannya yang berbeda dan pengalamannya yang luas telah memberinya keuntungan yang cukup dalam program nasional pemerintah dalam rangka penataan regulasi terutama di sektor sumber daya alam dan lingkungan. Lebih lanjut, ia memiliki pengalaman dalam hukum penelitian dan pengembangan, analisis dan evaluasi hukum bidang Sumber Daya Alam, dan perancangan hukum.

ISSN 0853-2982 eISSN 2549-265

JURNAL TEKNIK SIPIL
Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

Transisi Energi Terbarukan di Indonesia: Dinamika Kendaraan Listrik dengan Pendekatan Self-organization di Kota Jakarta

Muhammad Zainal Ibad(*)
Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia.
Program studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365, E-mail: zainal.ibad@pwk.itera.ac.id

Salwa Nabilla Antiqasari
Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia., E-mail: salwanabillaantiqasari@gmail.com

Delik Hudalah
Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia., E-mail: d.hudalah@itb.ac.id

Puspita Dirgahayani
Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia., E-mail: pdirgahayani@sappk.itb.ac.id

Abstrak

Transisi energi terbarukan merupakan salah satu perubahan yang memberikan dampak positif terhadap lingkungan. Salah satu aktivitas yang banyak menyumbang emisi CO2 adalah aktivitas transportasi. Indonesia menjadi salah satu dari lima negara bersama Cina, Jepang, Korea, dan India menjadi penyumbang CO2 terbanyak kepada global terutama dalam transportasi. Hadirnya transisi kendaraan listrik menjadi salah satu solusi untuk mengurangi polusi serta energi terbarukan. Self-organization merupakan pendekatan perencanaan transformatif untuk melihat kompleksitas transisi. Dengan menggunakan metode analisis deskriptif, analisis kebijakan, dan analisis feedback loop, artikel ini ingin menunjukkan bagaimana proses transisi kendaraan listrik ini di DKI Jakarta, sebagai wilayah perkotaan terbesar dan terpadat di Indonesia. Hasil menunjukkan terdapat peningkatan perubahan kendaraan listrik, dukungan pemerintah, serta feedback positif dan negatif dari masyarakat. Penelitian ini merekomendasikan strategi self-organization transformasi kendaraan listrik dengan melibatkan berbagai pihak dalam proses perubahan sistem transportasi di Indonesia.

Kata-kata Kunci: Kendaraan listrik; self-organization system, energi terbarukan , DKI Jakarta

Abstract

The transition to renewable energy is one of the changes that have a positive impact on the environment. One activity that contributes a lot to CO2 emissions is transportation activities. Indonesia is one of the five countries along with China, Japan, Korea, and India to be the largest contributor of CO2 to the world, especially in transportation. The presence of the transition to electric vehicles is one solution to reduce pollution and renewable energy. Self-organization is a transformative planning approach to see the complexity of the transition. By using descriptive analysis methods, policy analysis, and feedback loop analysis, this article wants to show how the transition process for electric vehicles is in DKI Jakarta, as the largest and most densely populated urban area in Indonesia. The results show that there is an increase in changes to electric vehicles, government support, as well as positive and negative feedback from the community. This study recommends a self-organization strategy for transforming electric vehicles by involving various parties in the process of changing the transportation system in Indonesia.

Keywords: Electric vehicle, self-organization system, renewable energy, DKI Jakarta

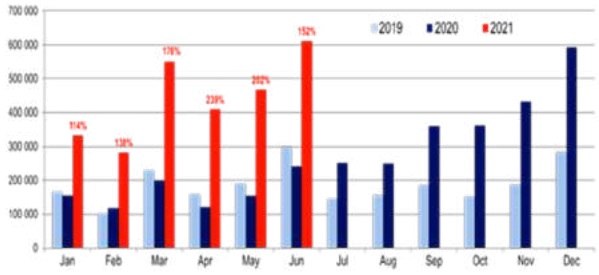
1. Pendahuluan

Renewable Energy merupakan sumberdaya yang menawarkan penghematan energi berupa self-renewing dengan bersumber dari sinar matahari, air, angin, panas bumi dan biomassa (BULL, S. R., 2001). Renewable Energy umumnya dimanfaatkan untuk tiga kegiatan seperti kegiatan pembangunan, industri, agrikultur dan transportasi (BULL, S. R., 2001). Penggunaan Renewable energy di Indonesia meningkat sebanyak

* *Penulis Korespondensi*

Diterima 6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
Copyright © 2022 Dikelola oleh Jurnal Teknik Sipil ITB

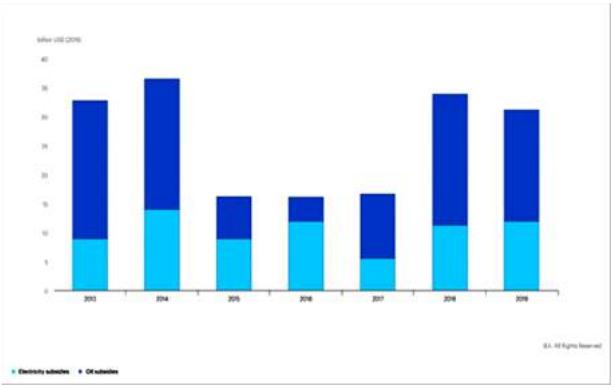
80%, dan termasuk dalam lima negara teratas dengan pangsa energi terbarukan tertinggi di kawasan Asia-Pasifik. Pangsa menyumbang bauran terbesar berasal dari pembangkit listrik tenaga air (sekitar 8%) dan pembangkit panas bumi (5 %) (Buonocore, J. J., 2019). Hal ini didukung oleh kebijakan pemerintah melalui kebijakan energi nasional untuk supply 23 % dari total pasokan energi primer yang dihasilkan oleh sumber terbarukan modern pada tahun 2025 dan 31 % pada tahun 2050 (IRENA, 2017). Fenomena ini memungkinkan peningkatan dalam penggunaan tenaga listrik terutama pada aktivitas transportasi sekitar 42,5 juta kendaraan listrik di tahun 2030 (Lund, H. 2005). Kendaraan listrik berkontribusi terhadap transisi energi dunia, karena mampu mengurangi masalah polusi pada aktivitas transportasi dengan terbukti dalam penggunaannya yang bebas emisi (Casals, L. C., 2017). Kendaraan listrik menjadi salah satu terobosan utama dalam pemanfaatan transisi sumberdaya terbarukan dan menawarkan banyak solusi dari permasalahan lingkungan. Dimana, Indonesia menjadi salah satu negara bersama Cina, Jepang, Korea, dan India sebagai penyumbang CO2 sebanyak 40% kepada dunia (Casals, L. C., 2017). Fakta tersebut yang membuat transisi energi dalam transportasi dirasa penting untuk mengatasi berbagai masalah lingkungan.



Sumber: IRENA, 2017

Gambar 1. Diagram tingkat permintaan kendaraan listrik di dunia 2019-2021

Berdasarkan data yang diterbitkan oleh The Electic Vehicle World Sales Database tahun 2019-2021, tingkat permintaan penggunaan kendaraan listrik terus meningkat di dunia global. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat cukup menerima dengan positif terhadap kendaraan listrik. Hadirnya kendaraan listrik di Indonesia juga meningkat sejak tahun 2020, dimana perusahaan yang bergerak dalam bidang tersebut menawarkan berbagai fitur kecanggihan pada moda tersebut. Seperti, kendaraan berbasis clean energy, menghemat biaya bahan bakar karena ber-transisi ke sumberdaya listrik, menerapkan Intelligent Transport System (ITS) yang menjamin keamanan saat berkendara (Colmenar-Santos, A., 2019). Selain itu, kendaraan listrik di indonesia muncul pada tahun 2014 ketika mobil listrik ITS melakukan uji coba operasional dengan menempuh sejauh 800 km dengan rute Jakarta - Bandung - Tasikmalaya - Purwokerto - Jogjakarta - Madiun - Surabaya (Nienhueser, I. A., 2016). Alasan tersebut menyembabkan terjadinya peningkatan konsumsi kendaraan listrik di Indonesia, serta didukung oleh kebijakan pemerintah yang menaruh prioritas utama pada mobil listrik. Pada awalnya Presiden Joko Widodo membuat regulasi pertama setelah adanya transisi ke renewable energi pada Peraturan Pemerintah Nomor 73 tahun 2019 bahwa Indonesia memiliki peluang menerapkan kendaraan listrik sebagai bentuk mendukung energi terbarukan. Lalu dilanjutkan dengan adanya Peraturan Presiden nomor 55 Tahun 2019 mengenai penggunaan kendaraan listrik sebagai bentuk pengurangan penggunaan BBM dan menjaga kualitas lingkungan. Hingga saat ini regulasi pemerintah dalam upaya mendukung penggunaan Kendaraan listrik terus disempurnakan dengan tujuan mencapai salah satu Sustainable Development Goals (SDGs) ke-7 "Affordable and Clean Energy".



Sumber: IRENA, 2017

Gambar 2. Subsidi penggunaan bahan penggerak kendaraan listrik di indonesia

Berdasarkan data subsidi bahan penggerak kendaraan listrik terus meningkat dari tahun 2017 hingga 2019, yang memberikan pernyataan bahwa pemerintah cukup serius terhadap transisi sumberdaya pada kendaraan listrik. Transisi penggunaan kendaraan listrik mulai cukup berkembang di kota besar seperti Bali dan Jakarta. Hal tersebut diasumsikan karena tingginya aktivitas di kota besar seperti Jakarta dan Bali. Pemerintah nasional maupun provinsi mengupayakan optimalisasi transisi penggunaan kendaraan listrik melalui adanya kebijakan berupa insentif dalam aktivitas transportasi. Provinsi DKI Jakarta merupakan salah satu provinsi yang diupayakan dalam pengoptimalan sarana dan prasaran kendaraan listrik. Jakarta sampai saat ini memiliki 83 titik Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) dan masih akan terus dikembangkan (Richardson, D. B., 2013). Riset ini bertujuan untuk mengidentifikasi transisi energi terbarukan dari kendaraan listrik yang digambarkan dari teori kompleksitas. Umumnya teori perencanaan transportasi sebelumnya, menggambarkan perencanaan transportasi yang sangat kuantitatif. Dalam perkembangan teori kompleksitas, self-organization merupakan konsep kunci dalam menganalisis dinamika perkotaan kompleks. Untuk mendebat pembangunan dengan perencanaan terpusat, self-organization menjadi kunci untuk memahami transformasi perkotaan dalam merespon tantangan kota kontemporer (Boonstra dan Rauws, 2021; Sengupta dkk, 2016). Riset ini akan membahas terkait

6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

perencanaan transportasi dengan perspektif lainnya melalui konsep *feedback loop* dengan self-organization menjadi kunci untuk memahami transformasi perkotaan dari adanya kendaraan listrik. *Feedback loop* oleh masyarakat memberikan dampak terhadap peningkatan demand terhadap kendaraan listrik yang menggambarkan bentuk lain dari keterkaitan antara perubahan antara transportasi dengan perkotaan. Dalam transisi energi terbarukan pendekatan perencanaan rigid yang tidak adaptif dan dinamis membuat proses perencanaan tidak dapat dilakukan secara transformatif. Pendekatan self-organization diperlukan dalam melihat perencanaan transportasi yang secara integral tidak dapat dipisahkan dari perkembangan sistem sosial perkotaan tersebut. Untuk itu, pendekatan perencanaan self-organization diharapkan dapat menganalisa proses transisi energi terbarukan melalui kendaraan listrik dan memberikan intervensi adaptif dan dinamis terhadap proses perubahan infrastruktur transportasi yang terjadi (Seddig, K., 2017). Sehingga berdasarkan pernyataan tersebut, dirumuskan pertanyaan penelitian: Bagaimana transisi energi terbarukan di indonesia pada konteks transportasi listrik dengan pendekatan self-organization system? hal ini dibahas dalam tiga (3) sub masalah yaitu mengidentifikasi kondisi kendaraan listrik pertama dan saat ini di Jakarta dan Indonesia. Kemudian hal tersebut diidentifikasi dari dukungan kebijakan dari pemerintah dalam transisi kendaraan listrik di Jakarta. Sehingga dapat diidentifikasi respon dan bagaimana kapasitas masyarakat dalam transisi kendaraan listrik. Sehingga dari proses tersebut dapat di identifikasi proses dan tahapan perencanaan yang dapat dilakukan dalam transisi kendaraan listrik di Jakarta.

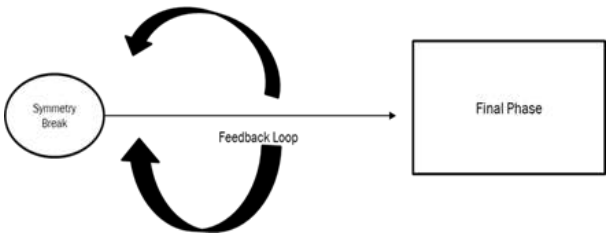
2. Kajian Literatur

2.1 Transisi kendaraan listrik

Penggunaan berkelanjutan bahan bakar fosil telah menyebabkan peningkatan yang stabil dari konsentrasi CO2 di atmosfer menjadi 400,26 ppm pada tahun 2015 (Abas, N., Kalair, A., & Khan, N., 2015). Sektor transportasi saat ini mulai beralih dari menggunakan bahan bakar fosil ke energi listrik yang lebih ramah lingkungan karena sektor ini terbanyak menyumbang emisi gas rumah kaca. Perkembangan penggunaan kendaraan listrik berkembang dengan cepat dengan pasar terbesar adalah Tiongkok diikuti wilayah Eropa dan Amerika Serikat. Perkembangan kendaraan listrik sangat bergantung dari kebijakan yang dikeluarkan oleh negaranya. Gelombang pertama kebangkitan dalam penggunaan kendaraan listrik dimulai pada awal 1970-an, dipicu terjadinya krisis minyak pertama di California. Pada 1980-an, baterai kendaraan listrik mulai digunakan karena pada saat itu timbul kekhawatiran tentang pasokan bahan bakar fosil dan tingginya peningkatan polusi udara terkait transportasi (Ajanovic, A., 2015). Pada periode ini, sejumlah produksi kendaraan listrik yang ada ditujukan untuk kebutuhan eksperimental. Terjadi kebangkitan pada awal 1990-an dikarenakan kekhawatiran yang berkembang terkait masalah iklim. kendaraan listrik adalah alternatif transportasi yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dan meningkatkan keamanan energi (Ajanovic, A., 2015). Manfaat lingkungan dan sosial dari adanya kendaraan listrik hanya dapat diwujudkan melalui adopsi oleh publik sebesar-besarnya. Beberapa masalah dan tantangan yang terkait dengan penyebaran dan manajemen kendaraan listrik (Mehar dkk, 2015) diantaranya: (1) biaya; (2) standar; (3) pembangkit listrik dan Smart Grid; (4) bantuan insentif; (5) keamanan komunikasi; dan (6) kerangka kerja dalam pengintegrasian. Semua hal tersebut penting dalam upaya agar penyebaran dan penggunaan EV dapat menarik pengguna kendaraan konvensional untuk beralih ke EV.

2.2 Konsep self organization

Dalam perkembangan teori kompleksitas, konsep self-organization yaitu konsep utama dalam mengidentifikasi dan menganalisa dinamika perkotaan secara kompleks. Self-organization merupakan produksi pola yang stabil dalam sistem non-ekuilibrium, yang dikendalikan oleh dinamika nonlinier (Keller E.F. 2009). Self-organization didefinisikan sebagai kemunculan keteraturan yang 'endogen' dan 'spontan' dalam sistem adaptif kompleks, sebagai hasil interaksi lokal yang tidak terkoordinasi (Boonstra, 2011). Self-organization adalah struktur global yang terbentuk secara spontan melalui interaksi lokal, terlepas dari kekuatan eksternal (Portugali, 2000). Dalam konteks self-organization, Boonstra dan Rauws (2011) menggambarkan self-organize perkotaan dalam beberapa komponen, yaitu empiris, aktual, dan real. Empiris merupakan pola kejadian dari fenomena perkotaan yang diamati. Aktual merupakan komponen kunci yang membentuk fenomena-fenomena yang diamati tersebut. Dan real dapat digambarkan sebagai mekanisme generatif self-organize yang dijelaskan dalam konsep *feedback loops* proses respon dari para pemangku kepentingan dalam merespon positif atau sebaliknya negatif tekanan yang terjadi sehingga mempengaruhi seluruh sistem perkotaan, dan fase final adalah transformasi struktural yang terjadi dari fenomena-fenomena perkotaan tersebut. Untuk lebih jelas dapat diilustrasikan sebagai berikut:



Sumber: Boonstra B and Boelens L (2011)

Gambar 3. Ilustrasi mekasime generatif self-organization

3. Metodologi Penelitian

Pendekatan penelitian ini bersifat deskriptif kualitatif menggunakan literatur dan beberapa informasi dari data sekunder dalam memenuhi sasaran. Persoalan ditinjau dari perpektif perkembangan transisi kendaraan terhadap adanya fenomena Renewable Energy dan pemanfaatannya pada sektor transportasi, terutama ketika mobil listrik muncul di Indonesia sampai dengan sekarang. Selanjutnya dilihat berdasarkan pendekatan

Diterima 6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
Copyright © 2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

kebijakan sebagai upaya mendukung transisi sumberdaya tersebut dari dukungan pemerintah. Adanya dukungan pemerintah akan dikorelasikan dengan respon masyarakat dalam masa transisi energi tersebut. Dalam penelitian ini, respon masyarakat dikategorikan menjadi tiga bentuk; feedback loop positif, netral dan feedback loop negatif dalam self-organization transisi energi kendaraan listrik. Selanjutnya dianalisis secara deskriptif untuk menyusun proses perencanaan pada masa transisi energi terhadap kendaraan listrik di Jakarta.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perkembangan kendaraan listrik di DKI Jakarta

Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 55 tahun 2019, tentang Percepatan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan, Pemerintah cukup serius dalam menanggulangi permasalahan lingkungan akibat dari penggunaan kendaraan berbahan bakar minyak yang menghasilkan emisi terbesar dari polusi perkotaan. Sehingga untuk meningkatkan efisiensi energi, ketahanan energi, dan konservasi energi sektor transportasi, dan terwujudnya energi bersih, kualitas udara bersih dan ramah lingkungan, serta komitmen Indonesia menurunkan emisi gas rumah kaca, perlu mendorong percepatan program kendaraan bermotor listrik berbasis baterai (*battery electric vehicle*) untuk transportasi jalan. Kendaraan listrik mulai meningkat setelah Presiden Joko Widodo mendukung program ITS dalam uji coba di lapangan. Setelah program tersebut mampu masuk dalam kehidupan masyarakat, sehingga transisi tersebut mulai meningkat secara signifikan sampai saat ini. Melalui Peraturan Gubernur nomor 3 tahun 2020 sebagai bentuk respon terhadap PP nomor 55 tahun 2019, upaya optimalisasi penggunaan kendaraan listrik terus dipertimbangkan secara serius. Seperti pemberian insentif tidak dikenakan Bea Balik Nama Kendaraan Bermotor (BBN-KB) dan pembebasan dari kebijakan ganjil-genap. Pemerintah juga bekerjasama dengan swasta, dengan mendaftarkan beberapa kendaraan listriknya untuk secara resmi mendapatkan insentif dalam kegiatan transportasi. Seperti Hyundai Ioniq, Hyundai Kona Electric, BMW i3s, Tesla Model 3, Tesla Model S P100D dan Tesla Model X merupakan mobil listrik yang secara resmi mendapatkan insetif kebijakan dalam pengoperasiannya. Selain itu motor listrik seperti EMOTO, GOVECS, TERRA dan berbagai jenis lainnya juga mendapatkan insentif yang sama untuk kebebasan BBN-KB di Jakarta. Produsen kendaraan listrik terus memaksimalkan penjualannya sebagai Kendaraan listrik dan didukung penyediaan fasilitas prasarana.

Untuk konteks prasarana kendaraan listrik salah satu infrastruktur yang disediakan adalah Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU). Jakarta menjadi salah satu wilayah yang diproritaskan dalam penyediaan infrastruktur penunjang kendaraan listrik tersebut, yang tersebar di berbagai lokasi di Jakarta. Fasilitas SPKLU ini bekerjasama dengan PT. Perusahaan Listrik Negara dengan pembuatan platform yang memudahkan pengguna menemukan titik-titik SPKLU saat ingin melakukan pengisian daya baterai. Hingga tahun 2021, Indonesia sudah memiliki lebih dari 155 SPKLU dengan konsumsi energi sebesar 60K kWh. Fasilitas SPKLU yang ada di DKI Jakarta bekerjasama dengan operator penyediaan seperti PT. PLN dan PT. Pertamina dan investor swasta lainnya.

Sehingga dapat dilihat bahwa transisi kendaraan listrik di Jakarta mengalami peningkatan yang cukup drastis dari sarana dan prasarana kendaraan listrik baik mobil maupun sepeda motor serta infrastruktur SPKLU mengalami peningkatan baik dari sisi jumlah maupun kualitas infrastruktur kendaraan listrik di Jakarta. Pola transisi ini memberikan arah perubahan kendaraan listrik di Kota Jakarta dan proses transformasi menuju bauran kendaraan listrik yang lebih besar di Jakarta sebagai kota dengan populasi terbanyak dan terpadat di

Tabel 2. Penyediaan SPKLU di kota Jakarta

Operator	Jumlah
PT. PLN	7 Unit
PT. Pertamina	4 Unit
Investor lainnya	72 Unit

Tabel 1. Metodologi penelitian

Sasaran	Analisis	Data	Output
Bagaimana kondisi kendaraan listrik pertama dan saat ini di jakarta di indonesia?	Analisis Deskriptif	Data sistem sarana (sepeda motor dan mobil listrik) dan prasarana (SPKLU) kendaraan listrik di Kota Jakarta tahun 2014 dan tahun 2021	Kondisi Perkembangan Kendaraan Listrik di Jakarta
Bagaimana dukungan pemerintah dalam transisi transportasi listrik ini?	Analisis Kebijakan	Data kebijakan Pemerintah Pusat dan Provinsi DKI Jakarta dalam mendukung transportasi listrik	Dukungan Pemerintah Dalam Transisi Transportasi Listrik
Bagaimana respon/kapasitas masyarakat dalam transisi kendaraan listrik?	Analisis *Feedback Loop*	Data *feedback loop self-organization* masyarakat terhadap transisis kendaraan listrik tahun 2014 dan Tahun 2021	Model Feedback Masyarakat Kota Jakarta Dalam Transisi Kendaraan Listrik
Apa proses perencanaan yang bisa dilakukan dalam transisi energi terbarukan dalam konteks kendaraan listrik?	Analisis Perencanaan Self-organization	Output sasaran 1, sasaran 2, dan sasaran 3	Proses Perencanaan Transisi Kendaraan Listrik

6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

Indonesia, yang menjadi awal transisi energi berkelanjutan Indonesia di masa akan datang.

4.2 Intervensi kebijakan terhadap transisi kendaraan listrik di DKI Jakarta

Terdapat beberapa intervensi pemerintah terhadap proses perubahan/transisi kendaraan listrik di Jakarta yang dilakukan baik oleh pemerintah pusat maupun pemerintah provinsi. Berikut adalah tabel intervensi kebijakan dalam proses transisi tersebut:

Dari tabel di bawah dapat dilihat upaya berbagai stakeholder baik level nasional maupun provinsi berupaya dalam kebijakan transisi kendaraan listrik menuju energi berkelanjutan baik dalam hal peningkatan *supply* sarana moda kendaraan listrik dan penyediaan infrastruktur penunjang dalam proses transisi kendaraan listrik di Jakarta, Indonesia. Upaya-upaya tersebut mendorong transisi kendaraan listrik di Jakarta dan proses transformasi masyarakat menuju masyarakat peduli energi bersih dan juga berpihak pada berkelanjutan.

4.3 Model *feedback loop* masyarakat terhadap kendaraan listrik di DKI Jakarta

Penggunaan Kendaraan listrik semakin meningkat karena kecendrungan masyarakat menjadikan aktivitas tersebut sebagai *lifestyle* dan *trend* dalam konteks *feedback loop* dari adanya transisi kendaraan listrik ini (Lund, 2005). Hal ini dibuktikan, dengan meningkatnya penjualan kendaraan listrik secara global berdasarkan data yang dikeluarkan oleh The Electric Vehicle World Sales Database, meningkat sampai 35% setiap tahunnya. Di Indonesia terutama DKI Jakarta, kendaraan listrik ini lebih banyak diterima pada golongan pendapatan kelas atas dan pro terhadap lingkungan (Biosentrisme) (Casals, 2017). Hal ini disebabkan karena harga penjualannya yang cukup tinggi dan fasilitas infrastruktur yang masih dianggap terbatas (Colmenar, 2019). Hal tersebut memberikan beberapa pandangan dan *feedback* dari masyarakat terhadap penggunaan Kendaraan listrik. Beberapa diantaranya sangat memberikan *feedback loop* positif terhadap *lifestyle* transisi penggunaan Kendaraan listrik, yang berarti beralih menggunakan kendaraan listrik

Tabel 3. Kebijakan terhadap proses transisi kendaraan listrik di Jakarta

Stakeholder	Sistem Kendaraan Listrik	Kebijakan	Sumber
Nasional	Sarana	Pasal 17: Kendaraan listrik dikenakan **pajak sebesar 15% (lima belas persen)**, dan tergolong sangat rendah dibandingkan spesifikasi kendaraan bermotor lainnya yang tergolong dalam Barang Mewah.	Peraturan Pemerintah Nomor 73 tahun 2019
		Dukungan atas PP nomor 55 tahun 2019 yang berfokus kepada penentuan **pajak secara khusus pada BEV**.	Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 8 Tahun 2020 tentang Penghitungan Dasar Pengenaan Pajak Kendaraan Bermotor dan Bea Balik Nama Kendaraan Bermotor
		Melakukan **pembatasan produksi mobil konvensional** di tahun 2050, dan membatasi penggunaan BBM untuk bahan bakar kendaraan dalam upaya penerapan Net Zero Emission (NZE)	Program Kementriam Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Net Zero Emission (NZE).
		Penjaminan **mutu keselamatan penggunaan BEV** sebagai moda transportasi.	Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 45 Tahun 2020 Peraturan Menteri Perhubungan tentang Kendaraan Tertentu dengan Menggunakan Penggerak Motor Listrik
		Berfokus tentang Spesifikasi, Peta Jalan Pengembangan, dan Ketentuan Penghitungan **Tingkat Komponen Dalam Negeri** Kendaraan Bermotor Dalam Negeri Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Kendaraan listrik).	Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 27 Tahun 2020
	Prasarana	Peraturan Menteri Perindustrian sebagai respon terhadap pasal 11 PP no 55 tahun 2019 yang berfokus pada **pasca penggunaan kendaraan**.	Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 28 Tahun 2020 tentang Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai Dalam Keadaan Terurai Lengkap dan Keadaan Terurai Tidak Lengkap.
		Mengatur tentang **penyediaan infrastruktur** dan upaya menekan dampak lingkungan akibat dari aktivitas transportasi berbahan bakar minyak.	Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 Peraturan Presiden tentang Percepatan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Kendaraan listrik) untuk Transportasi Jalan
		Peraturan ini sebagai bentuk dukungan pada PP nomor 55 tahun 2019 dan berfokus pada **penyediaan infrastruktur BEV**.	Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 13 Tahun 2020 tentang Penyediaan Infrastruktur Pengisian Listrik Untuk Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai
Provinsi	Sarana	Kendaraan bermotor listrik berbasis baterai **tidak dikenakan Bea Balik Nama Kendaraan Bermotor** (BBN-KB)	Peraturan Gubernur Nomor 3 tahun 2020
	Prasarana	Dalam pasal 4 Pergub DKI tersebut berisi aturan bahwa kendaraan yang digerakkan dengan motor listrik menjadi salah satu kendaraan **tidak dikenai pembatasan lalu lintas dengan sistem ganjil genap**.	Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 88 Tahun 2019 tentang tentang Pembatasan Lalu Lintas dengan Sitem Ganjil-Genap Jakarta

Diterima 6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
Copyright © 2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

dalam konteks transisi energi berkelanjutan, dan tidak sedikit juga yang menganggap transisi ini mempunyai *feedback loop* negatif dengan bentuk bahwa hal tersebut tidak cukup memberikan dampak terhadap lingkungan dan manfaat lain yang ditawarkan.

Feedback loop positif masyarakat yaitu adanya transisi kendaraan listrik lebih ramah biaya operasional karena tidak membutuhkan perawatan seperti kendaraan pada umumnya. Hal tersebut karena kendaraan listrik bertumpu pada sistem baterai dan tidak banyak suku cadang yang harus diperhatikan seperti mobil lainnya (Seddig, 2017). Selain itu juga menghemat biaya pada penggunaan bahan bakar, karena sebelumnya BBM menjadi salah satu yang memonopoli sistem penggerak kendaraan bermotor (Kurniawan, 2021). Tetapi dengan adanya transisi dan didukung adanya SPKLU memudahkan pengguna untuk menghemat pengeluarannya dalam hal transportasi. Namun, banyaknya keunggulan dan manfaat yang ditawarkan kepada pengguna belum cukup meyakinkan beberapa masyarakat. Sehingga tidak sedikit dari masyarakat DKI Jakarta yang tidak yakin untuk ber-transisi menggunakan kendaraan listrik (Rully 2020).

Feedback loop negatif masyarakat terhadap transisi penggunaan kendaraan listrik yaitu masyarakat belum benar-benar membuktikan manfaat yang ditawarkan. *Feedback* paling umum adalah harga yang ditawarkan untuk kendaraan listrik tergolong cukup tinggi dan cenderung tidak representatif untuk masyarakat kelas menengah yang cukup peduli terhadap lingkungan. Hal ini juga diperkuat dengan minimnya pengetahuan masyarakat mengenai spesifikasi dari kendaraan listrik selain dikenalkan sebagai kendaraan yang ramah lingkungan. Masyarakan berpendapat jika transisi ini sebagai bentuk gerakan kapitalis dari pemerintah dalam kerjasamanya bersama pihak swasta (Pratama, 2018). Pendapat ini semakin diperkuat karena penggunaan kendaraan listrik diinterpretasikan sebagai kendaraan pribadi dan sama sekali tidak membantu dalam mengurangi masalah kemacetan (Ikhsam, 2020) Pendapat itu diteruskan sebagai pertanyaan masyarakat bahwa seharusnya transisi kendaraan listrik difokuskan pada penyediaan transportasi publik dibandingkan kendaraan pribadi (Pratama, 2018). Berbagai feedback tersebut memberikan mengurangi upaya transisi self-organization kendaraan listrik di Jakarta.

Dari kedua respon tersebut, tidak sedikit juga yang mempunyai feedback loop netral, yang memberikan perspektif terutama masyarakat yang masyarakat pendapatan kelas bawah. Karena adanya transisi tersebut tidak memberikan dampak terhadap keseharian dalam bertransportasi. Model feedback loop ini lebih mengoptimalkan penggunaan fasilitas seperti transportasi publik atau berjalan kaki. Mereka menganggap bentuk kepedulian lingkungan atau penggunaan energi bersih dan penurunan gas rumah kaca, tidak selalu mengenai transisi menggunakan kendaraan listrik, tetapi juga dengan memanfaatkan pedestrian dan keterhubungan transportasi terhadap kegiatannya. Hal tersebut yang memberikan pernyataan bahwa biosentrisme tidak selalu dengan adanya teknologi, tetapi juga bentuk keterpedulian dari dalam diri untuk lingkungan.

4.4 Konsep self-organization di transisi kendaraan listrik

Proses transisi kendaraan listrik memerlukan upaya semua pihak dalam hal ini pemerintah, masyarakat, dan swasta untuk bersama-sama berupaya beralih dari kendaraan berbahan bakar fosil kepada kendaraan berbahan bakar listrik. Teori perencanaan self-organization memberikan alternatif dalam perumusan konsep perencanaan yang adaptif dan dinamis yaitu melihat proses transformasi ini dalam sistem sarana (moda) dan prasarana (infrastruktur penunjang) serta kebijakan-kebijakan pemerintah dalam mengintervesi *feedback loop* yang terjadi dalam transisi. Hal ini memberikan rekomendasi kebijakan yang dapat dilakukan dari beberapa literatur yang telah di dapat. Hal tersebut di rumuskan dalam strategi berikut ini:

a. Penurunan biaya kendaraan listrik, melalui:
   - Inovasi swasta dalam penurunan harga beli kendaraan listrik
   - Pemberian insentif kepada produsen kendaraan listrik dan disinsentif kepada produsen kendaraan fosil
   - Pemberian insentif lebih besar kepada konsumen kendaraan listrik dan disinsentif kepada konsumen kendaraan berbahan bakar fosil

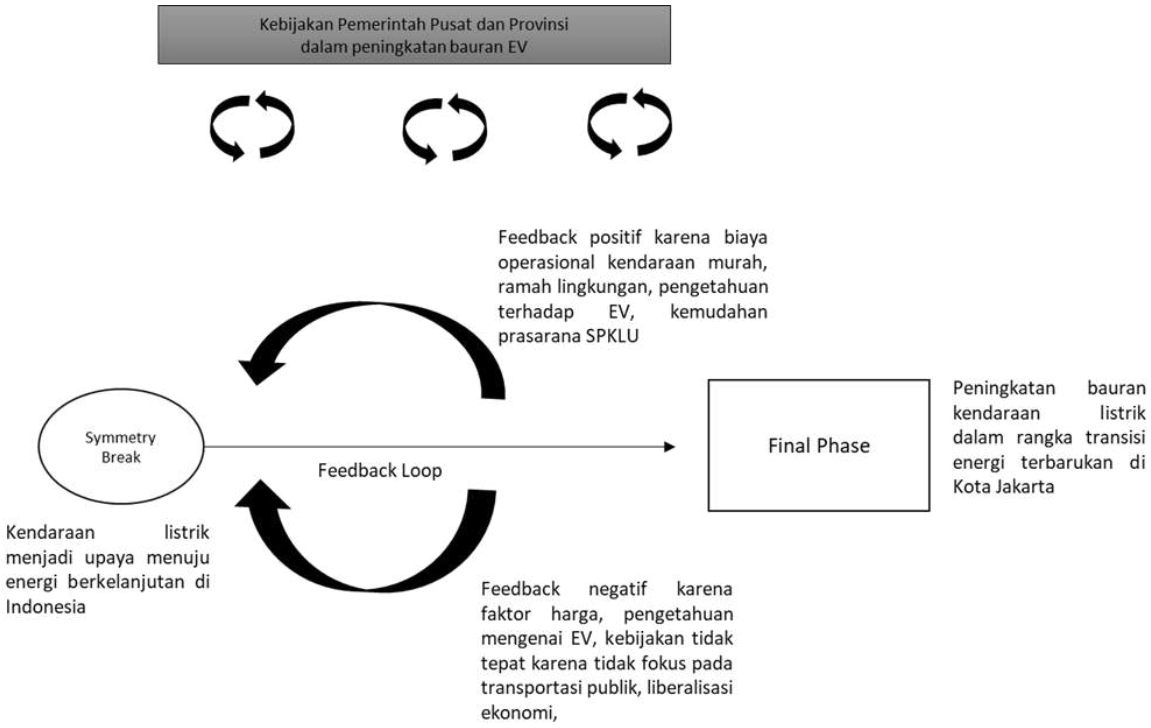
b. Peningkatan pengetahuan masyarakat mengenai efisiensi, keamanan, dan kenyamanan kendaraan listrik, melalui:
   - Demonstrasi mengenai kendaraan listrik tentang keamanan, efisiensi, dan kenyamanan menggunakan kendaraan listrik
   - Sosialisasi kemudahan dan ketersediaan SPKLU

c. Peningkatan prasarana SPKLU di publik, melalui:
   - Kerjasama dengan penyedia SPKLU baik dengan swasta atau perusahaan milik negara lainnya
   - Memberikan insentif bagi transisi penyedia SPKLU

Dalam *conceptual framework* transisi kendaraan listrik ini dapat diilustrasikan dalam diagram berikut :

Sehingga dalam transisi kendaraan listrik ini penggunaan kendaraan listrik dapat meningkat serta proses feedback loop dalam model self-organization kendaraan listrik dapat ditingkatkan melalui beberapa kebijakan dan inovasi yang dapat dilakukan dari pemerintah, swasta, dan masyarakat untuk berupaya menurunkan harga kendaraan listrik, mempermudah pelayanan pengisian kendaraan listrik, mempermudah pengetahuan masyarakat mengenai kendaraan listrik, dan pemberian insentif bagi penggunaan kendaraan listrik.

6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7



Gambar 4. *Conceptual framework* transisi kendaraan listrik

5. Kesimpulan

1. Transisi energi terbarukan di Indonesia merupakan proses yang kompleks, memerlukan inovasi dan kebijakan dari berbagai pemangku kepentingan, terutama dalam konteks transisi kendaraan listrik di Jakarta.
2. Ditemukan terdapat peningkatan kendaraan listrik di Kota Jakarta dari tahun 2014 sampai dengan 2021, melalui dukungan pemerintah dan proses *feedback* dari masyarakat, transisi ini berlanjut dalam transformasi menuju energi terbarukan.
3. Perlu upaya lebih dalam transisi ini, terutama dalam inovasi-inovasi baik penyediaan kendaraan listrik, pengisian bahan bakar listrik, pengetahuan masyarakat, dan insentif penggunaan kendaraan. Hal tersebut mengarah pada proses perubahan yang memerlukan pemahaman mengenai perilaku masyarakat, swasta, dan pembuat kebijakan dalam proses perubahan yang kompleks.
4. Hal ini membutuhkan pemahaman mendalam mengenai inovasi yang tepat dalam percepatan peralihan dari kendaraan fosil menuju kendaraan berbahan bakar listrik.
5. Penelitian ini memiliki keterbatasan dalam pembahasan transportasi umum sebagai salah satu proses transisi kendaraan listrik; transisi energi bersih pada aktivitas lain; konteks teknis dan pendalaman mengenai perilaku konsumen, produsen, dan pembuat kebijakan dalam transisi kendaraan listrik.
6. Penelitian selanjutnya diperlukan dalam mengidentifikasi inovasi kota lain dan perilaku perkotaan serta komponen di dalamnya dalam konteks sistem transportasi secara utuh pada transisi kendaraan listrik di dunia.

Daftar Pustaka

Abas, N., Kalair, A., & Khan, N.(2015). Review of Fossil Fuels and Future Energy Technologies. Futures, 69(May 2015), 31–49.DOI: 10.1016/ j.futures.2015.03.003

Ajanovic, A.(2015). The Future of Electric Vehicles: Prospects and Impediments. Wiley InterdisciplinReviews(WIREs)Energy & Environment, 4(6),521–536.

BULL, S. R. (2001). Renewable energy today and tomorrow. Proceedings of the IEEE (hal. 8). USA: National Renewable Energy Laboratory.

Boonstra B and Boelens L (2011) Self-organization in urban development: Towards a new perspective on spatial planning. Urban Research & Practice 4: 99–122.

Buonocore, J. J. (2019). Metrics for the sustainable development goals: Metrics for the sustainable development goals:. Social Science, 5-136.

Casals, L. C. (2017). Sustainability analysis of the electric vehicle use in Europe for CO2 emissions reduction. Journal of Clean Production, 425-437.

Diterima 6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
Copyright © 2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB

Colmenar-Santos, A. (2019). Electric vehicle charging strategy to support renewable energy sources in Europe 2050 low-carbon scenario. Energy, 61-74.

Ikhsam. 2020. Anies Resmi Bebaskan Pajak Kendaraan Listrik di Jakarta. https:// www.cnnindonesia.com/ teknologi/20200123162040-384-468056/anies-resmi-bebaskan-pajak-kendaraan-listrik-di-jakarta. Diakses pada 12 November 2021.

IRENA. (2017). Renewable Energy Prospect in Indonesia. Abu Dhabi: IRENA.

Kementrian Perindustrian Republik Indonesia. 2021. Mobil Listrik Butuh Tambahan Insentif.https:// www.liputan6.com/otomotif/read/4687347/ dorong-perkembangan-kendaraan-listrik-ini-insentif-fiskal-dan-non-fiskal-dari-pemerintah. Diakses pada 11 November 2021.

Keller E.F. (2009), Organisms, Machines, and Thunderstorms: A History of Self-Organization, Part Two, Complexity, Emergence, and Stable Attractors. Historical Studies in the Natural Sciences 39(1): 1-31.

Lund, H. (2005). Renewable energy strategies for sustainable development. 3rd Dubrovnik conference on sustainable development of energy, water and environment systems (hal. -). Denmark: Aalborg Universitet.

Mehar, S., Rémy, G., Zeadally, S., & Senouci, S.M. (2015). Smart Management System for a Fleet of Electric Vehicles. IEEE Transaction Intelligent Transportation Systems16(3), 1401–1414

Moradi, A. (2018). A multi-level perspective analysis of urban mobility system dynamics: What are the future transition pathways? Technological Forecasting & Social Change, 231–243.

Nilsson, M. (2016). Governing the electric vehicle transition – Near term interventions. Applied Energy, 1360–1371.

Nienhueser, I. A. (2016). Economic and environmental impacts of providing renewable energy for electric vehicle charging – A choice experiment study. Applied Energy, 256–268.

Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 28 tahun 2020 tentang Peraturan Menteri Perindustrian tentang Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai Dalam Keadaan Terurai Lengkap dan Keadaan Terurai Tidak Lengkap

Peraturan Pemerintah Nomor 73 tahun 2019 Barang Kena Pajak yang Tergolong Mewah Berupa Kendaraan Bermotor yang Dikenai Pajak Penjualan atas Barang Mewah.

Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Kendaraan listrik)

Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 13 Tahun 2020 tentang Penyediaan Infrastruktur Pengisian Listrik Untuk Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai.

Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 27 Tahun 2020 tentang Spesifikasi, Peta Jalan Pengembangan, dan Ketentuan Penghitungan Tingkat Komponen Dalam Negeri Kendaraan Bermotor Dalam Negeri Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Kendaraan listrik).

Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 8 Tahun 2020 tentang Penghitungan Dasar Pengenaan Pajak Kendaraan Bermotor Dan Bea Balik Nama Kendaraan Bermotor.

Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 45 Tahun 2020 tentang Kendaraan Tertentu dengan Menggunakan Penggerak Motor Listrik.

Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 3 tahun 2020 tentang Kendaraan bermotor listrik berbasis baterai tidak dikenakan Bea Balik Nama Kendaraan Bermotor (BBN-KB).

Portugali, J (2000) Self-organization and The City. Berlin: Springer.

Pratama, Rizki. 2018. Kendaraan Listrik di Mata Masyarakat Indonesia. https:// www.gardaoto.com/blog/manfaat-mobil-listrik-yang-perlu-anda-tahu https://oto.detik.com/ mobil/d-4243167/kendaraan-listrik-di-mata-masyarakat-indonesia. Diakses pada, 10 November 2021.

Richardson, D. B. (2013). Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 247–254.

Rizki, Fahmi. 2021. Pemerintah Hadirkan 187 Titik SPKLU, Terbanyak di DKI Jakarta. https:// www.liputan6.com/otomotif/read/4685330/ pemerintah-hadirkan-187-titik-spklu-terbanyak-di-dki-jakarta. Diakses pada 12 November 2021.

Rully R. Ramli. 2020. Ini Insentif Kendaraan Listrik yang Sedang Disiapkan Pemerintah. https:// money.kompas.com/ read/2021/09/05/110100626/ini-insentif-

6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

kendaraan-listrik-yang-sedang-disiapkan-pemerintah?page=all. Diakses pada 11 November 2021.

Seddig, K. (2017). Integrating renewable energy sources by electric vehicle fleets under uncertainty. Energy, 2145-2153.

Zulfikar, Elmier. 2021. Skema Pajak Mobil Elektrifikasi dan Pajak Kendaraan Berbasis Emisi Berlaku Oktober Tahun Ini, Yuk Lihat Lagi Detilnya. https://www.gridoto.com/read/222492149/skema-pajak-mobil-elektrifikasi-dan-pajak-kendaraan-berbasis-emisi-berlaku-oktober-tahun-ini-yuk-lihat-lagi-detilnya. Diakses pada 11 November 2021.

Zhing, J. (2012). Strategic Policies and Demonstration Program of Electric Vehicle in China. Transport Policy, 17-25. https://doi.org/10.1002/wene.160

Diterima 6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
Copyright © 2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

ISSN 0853-2982 eISSN 2549-265

JURNAL TEKNIK SIPIL
Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

Transisi Energi Terbarukan di Indonesia: Dinamika Kendaraan Listrik dengan Pendekatan Self-organization di Kota Jakarta

Muhammad Zainal Ibad(*)
Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia.
Program studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365, E-mail: zainal.ibad@pwk.itera.ac.id

Salwa Nabilla Antiqasari
Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia., E-mail: salwanabillaantiqasari@gmail.com

Delik Hudalah
Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia., E-mail: d.hudalah@itb.ac.id

Puspita Dirgahayani
Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia., E-mail: pdirgahayani@sappk.itb.ac.id

Abstrak

Transisi energi terbarukan merupakan salah satu perubahan yang memberikan dampak positif terhadap lingkungan. Salah satu aktivitas yang banyak menyumbang emisi CO2 adalah aktivitas transportasi. Indonesia menjadi salah satu dari lima negara bersama Cina, Jepang, Korea, dan India menjadi penyumbang CO2 terbanyak kepada global terutama dalam transportasi. Hadirnya transisi kendaraan listrik menjadi salah satu solusi untuk mengurangi polusi serta energi terbarukan. Self-organization merupakan pendekatan perencanaan transformatif untuk melihat kompleksitas transisi. Dengan menggunakan metode analisis deskriptif, analisis kebijakan, dan analisis feedback loop, artikel ini ingin menunjukkan bagaimana proses transisi kendaraan listrik ini di DKI Jakarta, sebagai wilayah perkotaan terbesar dan terpadat di Indonesia. Hasil menunjukkan terdapat peningkatan perubahan kendaraan listrik, dukungan pemerintah, serta feedback positif dan negatif dari masyarakat. Penelitian ini merekomendasikan strategi self-organization transformasi kendaraan listrik dengan melibatkan berbagai pihak dalam proses perubahan sistem transportasi di Indonesia.

Kata-kata Kunci: Kendaraan listrik; self-organization system, energi terbarukan , DKI Jakarta

Abstract

The transition to renewable energy is one of the changes that have a positive impact on the environment. One activity that contributes a lot to CO2 emissions is transportation activities. Indonesia is one of the five countries along with China, Japan, Korea, and India to be the largest contributor of CO2 to the world, especially in transportation. The presence of the transition to electric vehicles is one solution to reduce pollution and renewable energy. Self-organization is a transformative planning approach to see the complexity of the transition. By using descriptive analysis methods, policy analysis, and feedback loop analysis, this article wants to show how the transition process for electric vehicles is in DKI Jakarta, as the largest and most densely populated urban area in Indonesia. The results show that there is an increase in changes to electric vehicles, government support, as well as positive and negative feedback from the community. This study recommends a self-organization strategy for transforming electric vehicles by involving various parties in the process of changing the transportation system in Indonesia.

Keywords: Electric vehicle, self-organization system, renewable energy, DKI Jakarta

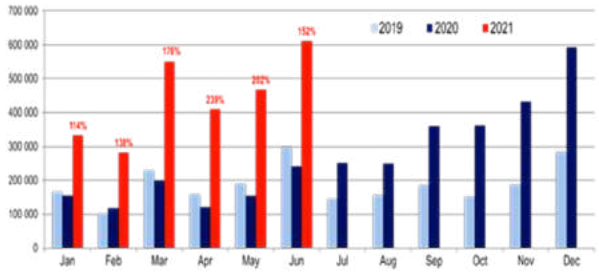
1. Pendahuluan

Renewable Energy merupakan sumberdaya yang menawarkan penghematan energi berupa self-renewing dengan bersumber dari sinar matahari, air, angin, panas bumi dan biomassa (BULL, S. R., 2001). Renewable Energy umumnya dimanfaatkan untuk tiga kegiatan seperti kegiatan pembangunan, industri, agrikultur dan transportasi (BULL, S. R., 2001). Penggunaan Renewable energy di Indonesia meningkat sebanyak

* *Penulis Korespondensi*

Diterima 6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
Copyright © 2022 Dikelola oleh Jurnal Teknik Sipil ITB

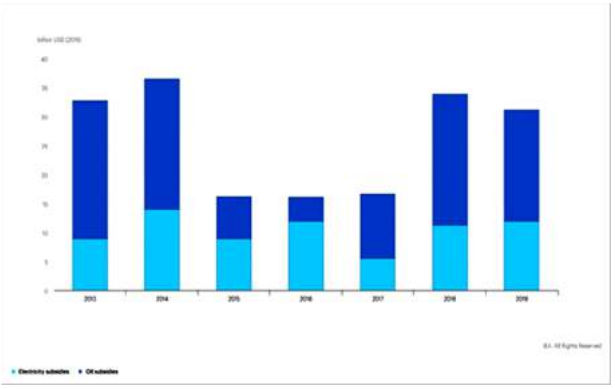
80%, dan termasuk dalam lima negara teratas dengan pangsa energi terbarukan tertinggi di kawasan Asia-Pasifik. Pangsa menyumbang bauran terbesar berasal dari pembangkit listrik tenaga air (sekitar 8%) dan pembangkit panas bumi (5 %) (Buonocore, J. J., 2019). Hal ini didukung oleh kebijakan pemerintah melalui kebijakan energi nasional untuk supply 23 % dari total pasokan energi primer yang dihasilkan oleh sumber terbarukan modern pada tahun 2025 dan 31 % pada tahun 2050 (IRENA, 2017). Fenomena ini memungkinkan peningkatan dalam penggunaan tenaga listrik terutama pada aktivitas transportasi sekitar 42,5 juta kendaraan listrik di tahun 2030 (Lund, H. 2005). Kendaraan listrik berkontribusi terhadap transisi energi dunia, karena mampu mengurangi masalah polusi pada aktivitas transportasi dengan terbukti dalam penggunaannya yang bebas emisi (Casals, L. C., 2017). Kendaraan listrik menjadi salah satu terobosan utama dalam pemanfaatan transisi sumberdaya terbarukan dan menawarkan banyak solusi dari permasalahan lingkungan. Dimana, Indonesia menjadi salah satu negara bersama Cina, Jepang, Korea, dan India sebagai penyumbang CO2 sebanyak 40% kepada dunia (Casals, L. C., 2017). Fakta tersebut yang membuat transisi energi dalam transportasi dirasa penting untuk mengatasi berbagai masalah lingkungan.



Sumber: IRENA, 2017

Gambar 1. Diagram tingkat permintaan kendaraan listrik di dunia 2019-2021

Berdasarkan data yang diterbitkan oleh The Electic Vehicle World Sales Database tahun 2019-2021, tingkat permintaan penggunaan kendaraan listrik terus meningkat di dunia global. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat cukup menerima dengan positif terhadap kendaraan listrik. Hadirnya kendaraan listrik di Indonesia juga meningkat sejak tahun 2020, dimana perusahaan yang bergerak dalam bidang tersebut menawarkan berbagai fitur kecanggihan pada moda tersebut. Seperti, kendaraan berbasis clean energy, menghemat biaya bahan bakar karena ber-transisi ke sumberdaya listrik, menerapkan Intelligent Transport System (ITS) yang menjamin keamanan saat berkendara (Colmenar-Santos, A., 2019). Selain itu, kendaraan listrik di indonesia muncul pada tahun 2014 ketika mobil listrik ITS melakukan uji coba operasional dengan menempuh sejauh 800 km dengan rute Jakarta - Bandung - Tasikmalaya - Purwokerto - Jogjakarta - Madiun - Surabaya (Nienhueser, I. A., 2016). Alasan tersebut menyembabkan terjadinya peningkatan konsumsi kendaraan listrik di Indonesia, serta didukung oleh kebijakan pemerintah yang menaruh prioritas utama pada mobil listrik. Pada awalnya Presiden Joko Widodo membuat regulasi pertama setelah adanya transisi ke renewable energi pada Peraturan Pemerintah Nomor 73 tahun 2019 bahwa Indonesia memiliki peluang menerapkan kendaraan listrik sebagai bentuk mendukung energi terbarukan. Lalu dilanjutkan dengan adanya Peraturan Presiden nomor 55 Tahun 2019 mengenai penggunaan kendaraan listrik sebagai bentuk pengurangan penggunaan BBM dan menjaga kualitas lingkungan. Hingga saat ini regulasi pemerintah dalam upaya mendukung penggunaan Kendaraan listrik terus disempurnakan dengan tujuan mencapai salah satu Sustainable Development Goals (SDGs) ke-7 "Affordable and Clean Energy".



Sumber: IRENA, 2017

Gambar 2. Subsidi penggunaan bahan penggerak kendaraan listrik di indonesia

Berdasarkan data subsidi bahan penggerak kendaraan listrik terus meningkat dari tahun 2017 hingga 2019, yang memberikan pernyataan bahwa pemerintah cukup serius terhadap transisi sumberdaya pada kendaraan listrik. Transisi penggunaan kendaraan listrik mulai cukup berkembang di kota besar seperti Bali dan Jakarta. Hal tersebut diasumsikan karena tingginya aktivitas di kota besar seperti Jakarta dan Bali. Pemerintah nasional maupun provinsi mengupayakan optimalisasi transisi penggunaan kendaraan listrik melalui adanya kebijakan berupa insentif dalam aktivitas transportasi. Provinsi DKI Jakarta merupakan salah satu provinsi yang diupayakan dalam pengoptimalan sarana dan prasaran kendaraan listrik. Jakarta sampai saat ini memiliki 83 titik Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) dan masih akan terus dikembangkan (Richardson, D. B., 2013). Riset ini bertujuan untuk mengidentifikasi transisi energi terbarukan dari kendaraan listrik yang digambarkan dari teori kompleksitas. Umumnya teori perencanaan transportasi sebelumnya, menggambarkan perencanaan transportasi yang sangat kuantitatif. Dalam perkembangan teori kompleksitas, self-organization merupakan konsep kunci dalam menganalisis dinamika perkotaan kompleks. Untuk mendebat pembangunan dengan perencanaan terpusat, self-organization menjadi kunci untuk memahami transformasi perkotaan dalam merespon tantangan kota kontemporer (Boonstra dan Rauws, 2021; Sengupta dkk, 2016). Riset ini akan membahas terkait

6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

perencanaan transportasi dengan perspektif lainnya melalui konsep *feedback loop* dengan self-organization menjadi kunci untuk memahami transformasi perkotaan dari adanya kendaraan listrik. *Feedback loop* oleh masyarakat memberikan dampak terhadap peningkatan demand terhadap kendaraan listrik yang menggambarkan bentuk lain dari keterkaitan antara perubahan antara transportasi dengan perkotaan. Dalam transisi energi terbarukan pendekatan perencanaan rigid yang tidak adaptif dan dinamis membuat proses perencanaan tidak dapat dilakukan secara transformatif. Pendekatan self-organization diperlukan dalam melihat perencanaan transportasi yang secara integral tidak dapat dipisahkan dari perkembangan sistem sosial perkotaan tersebut. Untuk itu, pendekatan perencanaan self-organization diharapkan dapat menganalisa proses transisi energi terbarukan melalui kendaraan listrik dan memberikan intervensi adaptif dan dinamis terhadap proses perubahan infrastruktur transportasi yang terjadi (Seddig, K., 2017). Sehingga berdasarkan pernyataan tersebut, dirumuskan pertanyaan penelitian: Bagaimana transisi energi terbarukan di indonesia pada konteks transportasi listrik dengan pendekatan self-organization system? hal ini dibahas dalam tiga (3) sub masalah yaitu mengidentifikasi kondisi kendaraan listrik pertama dan saat ini di Jakarta dan Indonesia. Kemudian hal tersebut diidentifikasi dari dukungan kebijakan dari pemerintah dalam transisi kendaraan listrik di Jakarta. Sehingga dapat diidentifikasi respon dan bagaimana kapasitas masyarakat dalam transisi kendaraan listrik. Sehingga dari proses tersebut dapat di identifikasi proses dan tahapan perencanaan yang dapat dilakukan dalam transisi kendaraan listrik di Jakarta.

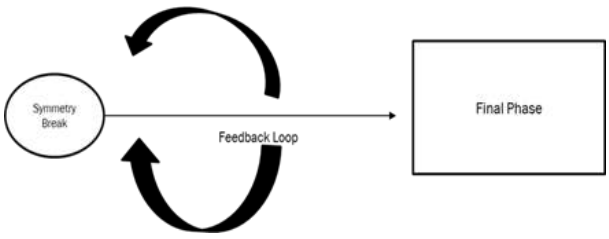
2. Kajian Literatur

2.1 Transisi kendaraan listrik

Penggunaan berkelanjutan bahan bakar fosil telah menyebabkan peningkatan yang stabil dari konsentrasi CO2 di atmosfer menjadi 400,26 ppm pada tahun 2015 (Abas, N., Kalair, A., & Khan, N., 2015). Sektor transportasi saat ini mulai beralih dari menggunakan bahan bakar fosil ke energi listrik yang lebih ramah lingkungan karena sektor ini terbanyak menyumbang emisi gas rumah kaca. Perkembangan penggunaan kendaraan listrik berkembang dengan cepat dengan pasar terbesar adalah Tiongkok diikuti wilayah Eropa dan Amerika Serikat. Perkembangan kendaraan listrik sangat bergantung dari kebijakan yang dikeluarkan oleh negaranya. Gelombang pertama kebangkitan dalam penggunaan kendaraan listrik dimulai pada awal 1970-an, dipicu terjadinya krisis minyak pertama di California. Pada 1980-an, baterai kendaraan listrik mulai digunakan karena pada saat itu timbul kekhawatiran tentang pasokan bahan bakar fosil dan tingginya peningkatan polusi udara terkait transportasi (Ajanovic, A., 2015). Pada periode ini, sejumlah produksi kendaraan listrik yang ada ditujukan untuk kebutuhan eksperimental. Terjadi kebangkitan pada awal 1990-an dikarenakan kekhawatiran yang berkembang terkait masalah iklim. kendaraan listrik adalah alternatif transportasi yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dan meningkatkan keamanan energi (Ajanovic, A., 2015). Manfaat lingkungan dan sosial dari adanya kendaraan listrik hanya dapat diwujudkan melalui adopsi oleh publik sebesar-besarnya. Beberapa masalah dan tantangan yang terkait dengan penyebaran dan manajemen kendaraan listrik (Mehar dkk, 2015) diantaranya: (1) biaya; (2) standar; (3) pembangkit listrik dan Smart Grid; (4) bantuan insentif; (5) keamanan komunikasi; dan (6) kerangka kerja dalam pengintegrasian. Semua hal tersebut penting dalam upaya agar penyebaran dan penggunaan EV dapat menarik pengguna kendaraan konvensional untuk beralih ke EV.

2.2 Konsep self organization

Dalam perkembangan teori kompleksitas, konsep self-organization yaitu konsep utama dalam mengidentifikasi dan menganalisa dinamika perkotaan secara kompleks. Self-organization merupakan produksi pola yang stabil dalam sistem non-ekuilibrium, yang dikendalikan oleh dinamika nonlinier (Keller E.F. 2009). Self-organization didefinisikan sebagai kemunculan keteraturan yang 'endogen' dan 'spontan' dalam sistem adaptif kompleks, sebagai hasil interaksi lokal yang tidak terkoordinasi (Boonstra, 2011). Self-organization adalah struktur global yang terbentuk secara spontan melalui interaksi lokal, terlepas dari kekuatan eksternal (Portugali, 2000). Dalam konteks self-organization, Boonstra dan Rauws (2011) menggambarkan self-organize perkotaan dalam beberapa komponen, yaitu empiris, aktual, dan real. Empiris merupakan pola kejadian dari fenomena perkotaan yang diamati. Aktual merupakan komponen kunci yang membentuk fenomena-fenomena yang diamati tersebut. Dan real dapat digambarkan sebagai mekanisme generatif self-organize yang dijelaskan dalam konsep *feedback loops* proses respon dari para pemangku kepentingan dalam merespon positif atau sebaliknya negatif tekanan yang terjadi sehingga mempengaruhi seluruh sistem perkotaan, dan fase final adalah transformasi struktural yang terjadi dari fenomena-fenomena perkotaan tersebut. Untuk lebih jelas dapat diilustrasikan sebagai berikut:



Sumber: Boonstra B and Boelens L (2011)

Gambar 3. Ilustrasi mekasime generatif self-organization

3. Metodologi Penelitian

Pendekatan penelitian ini bersifat deskriptif kualitatif menggunakan literatur dan beberapa informasi dari data sekunder dalam memenuhi sasaran. Persoalan ditinjau dari perpektif perkembangan transisi kendaraan terhadap adanya fenomena Renewable Energy dan pemanfaatannya pada sektor transportasi, terutama ketika mobil listrik muncul di Indonesia sampai dengan sekarang. Selanjutnya dilihat berdasarkan pendekatan

Diterima 6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
Copyright © 2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

kebijakan sebagai upaya mendukung transisi sumberdaya tersebut dari dukungan pemerintah. Adanya dukungan pemerintah akan dikorelasikan dengan respon masyarakat dalam masa transisi energi tersebut. Dalam penelitian ini, respon masyarakat dikategorikan menjadi tiga bentuk; feedback loop positif, netral dan feedback loop negatif dalam self-organization transisi energi kendaraan listrik. Selanjutnya dianalisis secara deskriptif untuk menyusun proses perencanaan pada masa transisi energi terhadap kendaraan listrik di Jakarta.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perkembangan kendaraan listrik di DKI Jakarta

Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 55 tahun 2019, tentang Percepatan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan, Pemerintah cukup serius dalam menanggulangi permasalahan lingkungan akibat dari penggunaan kendaraan berbahan bakar minyak yang menghasilkan emisi terbesar dari polusi perkotaan. Sehingga untuk meningkatkan efisiensi energi, ketahanan energi, dan konservasi energi sektor transportasi, dan terwujudnya energi bersih, kualitas udara bersih dan ramah lingkungan, serta komitmen Indonesia menurunkan emisi gas rumah kaca, perlu mendorong percepatan program kendaraan bermotor listrik berbasis baterai (*battery electric vehicle*) untuk transportasi jalan. Kendaraan listrik mulai meningkat setelah Presiden Joko Widodo mendukung program ITS dalam uji coba di lapangan. Setelah program tersebut mampu masuk dalam kehidupan masyarakat, sehingga transisi tersebut mulai meningkat secara signifikan sampai saat ini. Melalui Peraturan Gubernur nomor 3 tahun 2020 sebagai bentuk respon terhadap PP nomor 55 tahun 2019, upaya optimalisasi penggunaan kendaraan listrik terus dipertimbangkan secara serius. Seperti pemberian insentif tidak dikenakan Bea Balik Nama Kendaraan Bermotor (BBN-KB) dan pembebasan dari kebijakan ganjil-genap. Pemerintah juga bekerjasama dengan swasta, dengan mendaftarkan beberapa kendaraan listriknya untuk secara resmi mendapatkan insentif dalam kegiatan transportasi. Seperti Hyundai Ioniq, Hyundai Kona Electric, BMW i3s, Tesla Model 3, Tesla Model S P100D dan Tesla Model X merupakan mobil listrik yang secara resmi mendapatkan insetif kebijakan dalam pengoperasiannya. Selain itu motor listrik seperti EMOTO, GOVECS, TERRA dan berbagai jenis lainnya juga mendapatkan insentif yang sama untuk kebebasan BBN-KB di Jakarta. Produsen kendaraan listrik terus memaksimalkan penjualannya sebagai Kendaraan listrik dan didukung penyediaan fasilitas prasarana.

Untuk konteks prasarana kendaraan listrik salah satu infrastruktur yang disediakan adalah Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU). Jakarta menjadi salah satu wilayah yang diproritaskan dalam penyediaan infrastruktur penunjang kendaraan listrik tersebut, yang tersebar di berbagai lokasi di Jakarta. Fasilitas SPKLU ini bekerjasama dengan PT. Perusahaan Listrik Negara dengan pembuatan platform yang memudahkan pengguna menemukan titik-titik SPKLU saat ingin melakukan pengisian daya baterai. Hingga tahun 2021, Indonesia sudah memiliki lebih dari 155 SPKLU dengan konsumsi energi sebesar 60K kWh. Fasilitas SPKLU yang ada di DKI Jakarta bekerjasama dengan operator penyediaan seperti PT. PLN dan PT. Pertamina dan investor swasta lainnya.

Sehingga dapat dilihat bahwa transisi kendaraan listrik di Jakarta mengalami peningkatan yang cukup drastis dari sarana dan prasarana kendaraan listrik baik mobil maupun sepeda motor serta infrastruktur SPKLU mengalami peningkatan baik dari sisi jumlah maupun kualitas infrastruktur kendaraan listrik di Jakarta. Pola transisi ini memberikan arah perubahan kendaraan listrik di Kota Jakarta dan proses transformasi menuju bauran kendaraan listrik yang lebih besar di Jakarta sebagai kota dengan populasi terbanyak dan terpadat di

Tabel 2. Penyediaan SPKLU di kota Jakarta

Operator	Jumlah
PT. PLN	7 Unit
PT. Pertamina	4 Unit
Investor lainnya	72 Unit

Tabel 1. Metodologi penelitian

Sasaran	Analisis	Data	Output
Bagaimana kondisi kendaraan listrik pertama dan saat ini di jakarta di indonesia?	Analisis Deskriptif	Data sistem sarana (sepeda motor dan mobil listrik) dan prasarana (SPKLU) kendaraan listrik di Kota Jakarta tahun 2014 dan tahun 2021	Kondisi Perkembangan Kendaraan Listrik di Jakarta
Bagaimana dukungan pemerintah dalam transisi transportasi listrik ini?	Analisis Kebijakan	Data kebijakan Pemerintah Pusat dan Provinsi DKI Jakarta dalam mendukung transportasi listrik	Dukungan Pemerintah Dalam Transisi Transportasi Listrik
Bagaimana respon/kapasitas masyarakat dalam transisi kendaraan listrik?	Analisis *Feedback Loop*	Data *feedback loop self-organization* masyarakat terhadap transisis kendaraan listrik tahun 2014 dan Tahun 2021	Model Feedback Masyarakat Kota Jakarta Dalam Transisi Kendaraan Listrik
Apa proses perencanaan yang bisa dilakukan dalam transisi energi terbarukan dalam konteks kendaraan listrik?	Analisis Perencanaan Self-organization	Output sasaran 1, sasaran 2, dan sasaran 3	Proses Perencanaan Transisi Kendaraan Listrik

6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

Indonesia, yang menjadi awal transisi energi berkelanjutan Indonesia di masa akan datang.

4.2 Intervensi kebijakan terhadap transisi kendaraan listrik di DKI Jakarta

Terdapat beberapa intervensi pemerintah terhadap proses perubahan/transisi kendaraan listrik di Jakarta yang dilakukan baik oleh pemerintah pusat maupun pemerintah provinsi. Berikut adalah tabel intervensi kebijakan dalam proses transisi tersebut:

Dari tabel di bawah dapat dilihat upaya berbagai stakeholder baik level nasional maupun provinsi berupaya dalam kebijakan transisi kendaraan listrik menuju energi berkelanjutan baik dalam hal peningkatan *supply* sarana moda kendaraan listrik dan penyediaan infrastruktur penunjang dalam proses transisi kendaraan listrik di Jakarta, Indonesia. Upaya-upaya tersebut mendorong transisi kendaraan listrik di Jakarta dan proses transformasi masyarakat menuju masyarakat peduli energi bersih dan juga berpihak pada berkelanjutan.

4.3 Model *feedback loop* masyarakat terhadap kendaraan listrik di DKI Jakarta

Penggunaan Kendaraan listrik semakin meningkat karena kecendrungan masyarakat menjadikan aktivitas tersebut sebagai *lifestyle* dan *trend* dalam konteks *feedback loop* dari adanya transisi kendaraan listrik ini (Lund, 2005). Hal ini dibuktikan, dengan meningkatnya penjualan kendaraan listrik secara global berdasarkan data yang dikeluarkan oleh The Electric Vehicle World Sales Database, meningkat sampai 35% setiap tahunnya. Di Indonesia terutama DKI Jakarta, kendaraan listrik ini lebih banyak diterima pada golongan pendapatan kelas atas dan pro terhadap lingkungan (Biosentrisme) (Casals, 2017). Hal ini disebabkan karena harga penjualannya yang cukup tinggi dan fasilitas infrastruktur yang masih dianggap terbatas (Colmenar, 2019). Hal tersebut memberikan beberapa pandangan dan *feedback* dari masyarakat terhadap penggunaan Kendaraan listrik. Beberapa diantaranya sangat memberikan *feedback loop* positif terhadap *lifestyle* transisi penggunaan Kendaraan listrik, yang berarti beralih menggunakan kendaraan listrik

Tabel 3. Kebijakan terhadap proses transisi kendaraan listrik di Jakarta

Stakeholder	Sistem Kendaraan Listrik	Kebijakan	Sumber
Nasional	Sarana	Pasal 17: Kendaraan listrik dikenakan **pajak sebesar 15% (lima belas persen)**, dan tergolong sangat rendah dibandingkan spesifikasi kendaraan bermotor lainnya yang tergolong dalam Barang Mewah.	Peraturan Pemerintah Nomor 73 tahun 2019
		Dukungan atas PP nomor 55 tahun 2019 yang berfokus kepada penentuan **pajak secara khusus pada BEV**.	Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 8 Tahun 2020 tentang Penghitungan Dasar Pengenaan Pajak Kendaraan Bermotor dan Bea Balik Nama Kendaraan Bermotor
		Melakukan **pembatasan produksi mobil konvensional** di tahun 2050, dan membatasi penggunaan BBM untuk bahan bakar kendaraan dalam upaya penerapan Net Zero Emission (NZE)	Program Kementriam Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Net Zero Emission (NZE).
		Penjaminan **mutu keselamatan penggunaan BEV** sebagai moda transportasi.	Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 45 Tahun 2020 Peraturan Menteri Perhubungan tentang Kendaraan Tertentu dengan Menggunakan Penggerak Motor Listrik
		Berfokus tentang Spesifikasi, Peta Jalan Pengembangan, dan Ketentuan Penghitungan **Tingkat Komponen Dalam Negeri** Kendaraan Bermotor Dalam Negeri Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Kendaraan listrik).	Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 27 Tahun 2020
	Prasarana	Peraturan Menteri Perindustrian sebagai respon terhadap pasal 11 PP no 55 tahun 2019 yang berfokus pada **pasca penggunaan kendaraan**.	Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 28 Tahun 2020 tentang Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai Dalam Keadaan Terurai Lengkap dan Keadaan Terurai Tidak Lengkap.
		Mengatur tentang **penyediaan infrastruktur** dan upaya menekan dampak lingkungan akibat dari aktivitas transportasi berbahan bakar minyak.	Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 Peraturan Presiden tentang Percepatan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Kendaraan listrik) untuk Transportasi Jalan
		Peraturan ini sebagai bentuk dukungan pada PP nomor 55 tahun 2019 dan berfokus pada **penyediaan infrastruktur BEV**.	Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 13 Tahun 2020 tentang Penyediaan Infrastruktur Pengisian Listrik Untuk Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai
Provinsi	Sarana	Kendaraan bermotor listrik berbasis baterai **tidak dikenakan Bea Balik Nama Kendaraan Bermotor** (BBN-KB)	Peraturan Gubernur Nomor 3 tahun 2020
	Prasarana	Dalam pasal 4 Pergub DKI tersebut berisi aturan bahwa kendaraan yang digerakkan dengan motor listrik menjadi salah satu kendaraan **tidak dikenai pembatasan lalu lintas dengan sistem ganjil genap**.	Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 88 Tahun 2019 tentang tentang Pembatasan Lalu Lintas dengan Sitem Ganjil-Genap Jakarta

Diterima 6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
Copyright © 2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

dalam konteks transisi energi berkelanjutan, dan tidak sedikit juga yang menganggap transisi ini mempunyai *feedback loop* negatif dengan bentuk bahwa hal tersebut tidak cukup memberikan dampak terhadap lingkungan dan manfaat lain yang ditawarkan.

Feedback loop positif masyarakat yaitu adanya transisi kendaraan listrik lebih ramah biaya operasional karena tidak membutuhkan perawatan seperti kendaraan pada umumnya. Hal tersebut karena kendaraan listrik bertumpu pada sistem baterai dan tidak banyak suku cadang yang harus diperhatikan seperti mobil lainnya (Seddig, 2017). Selain itu juga menghemat biaya pada penggunaan bahan bakar, karena sebelumnya BBM menjadi salah satu yang memonopoli sistem penggerak kendaraan bermotor (Kurniawan, 2021). Tetapi dengan adanya transisi dan didukung adanya SPKLU memudahkan pengguna untuk menghemat pengeluarannya dalam hal transportasi. Namun, banyaknya keunggulan dan manfaat yang ditawarkan kepada pengguna belum cukup meyakinkan beberapa masyarakat. Sehingga tidak sedikit dari masyarakat DKI Jakarta yang tidak yakin untuk ber-transisi menggunakan kendaraan listrik (Rully 2020).

Feedback loop negatif masyarakat terhadap transisi penggunaan kendaraan listrik yaitu masyarakat belum benar-benar membuktikan manfaat yang ditawarkan. *Feedback* paling umum adalah harga yang ditawarkan untuk kendaraan listrik tergolong cukup tinggi dan cenderung tidak representatif untuk masyarakat kelas menengah yang cukup peduli terhadap lingkungan. Hal ini juga diperkuat dengan minimnya pengetahuan masyarakat mengenai spesifikasi dari kendaraan listrik selain dikenalkan sebagai kendaraan yang ramah lingkungan. Masyarakan berpendapat jika transisi ini sebagai bentuk gerakan kapitalis dari pemerintah dalam kerjasamanya bersama pihak swasta (Pratama, 2018). Pendapat ini semakin diperkuat karena penggunaan kendaraan listrik diinterpretasikan sebagai kendaraan pribadi dan sama sekali tidak membantu dalam mengurangi masalah kemacetan (Ikhsam, 2020) Pendapat itu diteruskan sebagai pertanyaan masyarakat bahwa seharusnya transisi kendaraan listrik difokuskan pada penyediaan transportasi publik dibandingkan kendaraan pribadi (Pratama, 2018). Berbagai feedback tersebut memberikan mengurangi upaya transisi self-organization kendaraan listrik di Jakarta.

Dari kedua respon tersebut, tidak sedikit juga yang mempunyai feedback loop netral, yang memberikan perspektif terutama masyarakat yang masyarakat pendapatan kelas bawah. Karena adanya transisi tersebut tidak memberikan dampak terhadap keseharian dalam bertransportasi. Model feedback loop ini lebih mengoptimalkan penggunaan fasilitas seperti transportasi publik atau berjalan kaki. Mereka menganggap bentuk kepedulian lingkungan atau penggunaan energi bersih dan penurunan gas rumah kaca, tidak selalu mengenai transisi menggunakan kendaraan listrik, tetapi juga dengan memanfaatkan pedestrian dan keterhubungan transportasi terhadap kegiatannya. Hal tersebut yang memberikan pernyataan bahwa biosentrisme tidak selalu dengan adanya teknologi, tetapi juga bentuk keterpedulian dari dalam diri untuk lingkungan.

4.4 Konsep self-organization di transisi kendaraan listrik

Proses transisi kendaraan listrik memerlukan upaya semua pihak dalam hal ini pemerintah, masyarakat, dan swasta untuk bersama-sama berupaya beralih dari kendaraan berbahan bakar fosil kepada kendaraan berbahan bakar listrik. Teori perencanaan self-organization memberikan alternatif dalam perumusan konsep perencanaan yang adaptif dan dinamis yaitu melihat proses transformasi ini dalam sistem sarana (moda) dan prasarana (infrastruktur penunjang) serta kebijakan-kebijakan pemerintah dalam mengintervesi *feedback loop* yang terjadi dalam transisi. Hal ini memberikan rekomendasi kebijakan yang dapat dilakukan dari beberapa literatur yang telah di dapat. Hal tersebut di rumuskan dalam strategi berikut ini:

a. Penurunan biaya kendaraan listrik, melalui:
   - Inovasi swasta dalam penurunan harga beli kendaraan listrik
   - Pemberian insentif kepada produsen kendaraan listrik dan disinsentif kepada produsen kendaraan fosil
   - Pemberian insentif lebih besar kepada konsumen kendaraan listrik dan disinsentif kepada konsumen kendaraan berbahan bakar fosil

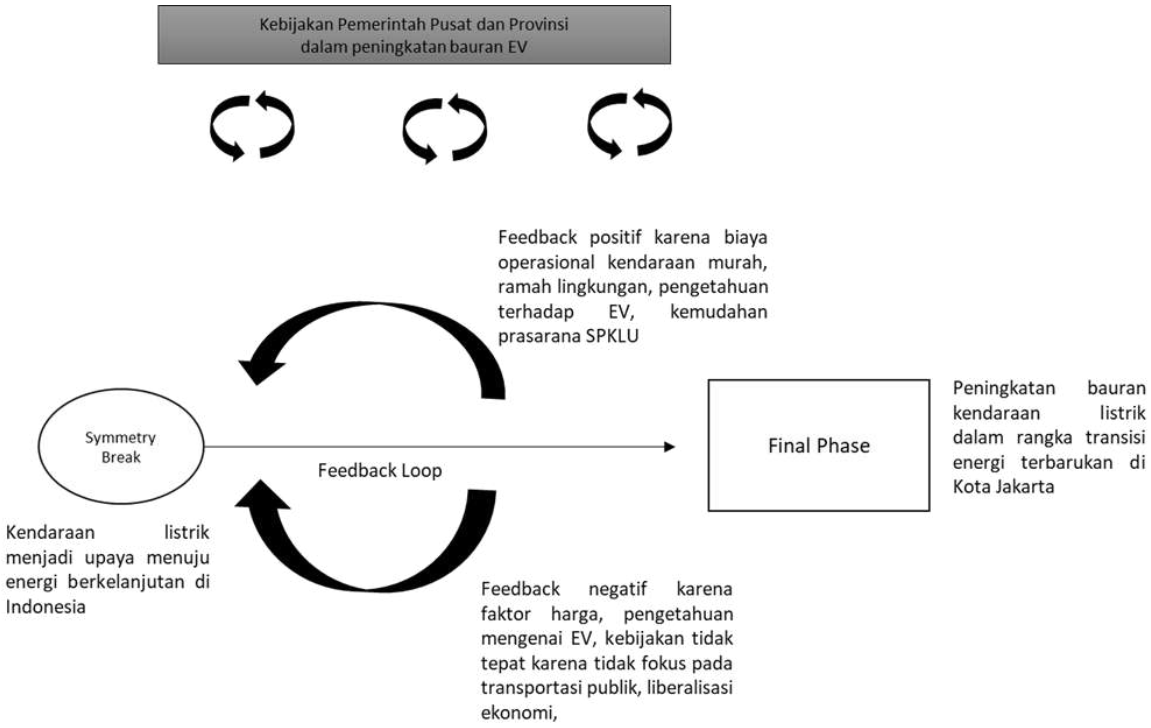
b. Peningkatan pengetahuan masyarakat mengenai efisiensi, keamanan, dan kenyamanan kendaraan listrik, melalui:
   - Demonstrasi mengenai kendaraan listrik tentang keamanan, efisiensi, dan kenyamanan menggunakan kendaraan listrik
   - Sosialisasi kemudahan dan ketersediaan SPKLU

c. Peningkatan prasarana SPKLU di publik, melalui:
   - Kerjasama dengan penyedia SPKLU baik dengan swasta atau perusahaan milik negara lainnya
   - Memberikan insentif bagi transisi penyedia SPKLU

Dalam *conceptual framework* transisi kendaraan listrik ini dapat diilustrasikan dalam diagram berikut :

Sehingga dalam transisi kendaraan listrik ini penggunaan kendaraan listrik dapat meningkat serta proses feedback loop dalam model self-organization kendaraan listrik dapat ditingkatkan melalui beberapa kebijakan dan inovasi yang dapat dilakukan dari pemerintah, swasta, dan masyarakat untuk berupaya menurunkan harga kendaraan listrik, mempermudah pelayanan pengisian kendaraan listrik, mempermudah pengetahuan masyarakat mengenai kendaraan listrik, dan pemberian insentif bagi penggunaan kendaraan listrik.

6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7



Gambar 4. *Conceptual framework* transisi kendaraan listrik

5. Kesimpulan

1. Transisi energi terbarukan di Indonesia merupakan proses yang kompleks, memerlukan inovasi dan kebijakan dari berbagai pemangku kepentingan, terutama dalam konteks transisi kendaraan listrik di Jakarta.
2. Ditemukan terdapat peningkatan kendaraan listrik di Kota Jakarta dari tahun 2014 sampai dengan 2021, melalui dukungan pemerintah dan proses *feedback* dari masyarakat, transisi ini berlanjut dalam transformasi menuju energi terbarukan.
3. Perlu upaya lebih dalam transisi ini, terutama dalam inovasi-inovasi baik penyediaan kendaraan listrik, pengisian bahan bakar listrik, pengetahuan masyarakat, dan insentif penggunaan kendaraan. Hal tersebut mengarah pada proses perubahan yang memerlukan pemahaman mengenai perilaku masyarakat, swasta, dan pembuat kebijakan dalam proses perubahan yang kompleks.
4. Hal ini membutuhkan pemahaman mendalam mengenai inovasi yang tepat dalam percepatan peralihan dari kendaraan fosil menuju kendaraan berbahan bakar listrik.
5. Penelitian ini memiliki keterbatasan dalam pembahasan transportasi umum sebagai salah satu proses transisi kendaraan listrik; transisi energi bersih pada aktivitas lain; konteks teknis dan pendalaman mengenai perilaku konsumen, produsen, dan pembuat kebijakan dalam transisi kendaraan listrik.
6. Penelitian selanjutnya diperlukan dalam mengidentifikasi inovasi kota lain dan perilaku perkotaan serta komponen di dalamnya dalam konteks sistem transportasi secara utuh pada transisi kendaraan listrik di dunia.

Daftar Pustaka

Abas, N., Kalair, A., & Khan, N.(2015). Review of Fossil Fuels and Future Energy Technologies. Futures, 69(May 2015), 31–49.DOI: 10.1016/ j.futures.2015.03.003

Ajanovic, A.(2015). The Future of Electric Vehicles: Prospects and Impediments. Wiley InterdisciplinReviews(WIREs)Energy & Environment, 4(6),521–536.

BULL, S. R. (2001). Renewable energy today and tomorrow. Proceedings of the IEEE (hal. 8). USA: National Renewable Energy Laboratory.

Boonstra B and Boelens L (2011) Self-organization in urban development: Towards a new perspective on spatial planning. Urban Research & Practice 4: 99–122.

Buonocore, J. J. (2019). Metrics for the sustainable development goals: Metrics for the sustainable development goals:. Social Science, 5-136.

Casals, L. C. (2017). Sustainability analysis of the electric vehicle use in Europe for CO2 emissions reduction. Journal of Clean Production, 425-437.

Diterima 6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
Copyright © 2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB

Colmenar-Santos, A. (2019). Electric vehicle charging strategy to support renewable energy sources in Europe 2050 low-carbon scenario. Energy, 61-74.

Ikhsam. 2020. Anies Resmi Bebaskan Pajak Kendaraan Listrik di Jakarta. https:// www.cnnindonesia.com/ teknologi/20200123162040-384-468056/anies-resmi-bebaskan-pajak-kendaraan-listrik-di-jakarta. Diakses pada 12 November 2021.

IRENA. (2017). Renewable Energy Prospect in Indonesia. Abu Dhabi: IRENA.

Kementrian Perindustrian Republik Indonesia. 2021. Mobil Listrik Butuh Tambahan Insentif.https:// www.liputan6.com/otomotif/read/4687347/ dorong-perkembangan-kendaraan-listrik-ini-insentif-fiskal-dan-non-fiskal-dari-pemerintah. Diakses pada 11 November 2021.

Keller E.F. (2009), Organisms, Machines, and Thunderstorms: A History of Self-Organization, Part Two, Complexity, Emergence, and Stable Attractors. Historical Studies in the Natural Sciences 39(1): 1-31.

Lund, H. (2005). Renewable energy strategies for sustainable development. 3rd Dubrovnik conference on sustainable development of energy, water and environment systems (hal. -). Denmark: Aalborg Universitet.

Mehar, S., Rémy, G., Zeadally, S., & Senouci, S.M. (2015). Smart Management System for a Fleet of Electric Vehicles. IEEE Transaction Intelligent Transportation Systems16(3), 1401–1414

Moradi, A. (2018). A multi-level perspective analysis of urban mobility system dynamics: What are the future transition pathways? Technological Forecasting & Social Change, 231–243.

Nilsson, M. (2016). Governing the electric vehicle transition – Near term interventions. Applied Energy, 1360–1371.

Nienhueser, I. A. (2016). Economic and environmental impacts of providing renewable energy for electric vehicle charging – A choice experiment study. Applied Energy, 256–268.

Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 28 tahun 2020 tentang Peraturan Menteri Perindustrian tentang Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai Dalam Keadaan Terurai Lengkap dan Keadaan Terurai Tidak Lengkap

Peraturan Pemerintah Nomor 73 tahun 2019 Barang Kena Pajak yang Tergolong Mewah Berupa Kendaraan Bermotor yang Dikenai Pajak Penjualan atas Barang Mewah.

Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Kendaraan listrik)

Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 13 Tahun 2020 tentang Penyediaan Infrastruktur Pengisian Listrik Untuk Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai.

Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 27 Tahun 2020 tentang Spesifikasi, Peta Jalan Pengembangan, dan Ketentuan Penghitungan Tingkat Komponen Dalam Negeri Kendaraan Bermotor Dalam Negeri Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Kendaraan listrik).

Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 8 Tahun 2020 tentang Penghitungan Dasar Pengenaan Pajak Kendaraan Bermotor Dan Bea Balik Nama Kendaraan Bermotor.

Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 45 Tahun 2020 tentang Kendaraan Tertentu dengan Menggunakan Penggerak Motor Listrik.

Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 3 tahun 2020 tentang Kendaraan bermotor listrik berbasis baterai tidak dikenakan Bea Balik Nama Kendaraan Bermotor (BBN-KB).

Portugali, J (2000) Self-organization and The City. Berlin: Springer.

Pratama, Rizki. 2018. Kendaraan Listrik di Mata Masyarakat Indonesia. https:// www.gardaoto.com/blog/manfaat-mobil-listrik-yang-perlu-anda-tahu https://oto.detik.com/ mobil/d-4243167/kendaraan-listrik-di-mata-masyarakat-indonesia. Diakses pada, 10 November 2021.

Richardson, D. B. (2013). Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 247–254.

Rizki, Fahmi. 2021. Pemerintah Hadirkan 187 Titik SPKLU, Terbanyak di DKI Jakarta. https:// www.liputan6.com/otomotif/read/4685330/ pemerintah-hadirkan-187-titik-spklu-terbanyak-di-dki-jakarta. Diakses pada 12 November 2021.

Rully R. Ramli. 2020. Ini Insentif Kendaraan Listrik yang Sedang Disiapkan Pemerintah. https:// money.kompas.com/ read/2021/09/05/110100626/ini-insentif-

6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

kendaraan-listrik-yang-sedang-disiapkan-pemerintah?page=all. Diakses pada 11 November 2021.

Seddig, K. (2017). Integrating renewable energy sources by electric vehicle fleets under uncertainty. Energy, 2145-2153.

Zulfikar, Elmier. 2021. Skema Pajak Mobil Elektrifikasi dan Pajak Kendaraan Berbasis Emisi Berlaku Oktober Tahun Ini, Yuk Lihat Lagi Detilnya. https://www.gridoto.com/read/222492149/skema-pajak-mobil-elektrifikasi-dan-pajak-kendaraan-berbasis-emisi-berlaku-oktober-tahun-ini-yuk-lihat-lagi-detilnya. Diakses pada 11 November 2021.

Zhing, J. (2012). Strategic Policies and Demonstration Program of Electric Vehicle in China. Transport Policy, 17-25. https://doi.org/10.1002/wene.160

Diterima 6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
Copyright © 2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

6 Desember 2021, Direvisi 20 Juli 2022, Diterima untuk dipublikasikan 11 Agustus 2022
2022 Diterbitkan oleh Jurnal Teknik Sipil ITB, ISSN 0853-2982, DOI: 10.5614/jts.2022.29.2.7

ISSN 2541-1608
Abdimas Unwahas, Vol. 3 No. 1, April 2018 e-ISSN 2579-7123

UPAYA PEMANFAATAN SUMBERDAYA PEDESAAN BERBASIS PENGEMBANGAN KELOMPOK PETERNAK MELALUI PENGOLAHAN LIMBAH KOTORAN MENJADI PRODUK ENERGI TERBARUKAN DAN PRODUK YANG BERNANFAAT UNTUK KESEJAHTERAAN MASYARAKAT DESA BRANJANG KABUPATEN SEMARANG

Eny Fuskhah[1*], Kiryanto[2], Deddy Chrismianto[3] ,
[1] Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang
[2] Program Studi Tehnik Perkapalan Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang
Program Studi Tehnik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang
*Email: eny_fuskhah@yahoo.com

Abstrak

Desa Branjang merupakan salah satu Desa/Kelurahan yang ada di kecamatan Ungaran Barat, kabupaten Semarang yang mempunyai potensi cukup besar dibidang peternakan, pertanian, perikanan. Potensi bidang peternakan sapi cukup besar dimiliki masyarakat dusun Truko desa Branjang dengan jumlah peternak ada 40 orang. Permasalahan yang dihadapi yaitu sampai saat ini kotoran sapi hanya ditumpuk dan dibiarkan begitu saja di pinggir kandang, belum dimanfaatkan untuk menghasilkan produk yang lebih bermanfaat. ***Tujuan dari kegiatan*** *KKN-PPM ini adalah untuk memanfaatkan limbah kotoran sapi yang melimpah antara lain : untuk membuat instalasi energi terbarukan biogas, pembuatan pupuk kompos dari kotoran sapi. Metode yang digunakan dalam pengabdian ini oleh Tim KKN-PPM meliputi desain instalasi dan pembuatan instalasi energi terbarukan biogas yang diikuti dengan pelatihan pengopersian dan perawatan; pelatihan/workshop perancangan dan pembuatan pupuk kompos dari kotoran sapi pengemasan dan pemasaran,* ***Luaran program pengabdian ini adalah****: 1) Instalasi biogas dan produk biogas, 2) Pupuk kompos, 3) Publikasi, dan 4) Artikel ilmiah.*

Kata kunci*: Branjang, Kotoran sapi , Energi terbarukan Biogas, Pupuk kompos.*

PENDAHULUAN

Kuliah kerja nyata (KKN) merupakan kegiatan intrakurikuler yang memadukan tri dharma perguruan tinggi (pendidikan, penelitian dan pengabdian masyarakat) dengan cara memberikan kepada mahasiswa pengalaman belajar dan bekerja dalam kegiatan pembangunan masyarakat sebagai wahana penerapan dan pengembangan ilmu yang dilaksanakan diluar kampus dalam waktu, mekanisme kerja dan persyaratan tertentu. KKN ini sangat dibutuhkan masyarakat guna mendapat bantuan pemikiran dan tenaga, sehingga dapat berlangsung kegiatan membantu masyarakat mengembangakan pola pikir dan potensi masyarakat dalam berbagai bidang antara lain pertanian, peternakan, sosial, budaya dan kemasyarakat.

Desa Branjang merupakan salah satu desa/kelurahan yang ada di kecamatan Ungaran Barat sebagai lokasi Kegiatan program Kuliah Kerja Nyata - Pembelajaran Pemberdayaan Masyarakat (KKN-PPM). Lokasi keberadaan mitra KKN-PPM berjarak 30 km dari Semarang atau Undip yang dapat dijangkau dengan transportasi darat. Desa Branjang berada dilereng gunung ungaran bagian utara, dengan daerah kemiringan 25 – 45 %. Luas wilayah Desa Branjang adalah 433,25 ha dimana lahan pertanian berupa sawah 139.63 ha dan bukan sawah 239 ha. Desa Branjang memiliki curah hujan rata-rata adalah 3.500 mm/tahun dan ketinggian 450 mdpl. Keadaan tersebut menjadikan suhu udara sejuk rata – rata adalah ± 27ºC. Desa Branjang terdiri atas 5 dusun / RW (rukun warga) yaitu : dusun Branjang, Cemanggah Lor, Cemanggah Kidul, Truko dan Dersemi dan 21 RT (rukun tetangga) Potensi peternakan sapi cukup besar dimiliki masyarakat desa Branjang dengan jumlah peternak ada 40 orang. Lokasi peternakan sapi dikumpulkan pada beberapa tempat secara kolektif ditanah bengkok desa. Hal ini dimaksudkan untuk mengatur sanitasi lingkungan. Untuk setiap orang mampu

memelihara/merawat sapi rata-rata 3 sapi baik sapi penggemukan, sapi perah. Jumlah populasi sapi adalah 40 orang x 3 sapi/orang = 120 sapi. Dengan jumlah tersebut jika setiap sapi menghasilkan kotoran sapi minimal 10 kg / ekor, maka diperoleh jumlah kotoran sapi sebesar (120 x 10 kg/hari) = 1.200 kg/hari. Disamping itu juga ada peternak kambing. Kotoran sapi tersebut merupakan potensi yang sangat besar untuk dapat dimanfaatkan dalam bebagai bentuk produk yang bermanfaat bagi masyarakat dengan menerapkan teknologi yang sederhana antara lain: biogas, pupuk kompos/pupuk kandang.

METODE

Metode pendekatan yang digunakan pada program ini diawali dengan melakukan evaluasi terhadap kondisi awal potensi peternakan sapi di Branjang. Kegiatan wawancara dan observasi ke lapangan oleh Tim KKN-PPM untuk mendapatkan data awal untuk referensi tindakan pengembangan dan perbaikan. Berangkat dari permasalahan yang dirumuskan, maka program kegiatan KKN-PPM yang akan di laksanakan merupakan solusi terhadap masalah yang dihadapi. Pendekatan yang digunakan dalam penyelesaian masalah tersebut antara lain, sosialisasi mengenai teknik pembuatan energi terbarukan biogas dengan memanfaatkan kotoran sapi, pembuatan instalasi sistem pengolahan biogas kotoran sapi, pelatihan pembuatan kompos yang berkualitas.

Program kegiatan KKN-PPM pada masyarakat di desa Branjang, kabupaten Semarang akan meliputi beberapa kegiatan yang meliputi :

1. Sosialisasi program KKN-PPM yang akan dilaksanakan di desa Branjang.
2. Memberikan materi tentang kesehatan lingkungan Kerja (K3)
3. Workshop tentang pemanfaatan kotoran sapi menjadi energi terbarukan .
4. Perancangan sistem biogas sesuai dengan lokasi peternakan sapi.
5. Pembuatan sistem biogas dan distribusi dilokasi rumah tangga terdekat.
6. Workshop tentang perawatan sistem biogas.
7. Workshop tentang pembuatan kompos dari kotoran sapi.
8. Pembutatan kompos dari kotoran sapi.
9. Proses pengemasan produk kompos dan manajemen pemasaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan survei dimaksudkan sebagai langkah awal untuk mendapatkan potret keadaan masyarakat dan potensi yang ada di dudun Truko, desa Branjang, kecamatan Ungaran Barat. Tujuan survei adalah untuk pengumpulan informasi dan data yang nantinya digunakan untuk menyusun rencana program kegiatan. Survei dilakukan dua kali yaitu hari Senin tanggal 5 Juni dan 8 Juni 2017 yang diikuti oleh seluruh peserta KKN-PPM. Sedangkan kegiatan penerjunan dan penyerahan mahasiswa KKN PPM ke Branjang dilaksanakan pada hari Kamis, 13 Juli 2017 dan diterima oleh kepala desa Branjang yaitu bapak Nur Khasan Ashari.

Kegiatan pembangunan biodigester diaawali dengan perencanaan agar dapat berjalan lancar sesuai dengan ketentuan yang diinginkan yang dilakukan mahasiswa KKN. Kapasitas digester yang direncanakan dengan volume sebesar 10 m^3. Mengacu pada gambar kerja instalasi digester selanjutnya dilaksanakan pembangunan pisik digester. Gambar desain digester dan tahapan pelaksanaan pembangunan dan peresmian adalah sebagai berikut :

a. Penggalian tanah sesuai dengan ukuran.
b. Pembuatan dasar/alas digester dengan di cor, pemasangan dinding digester melingkar.
c. Pembuatan /pemasangan saluran inlet, pembuatan mixer (tempat pengaduk campuran kotoran sapi dan air), pembuatan saluran buang.
d. Pembuatan tempat slurry, pembuatan saluran masuk dari kandang ke mixer.
e. Pengecoran kubah digester, plester bagian dalam dan pengecatan dinding dalam digester.
f. Pengisian digester, uji coba dan peresmian instalasi biogas.

ISSN 2541-1608
e-ISSN 2579-7123



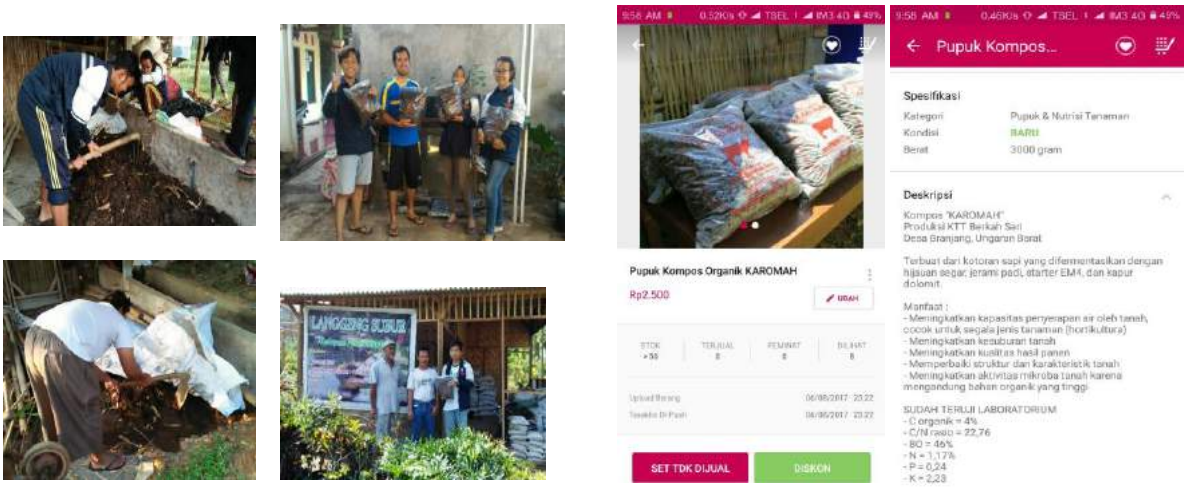
Gambar 1. Ilustrasi kegiatan gambar desain, pembangunan instalasi biogas, pengisian digester, uji coba kompor biogas dan peresmian instalasi biogas

Uji Nyala biogas dilaksanakan di salah satu rumah anggota KTT yaitu rumah bapak Muslikhun. Kegiatan ini dihadiri oleh beberapa orang dari dosen pembimbing KKN-PPM Undip 2017. Pengujian ini dimulai dengan menyiapkan alat dan bahan seperti manometer, selang, alat pemantik dan kompor biogas. Kotoran sapi yang sudah diolah menjadi gas akan mengalir dari dome digester ke kompor biogas melalui selang. Untuk mengetahui apakah gas sudah cukup atau belum adalah dengan melihat manometer yang dipasang diatas kompor biogas, ketika angka di kolom manometer menunjukkan angka minimal 20 mm, sebagai syarat agar gas bisa menyala. Namun saat pengujian angka menometer menunjukkan angka 20 mm kemudian kompor biogas mulai dinyalakan dengan dibantu dengan alat pemantik sehingga kompor menyala. Ini menandakan bahwa biogas berhasil dan siap untuk digunakan. Peresmian dan peluncuran (*launcing*) instalasi biogas dan bank kompos dilaksanakan pada hari rabu tanggal 2 Agustus 2017. Kegiatan tersebut dihadiri oleh undangan yaitu : kepala desa Branjang dan staf desa Branjang, perwakilan pimpinan LP2KKN Undip, Kelompok Tani Ternak (KTT) "BERKAH SARI", 3 orang dari perwakilan kecamatan Ungaran Barat, dosen DPL, mahasiswa KKN reguler, para mahasiswa KKN-PPM. Pada kesempatan tersebut juga hadir siswa SD Branjang dengan jumlah 40 siswa. Kegiatan peresmian instalasi biogas diliput oleh media surat kabar yaitu SUARA MERDEKA, BERITA KAMPUS, ZONA KAMPUS dan ANTARA FOTO, Kompas TV Semarang, Semarang TV.

Kompos merupakan hasil penguraian yang terjadi dari campuran bahan-bahan organik yang dapat dipercepat secara artifisial oleh populasi berbagai macam mikroba dalam kondisi lingkungan yang hangat, aerobik, atau anaerobik. Kompos memanfaatkan limbah yang tidak memiliki nilai guna. Perencanaan pembuatan kompos yaitu menyiapkan tempat yang memiliki tudungan atap untuk menjaga kompos tidak terkena sinar matahari secara langsung, menyiapkan terpal kotoran sapi, EM4 atau cairan MOL, kapur dolomit dan air. Pemilihan bahan yang akan digunakan dalam pembuatan kompos dari kotoran sapi harus dipilah karena untuk menyesuaikan perbandingan yang cocok, sehingga menjadi produk kompos yang sesuai dengan standar. Bahan EM4 digunakan untuk mempercepat proses penggemburan, kapur dolomit berfungsi untuk membuat ukuran kotoran sapi mencadi gembur, air digunakan untuk campuran EM4. Langkah membuat kompos yang pertama menyiapkan alat dan bahan, kotoran sapi padat (teletong) dipindahkan ke tempat penampungan dengan ditumpuk setinggi 30 cm, kemudian ditaburkan kapur dolomit, selanjutnya di semprotkan EM4 yang sudah dicampur dengan air. Langkah tersebut di ulangi setiap hari sampai kebutuhan pembuatan kompos terpenuhi. Setelah pembuatan kompos kemudian ditutup terpal secara rapat untuk memberikan lingkungan anaerob. Waktu yang dibutuhkan dalam pembuatan kompos 2 minggu sampai 2 bulan. Untuk membedakan kompos yang sudah jadi dengan yang belum

yaitu dengan mengamati langsung ukuran partikel kompos lebih gembur, tidak panas dan tidak memiliki berbau.

Desain kemasan menggunakan sablon plastik dengan mencantumkan jenis, nama dan logo produk, serta produsen pupuk kompos agar lebih mudah dikenali di pasar dan menambah nilai jual. Selain itu dicantumkan pula hasil analisis kandungan kompos sebagai salah satu kelebihan produk. Pupuk kompos dikemas dengan berat 3 kg/pack.



Gambar 2. Rangkaian kegiatan Pembuatan pupuk Kompos, pengemasan, pemasaran langsung dan pemasaran secara online

Ukuran pengemasan ini dipilih berdasarkan pertimbangan target pasar yang dituju, yaitu penggunaan skala rumah tangga, dimana kebutuhannya tidak terlalu besar. Untuk waktu selanjutnya masih dapat dilakukan pengembangan target pasar dengan membuat kemasan lebih besar untuk skala perkebunan dan/atau pertanian. Pemasaran pupuk kompos 'KAROMAH' dilakukan di sekitar Ungaran. Kebutuhan kompos untuk tanaman hias sangat tinggi, sehingga permintaan kompos untuk kota Ungaran cukup banyak. Pemasaran dilakukan secara langsung dengan menyetorkan barang ke penjual, kemudian penyetor mengambil hasil penjualan di akhir setelah produk terjual. Selain melakukan pemasaran secara langsung, juga dilakukan penjualan online melalui salah satu situs *e-commerce* untuk memperluas jaringan pasar.

.

KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian masyarakat melalui KKN-PPM dengan program yang mengacu pada potensi desa merupakan hal yang sangat penting, sehingga manfaatnya langsung dapat dirasakan oleh masyarakat desa Branjang. Dengan demikian kesejahteraan masyarakat akan meningkat dengan adanya kegiatan KKN-PPM ini. Mengacu hasil yang dicapai pada kegiatan ini dapat disimpulkan dengan sebagai berikut :

1. Instalasi Biogas dirancang dan dibangun dapat berjalan dengan baik dan sangat bermanfaat bagi KTT 'Berkah Sari' dan anggotanya, digunakan untuk kepentingan menanak air, masak di kandang dan dirumah, sehingga meningkatkan kesejahteraaan anggota.
2. Produksi pupuk kompos dapat menambah peluang usaha bagi anggota kelompok tani ternak KKT 'Berkah Sari', sehingga dengan adanya pemasaran baik *on line* maupun *offline* akan menambah pendapatan anggota.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim pengabdian KKN-PPM menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini serta kepada perangkat Desa Branjang Ungaran Barat yang telah memberikan perijinan serta

masyarakat khususnya aggota KTT ‘Berkah Sari’ di dusun Truko, desa Branjang sebagai tempat pelaksanaan kegiatan pengabdian KKN-PPM.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2013, diakses dari http://www.griyasampah.blogspot.co.id/ Cara Membuat Biogas Dari Kotoran Sapi.

Anonim, 2013, diakses dari http:// Pembuatan Pupuk Organik Dari Kotoran Sapi.

Departemen Pertanian. 2009. *Pemanfaatan Limbah dan Kotoran Ternak Menjadi Energi Biogas*. Seri Bioenergi Pedesaaan. Direktorat Jenderal Hasil Pertanian Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, Jakarta

Djumali Manguneidjaja dan Ani Suryani, 1994, Teknologi Bioproses, Penebar Swadaya, Jakarta.

Hambali, E., S. Mujdalipah., A.H. Tambunan., A.W. Pattiri dan R. Hendroko. 2007. *Teknologi Bioenergi.* PT Agromedia Pustaka, Jakarta.

Untung Budiarto, Kiryanto,dkk, 2015, , Pemberdayaan Kelompok Tani Ternak “REJEKI LUMINTU” dan Kelompok Tani Ikan “RUKUN MAKMUR” Dengan Produk Dari Limbah Kotoran Ternak Di Kec. Gunungpati Kota Semarang, Laporan Akhir KKN-PPM, Semarang.

E-DIMAS: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat, 9(2), 185-192
ISSN 2087-3565 (Print) dan ISSN 2528-5041 (Online)
Available Online at http://journal.upgris.ac.id/index.php/e-dimas

Upaya Pemanfaatan Sumberdaya Pedesaan Berbasis Pengembangan Kelompok Peternak melalui Pengolahan Limbah Kotoran Menjadi Produk Energi Terbarukan dan Produk yang Bermanfaat untuk Kesejahteraan Masyarakat Desa Branjang Kabupaten Semarang

Kiryanto[1], Deddy Chrismianto[2], Eny Puskhah[3]
[1,2]Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Undip
[3]Departemen Peternakan Fakultas Peternakan dan Pertanian Undip
[1]kiryantodst@yahoo.com; [2]deddychrismianto@yahoo.co.id, [3]eny_fuskhah@yahoo.com

Received: 31 Oktober 2017; Revised: 12 Mei 2018; Accepted: 2 Juli 2018

Abstract

Branjang Village is one of the villages in the West Ungaran Sub-district, Semarang District which has considerable potential in the fields of animal husbandry, agriculture, fisheries. The potential area of cattle breeding is quite large, owned by the Truko Village of Branjang Village with 40 farmers. The problem faced is that until now cow dung is only stacked and left just like that on the edge of the cage, has not been used to produce more useful products. The purpose of this KKN-PPM activity is to utilize abundant cow manure, including: to make biogas renewable energy installations, making compost from cow dung. The method used in this service by the KKN-PPM Team includes the design of the installation and manufacture of biogas renewable energy installations followed by operating and maintenance training; training/workshop on the design and manufacture of compost from cow dung packaging and marketing, The output of this service program are: (1) biogas installation and biogas products, (2) compost fertilizer, (3) publications, and (4) scientific articles.

Keywords: *branjang, cow dung, biogas renewable energy, compost fertilizer*

Abstrak

Desa Branjang merupakan salah satu Desa/Kelurahan yang ada di Kecamatan Ungaran Barat, Kabupaten Semarang yang mempunyai potensi cukup besar dibidang peternakan, pertanian, perikanan. Potensi bidang peternakan sapi cukup besar dimiliki masyarakat Dusun Truko Desa Branjang dengan jumlah peternak ada 40 orang. Permasalahan yang dihadapi yaitu sampai saat ini kotoran sapi hanya ditumpuk dan dibiarkan begitu saja di pinggir kandang, belum dimanfaatkan untuk menghasilkan produk yang lebih bermanfaat. Tujuan dari kegiatan KKN-PPM ini adalah untuk memanfaatkan limbah kotoran sapi yang melimpah antara lain: untuk membuat instalasi energi terbarukan biogas, pembuatan pupuk kompos dari kotoran sapi. Metode yang digunakan dalam pengabdian ini oleh Tim KKN-PPM meliputi desain instalasi dan pembuatan instalasi energi terbarukan biogas yang diikuti dengan pelatihan pengopersian dan perawatan; pelatihan/workshop perancangan dan pembuatan pupuk kompos dari kotoran sapi pengemasan dan pemasaran, Luaran program pengabdian ini adalah: (1) instalasi biogas dan produk biogas, (2) pupuk kompos, (3) publikasi, dan (4) artikel ilmiah.

Kata Kunci: branjang, kotoran sapi, energi terbarukan biogas, pupuk kompos

A. PENDAHULUAN

Kuliah Kerja Nyata (KKN) merupakan kegiatan intrakurikuler yang memadukan tri dharma perguruan tinggi (pendidikan, penelitian dan pengabdian masyarakat) dengan cara memberikan kepada mahasiswa pengalaman belajar dan bekerja dalam kegiatan pembangunan masyarakat sebagai wahana penerapan dan pengembangan ilmu yang dilaksanakan diluar kampus dalam waktu, mekanisme kerja dan persyaratan tertentu. KKN ini sangat dibutuhkan masyarakat guna mendapat bantuan pemikiran dan tenaga, sehingga dapat berlangsung kegiatan membantu masyarakat mengembangakan pola pikir dan potensi masyarakat dalam berbagai bidang antara lain pertanian, peternakan, sosial, budaya dan kemasyarakat.

Desa Branjang merupakan salah satu desa/kelurahan yang ada di kecamatan Ungaran Barat sebagai lokasi Kegiatan program Kuliah Kerja Nyata-Pembelajaran Pemberdayaan Masyarakat (KKN-PPM). Lokasi keberadaan mitra KKN-PPM berjarak 30 km dari Semarang atau Undip yang dapat dijangkau dengan transportasi darat. Desa Branjang berada dilereng gunung ungaran bagian utara, dengan daerah kemiringan 25-45%. Luas wilayah Desa Branjang adalah 433,25 ha dimana lahan pertanian berupa sawah 139.63 ha dan bukan sawah 239 ha. Desa Branjang memiliki curah hujan rata-rata adalah 3.500 mm/tahun dan ketinggian 450 mdpl. Keadaan tersebut menjadikan suhu udara sejuk rata-rata adalah ± 27ºC. Desa Branjang terdiri atas 5 dusun/RW (rukun warga) yaitu: dusun Branjang, Cemanggah Lor, Cemanggah Kidul, Truko dan Dersemi dan 21 RT (Rukun Tetangga).

Potensi peternakan sapi cukup besar dimiliki masyarakat desa Branjang dengan jumlah peternak ada 40 orang. Lokasi peternakan sapi dikumpulkan pada beberapa tempat secara kolektif ditanah bengkok desa. Hal ini dimaksudkan untuk mengatur sanitasi lingkungan. Untuk setiap orang mampu memelihara/merawat sapi rata-rata 3 sapi baik sapi penggemukan, sapi perah. Jumlah populasi sapi adalah 40 orang × 3 sapi = 120

sapi. Dengan jumlah tersebut jika setiap sapi menghasilkan kotoran sapi minimal 10 kg/ekor, maka diperoleh jumlah kotoran sapi sebesar (120 × 10 kg/hari) = 1.200 kg/hari. Di samping itu juga ada peternak kambing. Kotoran sapi tersebut merupakan potensi yang sangat besar untuk dapat dimanfaatkan dalam bebagai bentuk produk yang bermanfaat bagi masyarakat dengan menerapkan teknologi yang sederhana antara lain: biogas, pupuk kompos/pupuk kandang.

B. PELAKSANAAN DAN METODE

Metode pendekatan yang digunakan pada program ini diawali dengan melakukan evaluasi terhadap kondisi awal potensi peternakan sapi di Branjang. Kegiatan wawancara dan observasi ke lapangan oleh Tim KKN-PPM untuk mendapatkan data awal untuk referensi tindakan pengembangan dan perbaikan. Berangkat dari permasalahan yang dirumuskan, maka program kegiatan KKN-PPM yang akan di laksanakan merupakan solusi terhadap masalah yang dihadapi. Pendekatan yang digunakan dalam penyelesaian masalah tersebut antara lain, sosialisasi mengenai teknik pembuatan energi terbarukan biogas dengan memanfaatkan kotoran sapi, pembuatan instalasi sistem pengolahan biogas kotoran sapi, pelatihan pembuatan kompos yang berkualitas.

Program kegiatan KKN-PPM pada masyarakat di desa Branjang, kabupaten Semarang akan meliputi beberapa kegiatan:

1. Sosialisasi program KKN-PPM yang akan dilaksanakan di desa Branjang.
2. Memberikan materi tentang kesehatan lingkungan Kerja (K3).
3. Workshop tentang pemanfaatan kotoran sapi menjadi energi terbarukan.
4. Perancangan sistem biogas sesuai dengan lokasi peternakan sapi.
5. Pembuatan sistem biogas dan distribusi dilokasi rumah tangga terdekat.
6. Workshop perawatan sistem biogas.
7. Workshop pembuatan kompos dari kotoran sapi.
8. Pembutatan kompos dari kotoran sapi.
9. Proses pengemasan produk kompos dan manajemen pemasaran.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan survei dimaksudkan sebagai langkah awal untuk mendapatkan potret keadaan masyarakat dan potensi yang ada di dudun Truko, desa Branjang, kecamatan Ungaran Barat. Tujuan survei adalah untuk pengumpulan informasi dan data yang nantinya digunakan untuk menyusun rencana program kegiatan. Survei dilakukan dua kali yaitu hari Senin tanggal 5 Juni dan 8 Juni 2017 yang diikuti oleh seluruh peserta KKN-PPM. Sedangkan kegiatan penerjunan dan penyerahan mahasiswa KKN PPM ke Branjang dilaksanakan pada hari Kamis, 13 Juli 2017 dan diterima oleh Kepala Desa Branjang yaitu Bapak Nur Khasan Ashari.

Kegiatan pembangunan *biodigester* diawali dengan perencanaan agar dapat berjalan lancar sesuai dengan ketentuan yang diinginkan yang dilakukan mahasiswa KKN. Kapasitas digester yang direncanakan dengan volume 10 m^3. Mengacu pada gambar kerja instalasi digester selanjutnya dilaksanakan pembangunan pisik digester. Gambar desain digester dan tahapan pelaksanaan pembangunan dan peresmian adalah:

1. Penggalian tanah sesuai dengan ukuran.
2. Pembuatan alas digester dengan dicor, pemasangan dinding digester melingkar.
3. Pembuatan/pemasangan saluran inlet, pembuatan *mixer* (tempat pengaduk campuran kotoran sapi dan air), pembuatan saluran buang.
4. Pembuatan tempat *slurry*, pembuatan saluran masuk dari kandang ke *mixer*.
5. Pengecoran kubah *digester*, plester bagian dalam dan pengecatan dinding dalam digester.
6. Pengisian digester, uji coba dan peresmian instalasi biogas.

Uji Nyala biogas dilaksanakan di salah satu rumah anggota KTT yaitu rumah bapak Muslikhun. Kegiatan ini dihadiri oleh beberapa orang dari dosen pembimbing KKN-PPM Undip 2017. Pengujian ini dimulai dengan menyiapkan alat dan bahan seperti manometer, selang, alat pemantik dan kompor biogas. Kotoran sapi yang sudah diolah menjadi gas akan mengalir dari *dome digester*

ke kompor biogas melalui selang. Untuk mengetahui apakah gas sudah cukup atau belum adalah dengan melihat manometer yang dipasang diatas kompor biogas, ketika angka di kolom manometer menunjukkan angka minimal 20 mm, sebagai syarat agar gas bisa menyala. Namun saat pengujian angka menometer menunjukkan angka 20 mm kemudian kompor biogas mulai dinyalakan dengan dibantu dengan alat pemantik sehingga kompor menyala. Ini menandakan bahwa biogas berhasil dan siap untuk digunakan. Peresmian dan peluncuran (*launcing*) instalasi biogas dan bank kompos dilaksanakan pada hari rabu tanggal 2 Agustus 2017. Kegiatan tersebut dihadiri oleh undangan yaitu: Kepala Desa Branjang dan Staf Desa Branjang, perwakilan pimpinan LP2KKN Undip, Kelompok Tani Ternak (KTT) "BERKAH SARI", 3 orang dari perwakilan kecamatan Ungaran Barat, dosen DPL, mahasiswa KKN reguler, para mahasiswa KKN-PPM. Pada kesempatan tersebut juga hadir siswa SD Branjang dengan jumlah 40 siswa. Kegiatan peresmian instalasi biogas diliput media surat kabar yaitu Suara Merdeka, Berita Kampus, Zona Kampus dan Antara Foto, Kompas TV, Semarang TV.



Gambar 1. Ilustrasi Kegiatan Gambar Desain, Pembangunan Instalasi Biogas, Pengisian Digester, Uji Coba Kompor Biogas, dan Peresmian Instalasi Biogas

Kompos merupakan hasil penguraian yang terjadi dari campuran bahan-bahan organik yang dapat dipercepat secara artifisial oleh populasi berbagai macam mikroba dalam kondisi lingkungan yang hangat, aerobik, atau anaerobik. Kompos memanfaatkan limbah yang tidak memiliki nilai guna. Perencanaan pembuatan kompos yaitu menyiapkan tempat yang memiliki tudungan atap untuk menjaga kompos tidak terkena sinar matahari secara langsung, menyiapkan terpal kotoran sapi, EM4 atau cairan MOL, kapur dolomit dan air. Pemilihan bahan yang akan digunakan dalam pembuatan kompos dari kotoran sapi harus dipilah karena untuk menyesuaikan perbandingan yang cocok, sehingga menjadi produk kompos yang sesuai dengan standar. Bahan EM4 digunakan untuk mempercepat proses penggemburan, kapur dolomit berfungsi untuk membuat ukuran kotoran sapi mencadi gembur, air digunakan untuk campuran EM4. Langkah membuat kompos yang pertama menyiapkan alat dan bahan, kotoran sapi padat (teletong) dipindahkan ke tempat penampungan dengan ditumpuk setinggi 30 cm, kemudian ditaburkan kapur dolomit, selanjutnya di semprotkan EM4 yang sudah dicampur dengan air. Langkah tersebut di ulangi setiap hari sampai kebutuhan pembuatan kompos terpenuhi. Setelah pembuatan kompos kemudian ditutup terpal secara rapat untuk memberikan lingkungan anaerob. Waktu yang dibutuhkan dalam pembuatan kompos 2 minggu sampai 2 bulan. Untuk membedakan kompos yang sudah jadi dengan yang belum yaitu dengan mengamati langsung ukuran partikel kompos lebih gembur, tidak panas dan tidak berbau.

Desain kemasan menggunakan sablon plastik dengan mencantumkan jenis, nama dan logo produk, serta produsen pupuk kompos agar lebih mudah dikenali di pasar dan menambah nilai jual. Selain itu dicantumkan pula hasil analisis kandungan kompos sebagai salah satu kelebihan produk. Pupuk kompos dikemas dengan berat 3 kg/pack.



Gambar 2. Rangkaian Kegiatan Pembuatan Pupuk Kompos, Pengemasan, Pemasaran Langsung dan Pemasaran Secara *Online*

Ukuran pengemasan ini dipilih berdasarkan pertimbangan target pasar yang dituju, yaitu penggunaan skala rumah tangga, dimana kebutuhannya tidak terlalu besar. Untuk waktu selanjutnya masih dapat dilakukan pengembangan target pasar dengan membuat kemasan lebih besar untuk skala perkebunan dan/atau pertanian. Pemasaran pupuk kompos 'Karomah' dilakukan di sekitar Ungaran. Kebutuhan kompos untuk tanaman hias sangat tinggi, sehingga permintaan kompos untuk kota Ungaran cukup banyak. Pemasaran dilakukan secara langsung dengan menyetorkan barang ke penjual, kemudian penyetor mengambil hasil penjualan di akhir setelah produk terjual. Selain melakukan pemasaran langsung, juga dilakukan penjualan *online* melalui situs *e-commerce* untuk memperluas jaringan pasar.

D. PENUTUP

Simpulan

Kegiatan pengabdian masyarakat melalui KKN-PPM dengan program yang mengacu pada potensi desa merupakan hal yang sangat penting, sehingga manfaatnya langsung dapat dirasakan oleh masyarakat desa Branjang. Dengan demikian kesejahteraan masyarakat akan meningkat dengan adanya kegiatan KKN-PPM ini. Mengacu hasil yang dicapai pada kegiatan ini dapat disimpulkan dengan sebagai berikut:

1. Instalasi biogas dirancang dan dibangun dapat berjalan dengan baik dan sangat bermanfaat bagi KTT 'Berkah Sari' dan anggotanya, digunakan untuk kepentingan menanak air, masak di kandang dan

dirumah, sehingga meningkatkan kesejahteraaan anggota.

2. Produksi pupuk kompos dapat menambah peluang usaha bagi anggota kelompok tani ternak KKT 'Berkah Sari', sehingga dengan pemasaran *online* maupun offline akan menambah pendapatan anggota.

Ucapan Terimakasih

Tim pengabdian KKN-PPM menyampaikan terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini, Perangkat Desa Branjang Ungaran Barat yang telah memberikan perijinan, serta masyarakat khususnya anggota KTT 'Berkah Sari' di Dusun Truko Desa Branjang sebagai tempat pelaksanaan kegiatan pengabdian KKN-PPM.

E. DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2013. *Cara Membuat Biogas dari Kotoran Sapi*, diakses dari http://www.griyasampah.*blog*spot.co.id

Anonim. 2013. *Pembuatan Pupuk Organik dari Kotoran Sapi*.

Departemen Pertanian. 2009. *Pemanfaatan Limbah dan Kotoran Ternak Menjadi Energi Biogas. Seri Bioenergi Pedesaaan*. Direktorat Jenderal Hasil Pertanian Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, Jakarta.

Djumali Manguneidjaja dan Ani Suryani. 1994. *Teknologi Bioproses*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Hambali, E., S. Mujdalipah., A.H. Tambunan., A.W. Pattiri dan R. Hendroko. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: PT Agromedia Pustaka.

Untung Budiarto, Kiryanto, dkk,. 2015. *Pemberdayaan Kelompok Tani Ternak "Rejeki Lumintu" dan Kelompok Tani Ikan "Rukun Makmur" dengan Produk dari Limbah Kotoran Ternak di Kec. Gunungpati Kota Semarang*. Laporan Akhir KKN-PPM, Semarang.

URGENSI PENGATURAN PENGEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN SEBAGAI WUJUD MENDUKUNG KETAHANAN ENERGI NASIONAL

FAISAL
Sekolah Tinggi Ilmu Hukum Putri Maharaja Payakumbuh
faisal.buchari61@gmail.com

Abstract: *Energy sovereignty in Indonesia is experiencing problems with a decline in national energy security. Indonesia's energy system is currently facing serious challenges. The imbalance in the condition of energy supplies with national energy needs, especially the oil and gas sector and efforts to fulfill national energy needs in a sustainable manner are the main problems of this nation in the energy sector. It is absolutely necessary to have strategic efforts in the field of creating new and renewable energy. Although the government has issued various policies to catch up, but to realize national energy security, it is necessary to urgently regulate the development of renewable energy as a form of supporting national energy security. As for the formulation of the problems raised in this study are: support national energy security in Indonesia? 2) what is the urgency of regulating the development of renewable energy as a form of supporting national energy security? This research will use normative juridical research and supported by empirical juridical research so that it will be able to see the conditions of developing renewable energy as a form of supporting national energy security in Indonesia. To realize this, it is necessary to urgently regulate the development of renewable energy as a form of supporting national energy security*
Keywords: *Energy, Renewable, Resilience, National Energy.*

Abstrak: Kedaulatan energi di Indonesia tengah mengalami masalah dengan adanya penurunan ketahanan energi nasional. Sistem energi Indonesia saat ini sedang menghadapi tantangan serius. Ketimpangan kondisi persediaan energi dengan kebutuhan energi nasional, terutama sektor migas dan upaya pemenuhan kebutuhan energi nasional secara berkelanjutan merupakan permasalahan utama bangsa ini pada bidang energi. Mutlak diperlukan upaya- upaya strategis dalam bidang penciptaan energi baru dan terbarukan. Meskipun pemerintah telah mengeluarkan berbagai kebijakan untuk mengejar ketertinggalan, namun untuk mewujudkan ketahanan energi nasional, maka diperlukan urgensi pengaturan pengembangan energi terbarukan sebagai wujud mendukung ketahanan energi nasional.Adapun rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah: 1) bagaimana kondisi pengembangan energi terbarukan sebagai wujud mendukung ketahanan energi nasional di Indonesia? 2) bagaimana urgensi pengaturan pengembangan energi terbarukan sebagai wujud mendukung ketahanan energi nasional? Penelitian ini akan menggunakan penelitian yuridis normatif dan didukung penelitian yuridis empiris seingga akan bisa melihat kondisi pengembangan energi terbarukan sebagai wujud mendukung ketahanan energi nasional di Indonesia. Untuk mewujudkan hal tersebut maka perlu urgensi pengaturan pengembangan energi terbarukan sebagai wujud mendukung ketahanan energi nasional
Kata kunci: *Energi, Terbarukan, Ketahanan, Energi Nasional.*

E-ISSN: 2657-0300
P-ISSN: 2657-0319

A. Pendahuluan

Sumber daya alam energi memiliki peranan yang sangat besar bagi suatu negara, baik dalam segi ekonomi, sosial maupun pembangunan nasional. Indonesia sendiri, mengingat keadaan fisik alamnya, sangatlah kaya akan berbagai sumber daya alam dan potensi energi yang melimpah baik dalam bentuk sumber daya energi tak terbarukan maupun sumber daya energi terbarukan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa Indonesia, sejatinya, memiliki kemampuan yang besar untuk menghasilkan energiguna menyokong kesejahteraan penduduknya (Iwan J. Azis, 2010).

Pada praktiknya, saat ini, ketersediaan energi di Indonesia tidak lagi dapat menunjang kebutuhan energi yang terus meningkat tersebut. Secara garis besar, fenomena ini terjadi atas beberapa faktor, diantaranya produksi energi di Indonesia yang menurun dari tahun ke tahun, serta terjadinya penipisan sumber daya cadangan yang dimiliki Indonesia. Ditambah lagi, terlepas dari ketersediaan sumber daya terbarukan, hingga saat ini, Indonesia masih menitik beratkan sumber daya energi tak terbarukan yang berasal dari fosil, seperti: minyak bumi, batu bara dan gas alam, sebagai bahan bakar energi (Farah Nabila, 2015). Bukan tidak mungkin jika ketergantungan ini akan berakibat kepada kelangkaan sumber energi.

Pemakaian energi di Indonesia masih didominasi penggunaan energi berbasis fosil terutama bahan bakar minyak bumi dan batu bara. Apabila dalam waktu dekat tidak ditemukan sumber-sumber energi baru yang signifikan pada tahun 2046 mendatang dikhawatirkan Indonesia akan mengalami defisit energi. Saat ini, sudah tidak boleh lagi bergantung pada ekonomi berbasis fosil karena cadangan fosil di berbagai negara sudah menurun, termasuk Indonesia. Penggunaan energi baru dan terbarukan, harus menjadi perhatian utama pemerintah Indonesia. Penggunaan energi baru dan terbarukan ini tidak hanya sebagai upaya untuk mengurangi pemakaian energi fosil (Satya Widya Yudha, 2017).

Indonesia pada saat ini juga sedang berkembang menjadi pasar energi yang besar di Asia. Dengan populasi dan pertumbuhan ekonomi yang tinggi, permintaan energi di dalam negeri yang terus meningkat serta penurunan produksi minyak bumi di dalam negeri telah menggiring Indonesia menjadi pengimpor energi dengan volume yang terus membesar (Metta Dharmasaputra, 2014). Seiring dengan pertumbuhan konsumsi energinya, Indonesia menghadapi berbagai tantangan/permasalahan ketahanan energi.

Mempertahankan keamanan pasokan energi dalam jangka panjang merupakan tugas berat di tengah kemampuan pasokan minyak bumi dalam memenuhi kebutuhan energi nasional yang kian terbatas. Hal ini tentu tidak terlepas dari begitu cepatnya transisi energi yang dialami oleh Indonesia.

Energi memainkan peran yang sangat penting dalam semua sektor kehidupan (industri, transportasi, rumah tangga, komersial, dan lain-lain). Persoalan yang sering muncul dalam konsumsi energi pada sektor rumah tangga adalah adanya disparitas (perbedaan) dalam konsumsi energi dan aksesibilitas terhadap sumber energi. Karakteristik konsumsi energi pada sektor rumah tangga di Indonesia adalah adanya dominasi dalam konsumsi energi non komersial, dominasi kelompok rumah tangga kaya dalam konsumsi energi komersial, rendahnya porsi rata-rata pengeluaran rumah tangga untuk energi dibandingkan rata-rata pengeluaran secara umum, serta cukup signifikannya rata-rata pertumbuhan per tahun dari konsumsi energi komersial pada sektor rumah tangga (Fery Triatmojo, 2013).

Terwujudnya sistem energi yang berkelanjutan akan mampu memberikan ketahanan energi nasional yang merupakan salah satu pondasi ketahanan nasional. Ketahanan energi nasional tersebut mencakup pengertian kemampuan Indonesia untuk

memenuhi kebutuhan energinya sendiri sehingga memiliki derajat kebebasan setinggi mungkin terhadap pengaruh asing terhadap sektor yang merupakan urat nadi kedaulatan tersebut.

Selain itu dengan adanya perubahan Undang-Undang tentang Pemerintahan Daerah dari Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2004 bergeser menjadi Undang-Undang Nomor 23 tahun 2014 tentang Pemerintah Daerah, telah menimbulkan kewenangan pengelolaan sejumlah sektor dari daerah ke pusat. ia mencontohkan pada sektor pertambangan, kehutanan, dan pendidikan terjadi pengalihan kewenangan dari daerah ke provinsi. Daerah berhak menetapkan kebijakan daerah dalam menyelenggarakan urusan pemerintahan yang menjadi kewenangan daerah pada pasal 17 ayat 1.

Akhirnya, nampak diperlukan kajian analisis akademik secara mendalam untuk memahami berbagai permasalahan-permasalahan kebijakan energi nasional yang terbarukan tersebut untuk mendukung ketahanan energi nasional. Berangkat dari berbagai paparan-paparan di atas, maka kajian sederhana yang hendak dibahas dari tulisan ini akan membahas mengenai pengembangan energi terbarukan sebagai wujud mendukung ketahanan energi nasional.

B. Metode Penelitian

Sebagaimana diketahui kata metode berasal dari kata Yunani "*methods*" atau dari kata latin "*methodus*" yang berarti upaya untuk mencari pengetahuan dan memeriksa secara rasional (atau meneliti) dan cara melakukan kegiatan penelitian (C.F.G Sunaryati Hartono, 2006). Metode penelitian pada dasarnya tidak lebih dari tiga langkah sederhana, yaitu dengan melakukan pengamatan dengan cermat, menyusun penjelasan berdasarkan temuan-temuan yang masih belum dipahami, kemudian menguji penjelasan tersebut (Stephan S Carey, 2015). Menemukan berarti berusaha mendapatkan sesuatu untuk mengisi kekosongan atau kekurangan. Mengembangkan berarti memperluas dan menggali dalam apa yang sudah ada, sedangkan menguji kebenaran dilakukan jika apa yang sudah ada masih atau menjadi diragukan kebenarannya (Beni Ahmad Saebani, 2009). Dalam penelitian hukum harus dilakukan dengan aktivitas-aktivitas untuk mengungkap kebenaran hukum yang dilakukan secara terencana dan metodologis. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif yang menggambarkan peran DPD RI terhadap pembangunan daerah perbatasan dan tertinggal dalam era otonomi daerah. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini, adalah pendekatan *yuridis normatif* yang didukung pendekatan *yuridis empiris*, digunakan untuk mengetahui peran DPD RI terhadap pembangunan daerah perbatasan dan tertinggal dalam era otonomi daerah.

C. Hasil dan Pembahasan

Energi merupakan sebuah unsur yang diperoleh dari sumber daya alam yang berfungsi untuk memenuhi segala kebutuhan makhluk hidup terutama bagi manusia dalam menjalani aktivitasnya. Penggunaan energi tersebut dimaksudkan sebagai bentuk upaya manusia untuk dapat mempertahankan keberadaannya dan mampu meningkatkan kesejahteraan dan kemakmuran hidupnya. Penggunaan terhadap energi tersebut sering dimanfaatkan oleh manusia sebagai sumber untuk penyediaan tenaga listrik. Upaya tersebut sejalan dengan apa yang tercantum didalam Konstitusi Negara Republik Indonesia, yaitu pada Pasal 33 Ayat (3) UUD 1945 yang menyatakan bahwa

E-ISSN: 2657-0300
P-ISSN: 2657-0319

"Bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat".

Pemanfaatan terhadap energi oleh manusia lebih didominasi kepada penggunaan energi fosil yang jumlah Ketersediannya sangat terbatas. Selain itu, Pemanfaatan atas energi tersebut sering digunakan secara terus-menerus sehingga dapat menyebabkan kelangkaan atau bahkan menyebabkan habisnya suatu energi. Oleh karena itu Energi Baru dan Terbarukan muncul sebagai suatu Inovasi dan alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut sebagai upaya untuk mencegah kelangkaan energi yang nantinya akan berdampak pada terganggunya stabilitas kehidupan makhluk hidup.

Menurut definisi *International Energy Agency* (IEA), Energi Baru dan Terbarukan adalah energi yang berasal dari proses alam yang diisi ulang secara terus menerus dan secara berkelanjutan dapat terus diproduksi tanpa harus menunggu waktu jutaan tahun layaknya energi berbasis fosil. EBT merupakan energi alternatif yang dapat dimanfaatkan oleh manusia di zaman modern ini sebagai pengganti dari energi fosil yang sifatnya tidak dapat diperbaharui dan tak terbarukan. Pemahaman EBT menurut Undang-Undang No 30 Tahun 2007 dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) bagian, yaitu "Energi baru" yang berasal dari sumber energi baru yaitu jenis-jenis energi yang pada saat ini belum dipergunakan secara massal oleh manusia dan masih dalam tahap pengembangan teknologi. Sedangkan, "Energi terbarukan" merupakan energi yang berasal dari sumber energi terbarukan yang ketersediaan sumbernya bisa digunakan kembali setelah sumber itu digunakan atau dihabiskan. Selain itu, Pemanfaatan energi baru terbarukan dinilai lebih ramah lingkungan karena mampu mengurangi pencemaran lingkungan dan kerusakan lingkungan jika dibandingkan dengan energi tak terbarukan karena EBT cukup cepat untuk dapat dipulihkan kembali secara alami. Artinya , EBT yang dihasilkan dari sumber daya energi yang secara alami tidak akan habis jumlahnya dan dapat bersifat berkelanjutan apabila dikelola dengan baik. Oleh karena itu, Energi Baru dan terbarukan dapat disebut juga sebagai energi yang berkelanjutan (*sustainable energy*).

Potensi yang dimiliki oleh Energi Baru dan Terbarukan ini cukup banyak jenisnya dan sangat bermanfaat sekali bagi manusia dalam menunjang kebutuhan hidupnya terutama dalam penyediaan tenaga listrik sebagai sumber pengganti dari Energi Fosil yang tidak dapat diperbaharui dan jumlahnya sangat terbatas. Beberapa sumber Energi Baru dan Terbarukan misalnya Biofuel, biomasa, panas bumi, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), angin, energi matahari, pasang surut dan gelombang laut.

Penerapan Energi Baru Terbarukan di Indonesia tentunya harus dilaksanakan sesuai dengan Asas Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang tercantum dalam UU No 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Asas-asas PPLH tersebu terdiri dari: Asas kelestarian dan keberlanjutan. Asas ini menjelaskan bahwa setiap orang memikul kewajiban dan tanggung jawab terhadap generasi mendatang dan terhadap sesamanya dalam satu generasi dengan melakukan upaya pelestarian daya dukung ekosistem dan memperbaiki kualitas lingkungan hidup. Oleh karena itu , EBT hadir untuk menyediakan Energi yang lebih ramah lingkungan dan dapat digunakan secara terus menerus sehingga keberadaan EBT masih akan terjaga hingga masa yang akan datang.

Asas keanekaragaman hayati, asas ini menjelaskan Bahwa perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup harus memperhatikan upaya terpadu untuk mempertahankan keberadaan, keragaman, dan keberlanjutan sumber daya alam hayati yang terdiri atas sumber daya alam nabati dan sumber daya alam hewani yang bersama

dengan unsur nonhayati di sekitarnya secara keseluruhan membentuk ekosistem. Hal inipun perlu diperhatikan dalam Penerapan Energi Baru Terbarukan, dimana penggunaan EBT merupakan salah satu alternative dari penggunaan Energi tak terbarukan dan tidak dapat diperbaharui yang dapat mengancam dan mengurangi eksistensi keanekaragaman hayati.

Asas Ekorigion, asas ini menjelaskan Bahwa dalam perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup harus memperhatikan karakteristik sumber daya alam, ekosistem, kondisi geografis, budaya masyarakat setempat, dan kearifan local yang ada. Artinya keberadaan EBT dapat menjadi suatu langkah bagi Pemerintah beserta masyarakat untuk dapat memanfaatkan setiap Energi yang tersedia di Indonesia yang sifatnya dapat diperbaharui kembali.

Asas Kemanfaatan, asas ini menjelaskan Bahwa segala usaha dan/atau kegiatan pembangunan yang dilaksanakan disesuaikan dengan potensi sumber daya alam dan lingkungan hidup untuk peningkatan kesejahteraan masyarakat dan harkat manusia selaras dengan lingkungannya. Hal tersebut dapat mempertegas hadirnya EBT yang mampu memberikan berbagai manfaat yang besar dalam Penggunaan Energi bagi Kehidupan masyarakat yang makmur dan sejahtera.

Asas Keadilan, asas ini menjelaskan Bahwa perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup harus mencerminkan keadilan secara proporsional bagi setiap warga negara, baik lintas daerah, lintas generasi, maupun lintas gender. Artinya, aalam melaksanakan kebijakan pengelolaan dan perlindungan lingkungan hidup harus memperhatikan keberlanjutan dan regenerasi yang baik bagi setiap masyarakat di masa kini dan masa yang akan datang. Oleh karenanya, Energi Baru Terbarukan dapat menjadi solusi untuk melakanakan kebijakan tersebut.

Asas Tanggung jawab Negara, asas ini menjelaskan bahwa Pemanfaatan EBT merupakan upaya pemerintah dalam melaksanaan pengelolaan dan perlindungan lingkungan hidup yang baik dan dapat dilaksanakan dengan cara: 1) negara menjamin pemanfaatan sumber daya alam akan memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi kesejahteraan dan mutu hidup rakyat, baik generasi masa kini maupun generasi masa depan; 2) negara menjamin hak warga negara atas lingkungan hidup yang baik dan sehat; dan 3) negara mencegah dilakukannya kegiatan pemanfaatan sumber daya alam yang menimbulkan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup.

Dalam Proses Pelaksanaannya, Pelaksanaan EBT di Indonesia hingga saat ini mulai sedikit demi sedikit diterapkan dan masih tetap terus digalakan oleh Negara sebagai bentuk upaya Pemerintah menyediakan energi untuk kehidupan masyarakat seperti ketersediaan tenaga listrik dan bahan bakar. Hal ini didasarkan kepada semakin meningkatnya kesadaran umat manusia untuk mengelola dan menjaga kelestarian lingkungan dengan baik sehingga diperlukan energi yang bersifat ramah lingkungan. Kesadaran masyarakat dan pemerintah akan hal tersebut ditandai dengan kondisi global yang sedang populer dimana pemanfaatan energi sudah mengarah kepada energi yang berasal dari Energi Baru Terbarukan. Selain itu, EBT dapat berperan dalam menjawab beberapa masalah lingkungan yang ada. Contohnya mengenai kondisi energi nasional saat ini, Dimana 90% energi yang dimanfaatkan berasal dari energi fosil yang semakin berkurang keberadaannya dan merupakan faktor penting terjadinya perubahan iklim.

Pemanfaatan EBT ini sangat diperlukan oleh masyarakat dalam penyediaan tenaga listrik untuk kebutuhan hidup sehari-hari. Jika melihat kepada Jumlah penduduk

E-ISSN: 2657-0300
P-ISSN: 2657-0319

Indonesia saat ini, dimana populasinya sangat besar, yaitu sekitar lebih dari 250 juta jiwa dengan Pertumbuhan kebutuhan energi listrik sekitar 8% per tahun, yang kemudian berakibat kepada terjadinya peningkatan energi listrik yang signifikan, yaitu sekitar 7 000 MW per tahun. Maka dari itu, diperlukanlah keamanan pasokan bagi ketersediaan energi, khususnya energi listrik.

Selain itu, Disamping Pemanfaatan EBT di Indonesia yang cenderung mengarah kepada hal-hal positif, ternyata EBT pun masih terdapat sedikit kendala dalam pelaksanaannya. Diantaranya yaitu mengenai Pemanfaatan EBT yang dinilai masih membutuhkan biaya pengadaan dan operasional yang cukup tinggi dan jauh melampaui energi konvensional dan energi fosil lainnya (minyak dan batu bara). Selain itu, EBT memiliki nilai investasi yang tinggi sehingga memberikan dampak serius pada kenaikan tarif listrik. Akan tetapi, Permasalahan EBT tersebut dinilai dapat cukup mudah untuk diselesaikan karena akan adanya kerjasama Pemerintah dengan pihak swasta untuk mengoperasionalkan Pemanfaatan EBT di Indonesia.

Gagasan Mengenai Pemanfaatan EBT di Indonesia sebenarnya telah digagas beberapa tahun kebelakang yang ditandai dengan terbitnya beberapa UU yang mengatur EBT tersebut. Akan tetapi, perhatian dan kebutuhan masyarakat dan pemerintah terhadap EBT ini tidak terbatas pada beberapa waktu kebelakang, tetapi akan berjalan secara berkelanjutan. Hal ini ditandai dengan diterbitkannya Permen ESDM No 4 Tahun 2020 atas Perubahan Permen ESDM No 50 Tahun 2017, dimana UU tersebut mengalami pembaharuan dan peningkatan berdasarkan kebutuhan yang dialami saat ini. Sehingga pada dasarnya, kebijakan mengenai EBT akan terus berjalan hingga masa yang akan datang.

Gagasan EBT dilandasi pada Penggunaan energi hijau yang ramah lingkungan yang telah menjadi tuntutan Makhluk Hidup di planet bumi ini. Indonesia yang juga telah menyatakan komitmennya untuk terus memajukan dan meningkatkan Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan sebagai bagian dari Paris Agreement dan sebagai Wujud keseriusan Indonesia terhadap Sustainable Development Goals (SDGs). Pada khususnya terletak pada poin SDGs No.7, yaitu memastikan akses energi yang terjangkau, andal, berkelanjutan, dan modern bagi semua. Gagasan Pemanfaatan EBT di Indonesia inipun sejalan dengan program Nawacita yang digagas oleh Presiden Joko Widodo. Sebagai implementasi SDGs tersebut, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) kemudian menerjemahkannya menjadi ‘Energi Berkeadilan yang Bertujuan Menyediakan Energi yang Berkelanjutan dan Terjangkau bagi Masyarakat. Sebagai perwujudan dan komitmen terhadap energi yang berkelanjutan, pemerintah telah melahirkan Blueprint kebijakan energi nasional, Dalam Blueprint cukup jelas menyebutkan jadwal dan besaran persentase yang harus dicapai adalah pada tahun 2025. Peran Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia diharapkan sudah bisa mencapai 23-25%. Kemudian target tersebut naik lagi menjadi 36% pada 2050.

Energi Baru dan Terbarukan merupakan sumber daya alam yang Pemanfaatannya saat ini sangat dibutuhkan untuk menunjang kebutuhan hidup makhluk hidup terutama manusia. EBT memiliki peran sebagai Sumber daya alternatif yang dapat menggantikan Energi fosil yang sifatnya tidak dapat diperbaharui dan jumlahnya terbatas apabila digunakan secara terus-menerus. EBT pun dapat menjadi sebuah energi yang dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan (Sustainable Energy) hingga masa yang akan datang. Pengaturan mengenai Energi alternatif EBT di Indonesia sendiri tercantum di dalam beberapa ketentuan peraturan perundang-undangan seperti pada Permen ESDM dan UU tentang Energi. Penetapan EBT dalam sebuah pengaturan hukum dimaksudkan agar setiap kebijakan mengenai EBT dapat terlaksana dengan

baik dalam menghasilkan dan menciptakan Energi yang berkelanjutan dan berbasis ramah lingkungan sesuai dengan komitmen Negara Indonesia di dalam Perjanjian Paris untuk dapat memberikan jaminan terhadap ketahanan energi hingga masa yang akan datang dan mengurangi penggunaan Energi fosil yang dapat mengancam dan merusak lingkungan.

D. Penutup

Berdasarkan penyajian diatas maka penelitian ini akan memberikan masukan terhadap urgensi pengaturan pengembangan energi terbarukan sebagai wujud mendukung ketahanan energi nasional, mengingat permasalahan yang dihadapi Indonesia seperti: produksi minyak bumi terus menurun, rasio penemuan cadangan/produksi rendah, ketergantungan impor energi membesar, proposi batubara yang diekspor terlalu besar, besarnya proposi ekspor LNG dan gas bumi serta masih lamanya keterikatan pada kontrak-kontrak ekspor jangka panjang. Urgensi pengaturan pengembangan energi terbarukan sebagai wujud mendukung ketahanan energi nasional, mengingat energi memiliki peranan yang sangat penting artinya bagi peningkatan kegiatan ekonomi dan keamanan nasional, sehingga pengelolaan energi yang meliputi penyediaan, pemanfaatan, dan pengusahananya harus dilaksanakan secara berkeadilan, berkelanjutan, optimal, dan terpadu. Serta mengingat bahwa cadangan sumber daya energi tak terbarukan terbatas, maka perlu adanya kegiatan penganekaragaman sumber daya energi agar ketersediaan energi terjamin.

Datar Pustaka

Beni Ahmad Saebani, *Metode Penelitian Hukum*, Pustaka Setia, Bandung, 2009.

C.F.G Sunaryati Hartono, *Penelitian Hukum Di Indonesia Pada Akhir Abad Ke-20*, Cetakan Kedua, Alumni, Bandung, 2006.

Farah Nabila, *Menjaga Kedaulatan Energi Dengan Reformasi Kebijakan Diversifikasi Sumber Daya Energi*, Jurnal Hukum dan Pembangunan, Tahun 45, Nomor 1, 2015.

Fery Triatmojo, *Dinamika Kebijakan Diversifikasi Energi Di Indonesia: Analisis Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan Di Indonesia*, Jurnal Ilmiah Administrasi Publik dan Pembangunan, Volume 4, Nomor 2, 2013.

Iwan J. Azis, et. al., *Pembangunan Berkelanjutan dan Kontribusi Emil Salim*, Kepustakaan Populer Gramedia, Jakarta, 2010.

Metta Dharmasaputra, Ancaman Krisis Minyak Bagi Pemerintah Baru, KataData, Jakarta, 2014.

Satya Widya Yudha, Paparan Wakil Ketua Komisi VII DPR RI, dalam acara Diskusi Nasional Kebijakan Energi, Universitas Gadjah Madah, Tanggal 16 April 2017.

Stephan S. Carey, *A Beginner's Guide to Scientific Method*, Wasworth Cengage Learning, 2004. (Penerjemah) Irfan M Zakkie, *Kaidah-Kaidah Metode Ilmiah Panduan Untuk Penelitian dan Crtical Thinking*, Nusamedia, Bandung, 2015.

E-ISSN: 2657-0300
P-ISSN: 2657-0319

Trends in Renewable Energy
OPEN ACCESS ISSN: 2376-2144
Peer-Reviewed Article futureenergysp.com/index.php/tre

World on the Road to 100% Renewable Energy

Nima Norouzi, Maryam Fani*

Department of Energy Engineering and Physics, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), 424 Hafez Avenue, PO. Box 15875-4413, Tehran, Iran

Received September 11, 2021; Accepted October 19, 2021; Published October 28, 2021

In the study, the current and future status of renewable energy resources were compiled in the light of large databases of national and international renewable energy institutions, and the latest situation in the world in the transition to 100% renewable energy was examined. The extent of the goal for the transition to 100% renewable energy has been determined, and predictions have been made based on all this information. In today's world where energy and environmental problems are on the agenda, countries' transition to renewable energy is the primary solution. This goal is called the transition to 100% renewable energy, which brings advantages such as providing needed energy and producing clean energy. Today, renewable energy sources account for more than one-third of the global energy capacity, and the world is rapidly moving towards 100% renewable energy. Compared with 2017, the total amount of renewable energy in 2018 increased by 181 GW, and the number of countries with an increase in the proportion of renewable energy increased. Taking into account the external dependence of the use of fossil fuels and environmental issues, this development is at a promising level in the future. In order to shift from highly polluting oil resources to natural gas and renewable resources, this article aims to investigate the current global energy transition trends, and then propose some important strategies to get closer to upstream goals and obligations in this way.

Keywords: 100% Renewable energy; Alternative energy sources; Fossil fuel; Energy policy; Sustainable economics

1. Introduction

Today, energy has become one of the most vital needs of the world and humanity. Due to the increasing demands and the production processes developed to meet these demands, the energy use is also increasing. To find permanent solutions to the energy demands, it is necessary to define energy problems correctly, find applicable solutions, distinguish between old and current best energy technologies, and not use old technologies that do more harm than good [1, 2]. From the perspective of energy market and energy demand, fossil fuels are under pressure, which gives the newly mature renewable energy market an advantage. Renewable energy including solar energy, wind energy, geothermal energy, hydro energy, ocean energy, biomass energy and hydrogen energy can be listed as renewable energy sources [2].

Fossil fuels pose a critical problem, as they cause global climate change and environmental problems. Fossil fuels are not endless resources and are in danger of extinction. Due to the greenhouse gases formed by fossil fuels in energy production. The

*Corresponding author: mfani@aut.ac.ir

Tr Ren Energy, 2021, Vol.7, No.1, 114-126. doi: 10.17737/tre.2021.7.1.00132

limitation of fossil fuel sources necessitates the diversification of energy sources to ensure the availability of energy. It is predicted that turning to new and renewable energy sources will be the right step in meeting the energy needs of the future [3].

With the development of technology, industrialization and the improvement of living standards, the energy resources of countries, how they use these energy sources, how efficiently they use them, and how they evaluate, control, and develop have also effectively shaped the country's political process. The energy independence of the countries adds political decisiveness. For all these reasons, studies to increase the use of renewable energy sources in production planning for the future are also gaining momentum [4-6].

To meet the increasing energy demand in countries, reduce foreign dependency on energy resources, and make an environmentally friendly production, it is important to use renewable energy resources at the highest level. Various renewable energy sources have a utilizable potential to provide added value to the economy in countries. The fact that the potential is not fully utilized puts the world's economy under pressure and causes negative effects on the ecosystem, especially air pollution and climate change [7].

The most up-to-date and effective solution proposal for improving similar problems experienced on a global scale is accepted as the "Transition to 100% Renewable Energy" approach. Renewable energy includes high entropy resources suitable for realizing and converting energy production of the desired quality [8]. The benefits of transitioning to 100% renewable energy can be listed as a fuel source, possible decrease in energy prices, reducing foreign dependency on energy, a safe and clean energy production, improvement of air, water, and environmental pollution, protection of public health, and regulation of the local economy [9].

Of course, besides the advantages of renewable energy sources such as clean energy and infinite, some disadvantages should be considered. These relate to limited potential, high cost, and energy densities. The high initial investment costs of the projects for renewable energy sources in energy production and energy storage problems create a disadvantage in using renewable energy sources [9].

Renewable energy sources currently account for more than one-third of global energy capacity [10]. More than 1 gigawatts (GW) of renewable power capacity was installed in more than ninety countries in 2018. In recent years, cities and countries have seen an increasing movement towards meeting 100% of energy from renewable sources. Countries such as Norway, Costa Rica, China, Germany, and Sweden have set the targets of their local energy sectors as "100% transition to renewable energy sources" [11].

According to the Renewable Energies 2019 Global Status Report, 2018 experienced a relatively stable market for renewable energy technologies, with a total renewable energy increase of 181 GW compared to 2017, and the number of countries growing their share of renewable energy continues to increase. Renewable energy sources provided an estimated more than 26% of global electricity generation by year-end, but renewable energy options provide only 10% and 3% of the energy needed for heating and transportation. Increasing renewable technologies and improving integration between the energy, heating, cooling, and transport sectors will enable the transition to a fully renewable energy world [12]. Investments in the transition to 100% renewable energy, which started to gain momentum in 2013, increased steadily towards the end of 2015 and reached 290 billion dollars. Due to reducing carbon dioxide emissions released into the atmosphere and creating a healthier environment, the transition to 100% renewable energy is the only way to offer a healthy life to all humanity in a sustainable structure. To

become a world that has switched to 100% renewable energy by 2050 using existing renewable energy technologies, it is necessary to use all renewable energy sources together and develop storage technologies [13]. Global pressures due to the negative effects on both national economies and environmental resources, depending on the technologies applied for the extraction and use of the natural resources they use while meeting the countries' energy needs, make the implementation of 100% renewable energy transition policies inevitable. In this context, this study aims for the readers to access the most up-to-date information on the subject by compiling the sources and academic articles of internationally accepted international institutions where the records of up-to-date statistical information are kept. In light of the data obtained in this context, it aims to reveal a road map suitable for the world's socio-economic structure in line with the transition to 100% renewable energy [14].

2. Renewable Energy Sources

This section gives brief information about the current status of renewable energy resources on an international scale.

2.1 Biomass

Biomass is an important renewable and sustainable energy source that is thought to replace fossil fuel sources. Wood, agricultural products, agricultural by-product waste, animal waste, municipal solid waste, sewage sludge from wastewater treatment plants, wastes from food processing, aquatic plants, and algae are the most important biomass sources [15]. It is foreseen that biomass and bioenergy will play a vital role in the future of the global energy scenario in producing heat and power, chemicals, and fuels. Bioenergy has recently received special attention by decreasing fossil fuel resources and increasing environmental concerns[16]. Bioenergy contributes to poverty reduction in developing countries. Bioenergy is considered the best alternative fuel that meets energy requirements. It can meet energy demands in the future, with its advantages such as providing the necessary energy at all times without complex energy conversion and expensive processes and being environmentally friendly. By 2050, it is predicted that more than 25% of the world's primary energy will be obtained from biomass [17]. Bioenergy is among the energy sources that make the most important contribution to the global renewable energy supply. It has been reported to contribute an estimated 12.4% to final global energy consumption as of the end of 2017. 5% of the global heating supply, 3% of the transportation, and 2% of the electricity supply were provided from bioenergy. According to 2018 data, China is the world leader in this field, while the USA, Brazil, India, and Germany are among the countries that follow China [18].

2.2 Geothermal Energy

Geothermal energy, the earth's internal heat, is based on spreading this internal heat from the hot region in the center to the earth and is used in many areas such as electrical energy production, heating, agriculture, greenhouse cultivation, and fishing. The world's installed capacity of geothermal energy is expressed in two ways: power generation and heat generation. Total geothermal power generation in 2018 is estimated at 630 PJ, of which about half is used for electricity purposes (89.3 TWh). A new

geothermal energy capacity of 0.5 GW was created in 2018, and the global total was 13.3 GW [13].

With the geothermal energy projects completed in 2018, Turkey increased its installed capacity by 21% (219 MW) to 1.3 GW. Indonesia increased its geothermal capacity by 140 MW and its installed capacity to 1.95 GW [17]. USA, Iceland, New Zealand, Croatia, Philippines, and Kenya follow these two countries. Countries on an active tectonic belt can be mentioned as geothermal-rich due to their geological and geographical location. Approximately tens of thousands of geothermal springs in natural outflows at different temperatures are scattered worldwide[18].

2.3 Hydropower

Hydropower is a renewable energy source that has greatly expanded its role in electricity generation due to factors such as the increase in electricity demand and the increase in turbine efficiency. It is especially popular in emerging markets in Asia, Latin America, and Africa[19]. In 2018, the total installed power in the global hydropower market increased by 20 GW and reached 1132 GW. The top 10 countries in total hydropower capacity (respectively) are China, Brazil, Canada, United States of America, Russian Federation, India, Norway, Turkey, Japan, and France, and these countries represent two-thirds of the global capacity [20].

2.4 Ocean Energy

Wide and powerful oceans store enough energy in heat, current, waves, and tides to meet the total energy demand worldwide many times over. However, ocean energy still makes up only a small part of the world's energy supply today. Concerns about global climate change and other environmental effects of dependence on fossil fuels worldwide have increased interest in renewable energy and ocean energy. As global reliance on renewable energies grows in the future, there will be greater interest in large ocean energy stores. Ocean energy is a renewable energy source that represents the smallest segment of the renewable energy market. Most of the projects with this type of energy are small-scale and pilot projects, and it was calculated that there was an operating capacity of 532 MW in 2018. Although the resource potential of ocean energy is high, its use is unfortunately not common. The support of ocean power technologies, especially by governments in Europe and North America, has strengthened electricity generation with ocean energy [21, 22].

2.5 Solar Energy

Solar energy is a primary energy source widely applied in heating, architecture, urban planning, agriculture, horticulture, transportation, and fuel production applications. Demand for solar energy is increasing in emerging markets and Europe. Solar energy showed the highest electricity production values in 2018 and became one of the most sought-after renewable energy types globally. More than 100 GW of capacity in solar energy was added to the annual global market, and the total capacity was 505.5 GW at the end of the year [23]. Especially in the United States and Europe, solar energy capacity has increased significantly. It also builds solar power plants to run mining, manufacturing, and other industries worldwide [24]. By 2018, solar energy capacity has increased by 1 GW or more in 32 countries [19]. China accounts for approximately 74% of the global capacity in solar energy, followed by Turkey, Brazil, and the USA [25].

2.6 Wind Power

Wind energy is a renewable energy source whose global market is developing steadily, increasing its capacity by approximately 51 GW in 2018. Wind power capacity increased by 9% in 2018 to 591 GW. In 2017, record wind energy capacity was experienced in Europe and India, but this situation did not show the same stability in 2018, while there was remarkable growth in other regions and countries. The largest regional market was Asia with 52%. Seven countries in Europe and two in Asia increased their capacity by 4.5 GW and global capacity by 24% to 23.1 GW [22].

2.7 Hydrogen Energy

Today's increased investment and cheaper renewable energy supply will impact hydrogen production costs and increase the shift from fossil fuels to cheaper renewable energy. This fact confirms that hydrogen energy technologies will play an important role in reaching the 100% renewable energy target [26].

Hydrogen produces nearly zero emissions, and its abundant natural resources can be an ideal sustainable energy source. Unlike hydrogen, fossil fuel sources cause serious environmental problems such as air pollution and global warming. Hydrogen should be produced from clean and rich sources with environmentally friendly methods to eliminate the negative effects of fossil fuel use on the environment, human health, and climate. Hydrogen energy produced from renewable energy sources will pave the way for a permanent energy system [23].

Many projects are being produced globally for hydrogen energy to become widespread, and various pilot plants are being established. The hydrogen-powered bus in many countries, such as Turkey's wind hydrogen production projects, are among the pilot plant studies. Apart from this, there are many examples of pilot-scale projects in the world. Among these projects, small hydroelectric power plants established for hydrogen production in China, hydrogen-producing wind turbines in Argentina, hydrogen-fueled vehicles in South Korea and India are examples of these studies. In addition, it is planned to produce hydrogen with solar panels in Libya, and the use of hydrogen is becoming common in countries such as Portugal, Colombia, Egypt, Russia, and Italy [28].

3. 100% Renewable Energy

Fossil fuels resources face increasing supply, environmental pollution, and climate change problems, while renewable energy can offer the best prospects for energy. Renewable energy sources differ from fossil fuels in many important ways. The concept of transition to 100% renewable energy means using completely renewable energy sources in all areas where energy is used, especially in electricity generation, transportation, and heating/cooling. Achieving this goal will reduce unsustainable energy demand, increase energy efficiency, and produce much cheaper and cleaner energy [11].

In this section, it provides information on the path taken by the world's 100% renewable energy from the past to the present, and explains the work done to accelerate the global and local transition to 100% renewable energy.

3.1 Transition to 100% Renewable Energy in the World

Progress in the renewable energy sector continues to be concentrated in electricity generation, while there is much less growth in heating, cooling, and transportation.

Electricity accounts for only one-fifth of global energy consumption, and the role of renewable energies in the transport and heating sectors remains critical to the energy transition [9]. Globally, 2018 has drawn a stable profile in the transition to 100% renewable energy. Compared to 2017, 181 GW of renewable energy was added and the number of countries making progress in the transition to 100% renewable energy increased. The renewable energy sector generally provided around 11 million (direct and indirect) employments worldwide in 2018 [11]. Although progress has been made in energy efficiency and transition to 100% renewable energy, it is behind the World Sustainable Development Goals and the Paris Agreement globally. Global energy-related carbon dioxide (CO_2) emissions increased by 1.7% in 2018 due to increased fossil fuel consumption. Fossil fuel use has increased by 11% since 2017 [22]. Fossil fuel companies continue to spend hundreds of millions of dollars on advertising to delay, control or thwart climate change policies and influence public opinion.

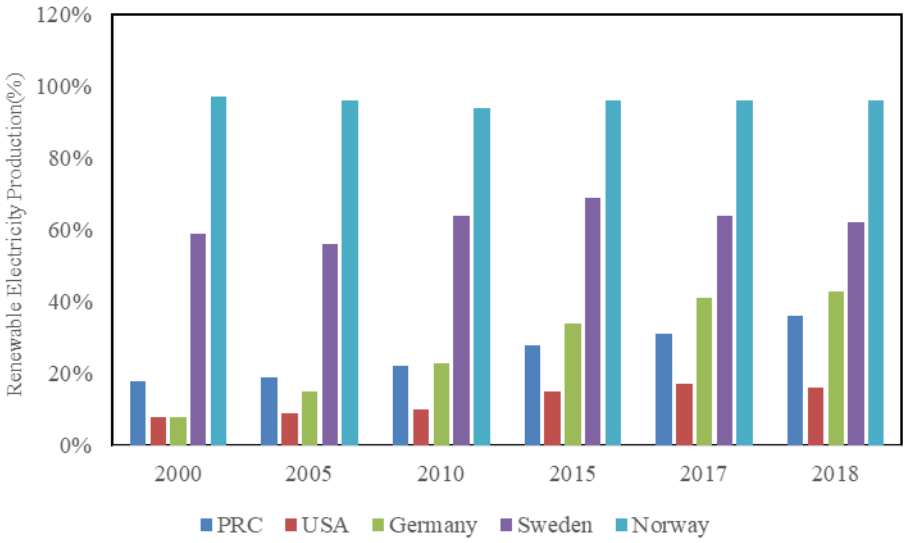


Figure 1. Renewable electricity production (%) of countries [28]

In Figure 1, renewable energy productions of countries that are one step ahead of other countries in the transition to 100% renewable energy are compared. When the renewable energy production of China, the United States of America, Germany, Sweden, and Norway (which is one step ahead of other countries in the transition to 100% renewable energy) is compared with each other, it is seen that Norway has switched to 100% renewable energy. All of its electrical energy is from renewable energy appears to be met. Sweden, closest to the transition to 100% renewable energy, follows Norway in second place. China, the USA, and Germany are also countries that have made progress in the transition to 100% renewable energy with their ever-increasing renewable energy profiles [29].

Figure 2 shows the share of countries' renewable production in total consumption and information about the status of renewable production in total consumption.

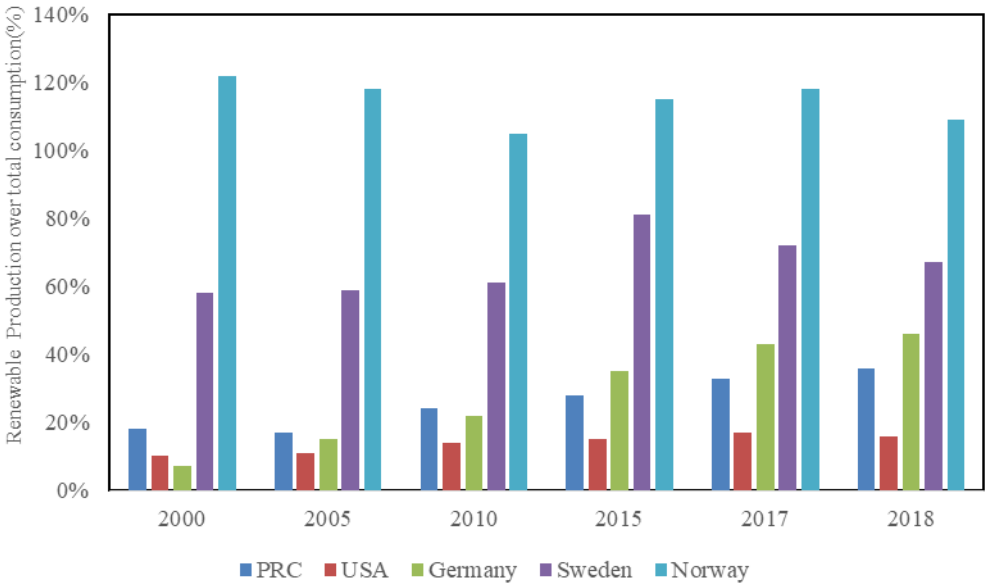


Figure 2. Share of renewable energy production(%) of countries in total consumption [18]

When the data in Figure 2 are analyzed statistically, Norway has a high production rate approaching or even exceeding 120%, because there is more renewable production than consumption in Norway, and the share of renewable production in total consumption is high. Sweden follows Norway in second place. It is observed that the share of renewable generation in the USA total consumption is low. Figure 3 shows the electrical energy consumption in different countries [30].

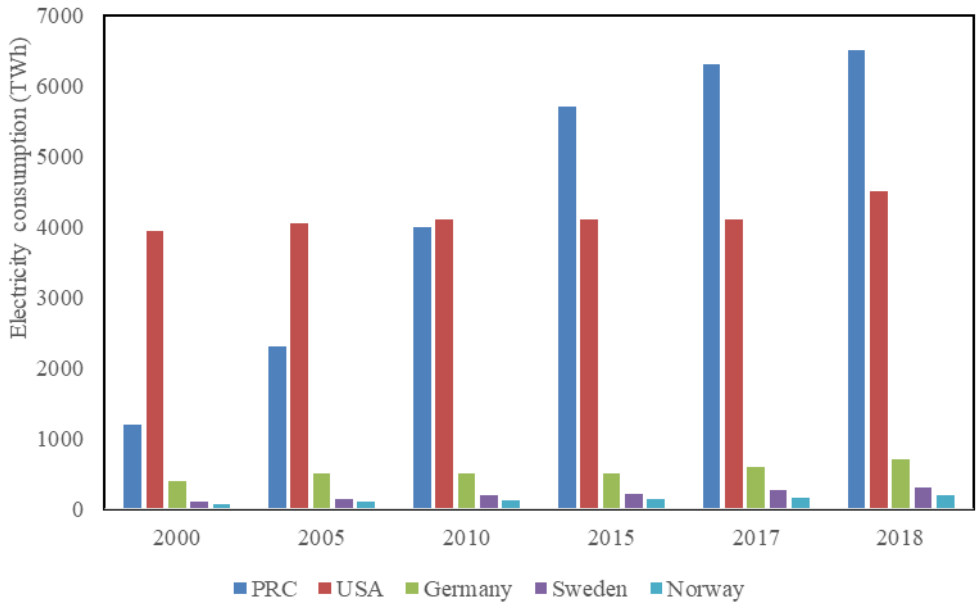


Figure 3. Electricity consumption of countries (TWh) [14]

When Figure 3 is examined, the total electrical energy consumption in China, where the share of renewable generation is low, was 6500 TWh in 2018, only about a

quarter of which can be met from renewable energy production. This is also true for the USA. Despite the electricity consumption of 4500 TWh in 2018, only about 18% of this energy is met by renewable generation [15]. In the light of this information, it is seen that although energy consumption is high, the share of renewable generation in this consumption share is low in many countries except Sweden. The energy consumed cannot be satisfied with renewable energy, and there is still a long way to go to satisfy it [31].

Countries aiming to transition to 100% renewable energy have many initiatives, small or large, to achieve this goal. According to 2018 International Energy Agency data, the share of global electricity generation from renewable energy was 26%. This situation shows that there is a 26% transition to 100% renewable energy globally. By 2018, 169 countries aim to transition to 100% renewable energy at the national or state/provincial level [17]. Since buses contribute more to air pollution than other public transport vehicles, solar buses in Uganda, solar ferries in India, and wind-powered trains in the Netherlands have begun to be used to switch to renewable power [19]. Countries also implement several policy measures to move forward on the path to 100% renewable energy. In Australia, the University of New South Wales has become the world's first fully solar-powered university, and it will start working with 100% solar energy by 2020. Again, many universities in Kenya (including Strathmore and Kenyatta Universities) use solar panels for their energy supply and earn money by selling the electricity they produce to the national grid. Scotland aims to produce all its electrical energy from renewable energy sources by 2020. Albania, Norway, and Costa Rica are among the countries that have transitioned to 100% renewable energy [27]. In the Dutch rail network systems, 100% of its trains are powered by the Catholic Diocese wind energy. In England, they have committed to switch to 100% renewable energy and buy renewable energy. In light of all this information, it is possible to say that the share of renewable generation has increased globally, the transition to 100% renewable energy has accelerated, and all developed, and developing countries have taken steps in this regard [32].

3.2 Towards the Future

The energy issue is a big problem all over the world. Most energy problems arise from providing rent, not making the right investments, and risky projects. Switching to renewable and 100% renewable energy will be the cleanest and right solution [11]. For the transition to 100% renewable energy, an energy system based on efficiency, scientifically appropriate, and protected by laws from political influences should be introduced, leaving aside the discussion of profit/loss in the energy sector [9].

Most countries are dependent on foreign sources at a rate of 60-75% in electrical energy production. The regulations that are tried to be implemented within the scope of the Energy Efficiency regulations cannot take a very important distance in this regard. This dependency, unfortunately, also hinders independence in political and economic terms [32-34].

In the transition to 100% renewable energy, the most important thing that can be done to achieve the target is the efforts of local governments to achieve the target [11]. The local government authorities' targeting of transition to 100% renewable energy while creating energy-related policies will also positively affect the applicability. The general steps that can be taken to achieve the target are presented below in articles [27, 35, 36].

- Organize meetings with authorities to explain that the transition to 100% renewable energy is feasible and beneficial.

- Develop a local climate action plan for a rapid transition to 100% renewable energy.
- By increasing the awareness and practice of energy control in the society, to improve energy saving and access, to ensure clean energy production, to support small business activities; saving public money by reducing energy costs in local government buildings, reducing air and water pollution.
- Increasing public transportation in transportation and encouraging the use of renewable energy in transportation.
- To overhaul all transportation systems to make renewable energy healthier, more accessible, and sustainable, reduce fossil fuel dependence in transportation systems and combat climate change and air pollution. (For example, switching to electric energy in public vehicles, reducing and banning fossil fuel-powered cars in the city, incentivizing private electric vehicles.)
- Switch to renewable energy sources wherever possible and make buildings energy-efficient, including local authorities and public offices.
- Working with countries, cities, institutions, and organizations that have switched to 100% renewable energy, using their experiences, sharing ideas, contacting and examining the path they follow.
- Communities most affected by climate change, experiencing the direct effects of fossil fuels such as air, soil, and water pollution, are leaders transitioning to a new energy system[37].
- To ensure the rapid transition of primarily medical associations, hospitals, and health centers to 100% renewable energy, all medical authorities recognize the harm fossil fuels cause to public health, especially air pollution.
- Ensuring worker retraining and re-employment in the expanding renewable energy sector.
- Ensuring that trade unions and youth organizations working on this issue employ the transition to renewable energy for all, including workers in the fossil fuel sector.

4. CONCLUSIONS

The world is at a turning point due to the effects of climate change. The energy issue has become a problem with the increasing population, energy demand, and energy use. Contrary to the environmental pollution and negativities caused by fossil production, the advantages of renewable production necessitate the world's transition to 100% renewable energy. Renewable energy sources, including solar, wind, hydroelectricity, are at the heart of the transition to a less carbon and more sustainable energy system. The sun is only one of the renewable energy sources that can provide much more energy than the whole world can use in a year. Besides, it is an obvious fact that the more investments are made in renewable energy sources, the cheaper the electricity production will be. There is still a long way to go, both locally and globally, to reach a world powered by 100% renewable energy.

In the world, significant progress has been made in the transition to 100% renewable energy. Since 2007, the share of fossil production in electrical energy production globally has decreased from 79% to 68%. The share of renewable generation

also increased from 21% to 32%. It has been observed that the world has shown an increase of 6% for the concept of transition to 100% renewable energy in electrical energy production and can switch to 100% renewable energy at a rate of 26%. However, it is possible to increase this share, because the potential of renewable energy sources in different locations is very high. Depending on this potential, it is possible to meet the energy demand of countries with renewable generation. Regionally, Scotland aims to produce all its electrical energy from renewable energy sources by 2020. Albania, Norway, and Costa Rica are among the countries that have transitioned to 100% renewable energy. In the light of all this information, it is possible to say that the share of renewable generation in the world has increased, and the transition to 100% renewable energy has accelerated.

To accelerate this transition and live in a cleaner world, it is necessary to take many steps at the global/local level. First of all, a transition should be made from the grassroots to the national/global level. The transition to 100% renewable energy should be achieved step by step, first in the neighborhood and the city, then in the country, and finally in the world. For this, local governments have a great responsibility. Reducing fossil fuel projects and fossil fuel budget, the transition of all government institutions, primarily local government institutions, to 100% renewable energy, supporting the transition to 100% renewable energy economy are important steps that can be taken. The local government authorities' targeting of transition to 100% renewable energy while creating energy-related policies will also positively affect the applicability. Increasing the awareness and practice of energy control in society and supporting renewable energy in transportation, heating, and electricity production will be important steps in this regard.

The transition to 100% renewable energy will save energy and create the opportunity for clean energy production and create a healthier, more accessible, and sustainable energy system.

REFERENCES

[1] Farfan, J., Fasihi, M., and Breyer, C. (2019). Trends in the global cement industry and opportunities for long-term sustainable CCU potential for Power-to-X. *Journal of Cleaner Production*, 217, 821-835. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.226

[2] Yuan, B., Kongstein, O. E., and Haarberg, G. M. (2009). Electrowinning of Iron in Aqueous Alkaline Solution Using a Rotating Cathode. *Journal of the Electrochemical Society*, 156(2), D64. DOI: https://doi.org/10.1149/1.3039998.

[3] Kermeli, K., ter Weer, P.-H., Crijns-Graus, W., and Worrell, E. (2015). Energy efficiency improvement and GHG abatement in the global production of primary aluminium. *Energy Efficiency*, 8(4), 629-666. DOI: 10.1007/s12053-014-9301-7

[4] Suhr, M., Klein, G., Kourti, I., Gonzalo, M.R., Santonja, G.G., Roudier, S., and Sancho, L.D., (2015). Best available techniques (BAT) reference document for the production of pulp, paper and board. *Eur. Comm*, *906*. DOI: https://doi.org/10.2791/370629

[5] Kangas, P., Onarheim, K., Hankalin, V., and Santos, S. (2016). Carbon capture from integrated pulp and board mill. In *19th Conf Process Integr Model Optim Energy Savings Emiss Reduct*, Prague, Czech Republic

[6] Caldera, U., and Breyer, C. (2020). Strengthening the global water supply through a decarbonised global desalination sector and improved irrigation systems. *Energy*, 200, 117507. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117507

[7] Bogdanov, D., and Breyer, C. (2016). North-East Asian Super Grid for 100% renewable energy supply: Optimal mix of energy technologies for electricity, gas and heat supply options. *Energy Conversion and Management*, 112, 176-190. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.019

[8] Stackhouse, P. and Whitlock, C. (2009). Surface Meteorology and Solar Energy (SSE) Release 6.0 Methodology. National Aeronautic and Space Administration (NASA). Langley, VA, USA

[9] Norouzi, N., & Fani, M. (2022). Post-Covid-19 Energy Transition Strategies: Even Reaching 100% Renewable in Ecuador by 2055 is not Enough to Face Climate Change Issue. Iranian (Iranica) Journal of Energy & Environment, 13(1), 1-9. DOI:10.5829/ijee.2022.13.01.01

[10] Stetter, D. (2012). Enhancement of the REMix energy system model: global renewable energy potentials, optimized power plant siting and scenario validation, University of Stuttgart, PhD thesis

[11] Afanasyeva, S., Bogdanov, D., and Breyer, C. (2018). Relevance of PV with single-axis tracking for energy scenarios. *Solar Energy*, 173, 173-191. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.07.029

[12] Verzano K. (2009). Climate Change Impacts on Flood Related Hydrological Processes: Further Development and Application of a Global Scale Hydrological Model. University of Kassel

[13] Thrän, D., Buchhorn, M., Bunzel, K., Seyfert, U., Zeller, V., Müller, K., Matzdorf, B., Gaasch, N., Klöckner, K., Möller, I. and Starick, A. (2010). Globale und regionale Verteilung von Biomassepotenzialen Status-quo und Möglichkeiten der Präzisierung.

[14] Eisentraut, A. and Brown, A. (2013). Technology roadmap: bioenergy for heat and power. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 24(1). DOI: 10.1108/meq.2013.08324aaa.005

[15] IPCC. (2011). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation — IPCC. Geneva: https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/ (accessed on August 24, 2020).

[16] Aghahosseini, A., Bogdanov, D., and Breyer, C. (2017). A Techno-Economic Study of an Entirely Renewable Energy-Based Power Supply for North America for 2030 Conditions. *Energies*, 10(8), 1171.

[17] Norouzi, N., de Rubens, G. Z., Choupanpiesheh, S., & Enevoldsen, P. (2020). When pandemics impact economies and climate change: exploring the impacts of COVID-19 on oil and electricity demand in China. Energy Research & Social Science, 68, 101654. https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101654

[18] Aghahosseini, A. and Breyer, C. (2018). Assessment of geological resource potential for compressed air energy storage in global electricity supply. *Energy Conversion and Management*, 169, 161-173. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.058

[19] World Steel Association. (2008). Steel and Energy Fact Sheet. Brussels: ttp://www.steelforpackaging.org/uploads/ModuleXtender/Themesslides/10/Fact_sheet_ Energy.pdf (accessed on August 24, 2020)

[20] Fasihi, M., Bogdanov, D., and Breyer, C. (2016). Techno-Economic Assessment of Power-to-Liquids (PtL) Fuels Production and Global Trading Based on Hybrid PV-Wind Power Plants. *Energy Procedia*, 99, 243-268. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.115

[21] Fasihi, M., Weiss, R., Savolainen, J., and Breyer, C. (2021). Global potential of green ammonia based on hybrid PV-wind power plants. *Applied Energy*, 294, 116170. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116170

[22] Fasihi, M., Breyer, C. (2017). Synthetic Methanol and Dimethyl Ether Production based on Hybrid PV-Wind Power Plants. *11th Int. Renew. Energy Storage Conf. (IRES 2017)*, Düsseldorf, March 14-16, 2017

[23] European Aluminium Association. Life Cycle Inventory data for aluminium production and transformation processes in Europe. Brussels: 2013. https:// european-aluminium.eu/media/1329/environmental-profile-report-for-the-european-aluminium-industry.pdf (accessed on August 24, 2020)

[24] [EC] - European Commission. Greenmelt - Laymans report. Duffel: 2000. https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/files/laymanReport/LIFE96_ ENV_B_000477_LAYMAN.pdf (accessed on August 24, 2020)

[25] Australian Government Department of Industry Innovation and Science, Resources and Energy Quarterly - March 2018. Canberra: 2018. https://publications.industry.gov.au/publications/resourcesandenergyquarterlymarch2018/index.html (accessed on August 24, 2020)

[26] World Aluminium — Mass Flow Statistics n.d. http://www.world-aluminium.org/statistics/massflow/ (accessed on August 24, 2020)

[27] Kuparinen, K., Vakkilainen, E., and Tynjälä, T. (2019). Biomass-based carbon capture and utilization in kraft pulpmills. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24(7), 1213-1230. DOI: 10.1007/s11027-018-9833-9

[28] Caldera, U., Bogdanov, D., Afanasyeva, S., and Breyer, C. (2018). Role of Seawater Desalination in the Management of an Integrated Water and 100% Renewable Energy Based Power Sector in Saudi Arabia. *Water*, 10(1), 3. DOI: https://doi.org/10.3390/w10010003

[29] Caldera, U., and Breyer, C. (2018). The role that battery and water storage play in Saudi Arabia's transition to an integrated 100% renewable energy power system. *Journal of Energy Storage*, 17, 299-310. DOI: https://doi.org/10.1016/j.est.2018.03.009

[30] Norouzi, N., & Kalantari, G. (2020). The sun food-water-energy nexus governance model a case study for Iran. Water-Energy Nexus, 3, 72-80. https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.05.005.

[31] Praliyev, N., Zhunis, K., Kalel, Y., Dikhanbayeva, D., and Rojas-Solórzano, L. (2020). Impact of One- and Two-axis Solar Tracking on Techno-Economic Viability of On-Grid PV Systems: Case of Burnoye-1, Kazakhstan. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, *29*, 79–90. https://doi.org/10.5278/ijsepm.3665.

[32] Brown, T., Schlachtberger, D., Kies, A., Schramm, S., and Greiner, M. (2018). Synergies of sector coupling and transmission reinforcement in a cost-optimised, highly renewable European energy system. *Energy*, 160, 720-739. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.222

[33] Norouzi, N. (2021). 4E analysis of a fuel cell and gas turbine hybrid energy system. Biointerface Res. Appl. Chem., 11, 7568-7579.

[34] Mathiesen, B. V., Lund, H., Connolly, D., Wenzel, H., Østergaard, P. A., Möller, B., Nielsen, S., Ridjan, I., Karnøe, P., Sperling, K., and Hvelplund, F. K. (2015). Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions. *Applied Energy*, 145, 139-154. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.075

[35] Gils, H. C., Simon, S., and Soria, R. (2017). 100% Renewable Energy Supply for Brazil—The Role of Sector Coupling and Regional Development. *Energies,* 10(11), 1859. https://doi. org/10.3390/en10111859

[36] Taljegard, M., Walter, V., Göransson, L., Odenberger, M., and Johnsson, F. (2019). Impact of electric vehicles on the cost-competitiveness of generation and storage technologies in the electricity system. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124087. DOI: 10.1088/1748-9326/ab5e6b

[37] Breyer, C., Fasihi, M., Bajamundi, C., and Creutzig, F. (2019). Direct Air Capture of CO2: A Key Technology for Ambitious Climate Change Mitigation. *Joule*, 3(9), 2053-2057. DOI: https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.08.010

Article copyright: © 2021 Nima Norouzi, Maryam Fani. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits unrestricted use and distribution provided the original author and source are credited.



PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

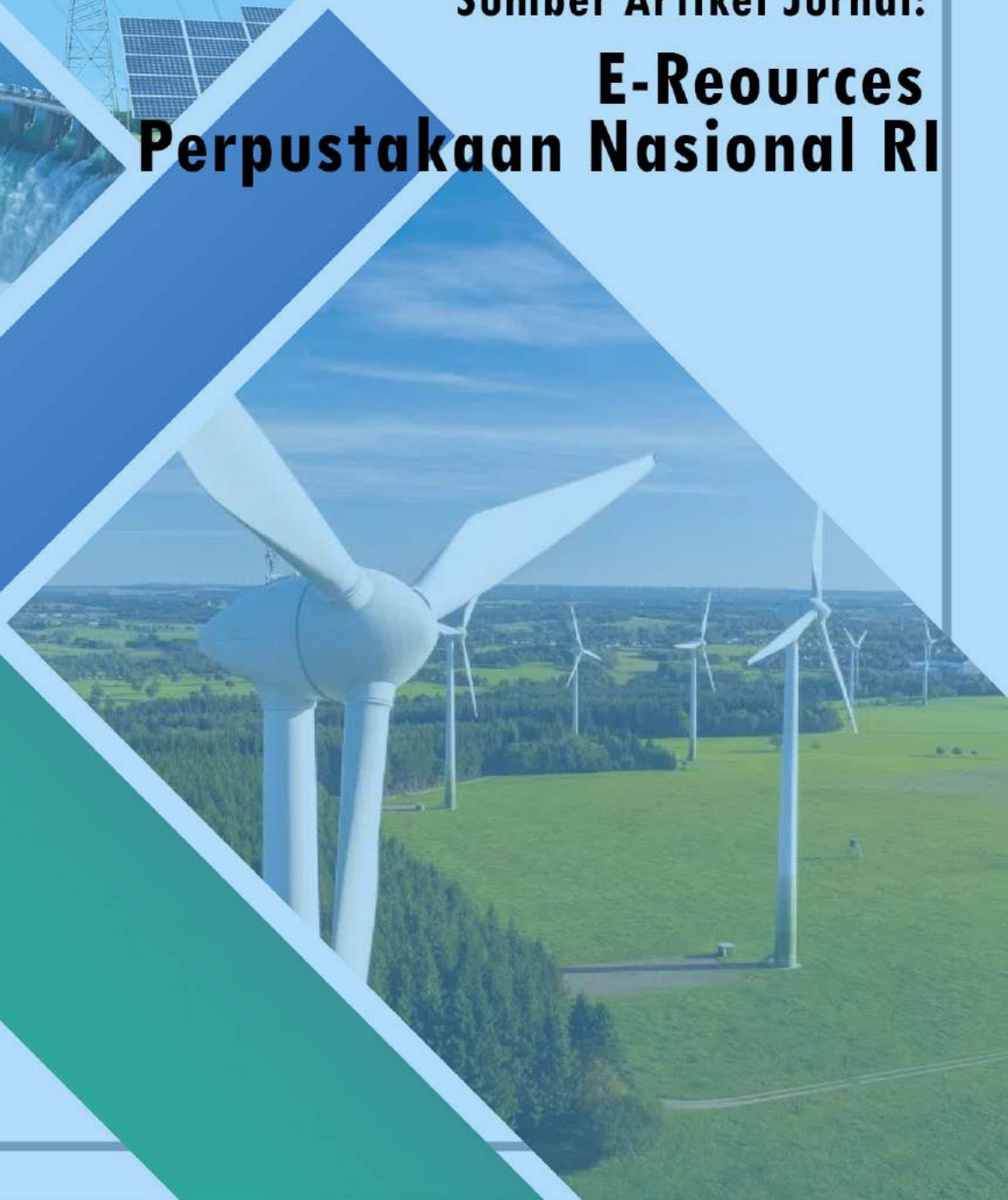
PAKET INFORMASI TERSELEKSI

ENERGI TERBARUKAN

Sumber Artikel Jurnal:

E-Reources Perpustakaan Nasional RI





A multi-integrated renewable energy system in a commercial building in Beijing: lessons learnt from an operating analysis

Yibo Chen[1], Jiufa Chen[1*], Umberto Berardi[2] and Baojiang Xu[1]

[1]Faculty of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China;
[2]DAU, Applied Physics Section, Politecnico di Bari, Bari 71025, Italy

Abstract

In this case study, calculations and analyses were performed mainly for a solar-ground source heat pump system using a newly built office–factory building. Calculations for the collector panels, the water heater system and the saving for natural lighting system were also performed. Results have shown that the energy consumption in ground source system is 34.1% more efficient than that of air source system in normal days in winter. The required data for the calculations were measured using calorimeters and electricity meters which form part of the building automation system (BAS). The BAS works through a direct digital control system. On the basis of the observation and research on the actual operation, suggestions related to the design, operation and inspection are given.

Keywords: renewable energy; building energy saving; heat pump; low carbon building

*Corresponding author:
chen.jiufa@126.com

Received 1 December 2011; revised 15 January 2012; accepted 2 February 2012

1 INTRODUCTION

Climate change has raised concerns over the rapidly growing environmental pollution and depletion of natural resources. In this scenario, international programs and policies indicate the construction sector as one of the most promising sectors for a sustainable development [1]. Laws and regulations worldwide are asking the construction sector to build sustainable buildings, such as green buildings. The number of sustainable buildings is now increasing worldwide and assessment of their sustainability is becoming a common practice [2].

The increased attention towards buildings is due to their energy consumptions and green house gas (GHG) emissions, which, in developed countries, account for 30 and 40% of the total consumption, respectively [1, 3]. In China, the energy consumption by buildings accounts for about 28% of the national energy consumption. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the construction sector has higher energy and pollution reduction potentials than any other sectors. Figure 1 shows the historical trend and the forecasting of CO_2 emissions, including through the use of electricity [1]. The figure also shows how critical is the situation, especially given the huge increase in the requirement of energy as well as GHG emissions in East Asia and South Asia. The IPCC stated that, in countries that are not members of the Organization for Economic Cooperation and Development and in transition economies, buildings' potential CO_2 saving could be 3 and 1 $GtCO_2$-eq/year by 2030, respectively, with a total possible reduction of 6 $GtCO_2$-eq/year worldwide [1]. Given this context of analysis, the article explores the measures of energy saving through the integration of renewable energy systems in a commercial building in China.

In China, the prominent sources of energy consumption are air-conditioning systems [3]. The power consumption in summer is high due to the use of air-conditioning systems, and recently it has increased more and more. In fact, in summer, the air-conditioning load accounts for >50% of the entire peak load, as air-conditioning systems are often required for cooling in the hotter parts of the country and for heating in the cooler areas [4]. Figure 2 shows the percentages of energy consumption of commercial buildings in the USA and China. The figure also shows that the energy consumption for space heating and cooling accounts for 22 and 59% of the total energy consumption in the USA and China, respectively. The percentage of energy consumption for lighting purposes is comparable between the two countries. Finally, it is important to consider the energy requirement for several 'other uses', including for all appliances, which contribute to the US energy demand, will probably increase in the following years in China also, making the consumption more critical in the country.

Owing to the pressure of international agreements, the energy production from renewable sources by buildings is

International Journal of Low-Carbon Technologies 2012, 7, 192–198
© The Author 2012. Published by Oxford University Press. All rights reserved. For Permissions, please email: journals.permissions@oup.com
doi:10.1093/ijlct/cts020 Advance Access Publication 19 March 2012

increasing worldwide. It has reached >45% in Sweden and 65% in Norway [5]. On the contrary, this value is <10% in China. However, the energy production in China is rapidly increasing, and the country's electricity generation from renewable sources is increased from 397.331 billion kWh in 2005 to 576.883 billion kWh in 2009 [6]. Finally, the installation of renewable energy sources in buildings in general, and in China in particular, has become an urgent measure to increase the renewable energy production and to create a diffused energy production system. In this paper, the integration of various renewable energy sources is considered [7].

2 A MULTI-INTEGRATED RENEWABLE ENERGY SYSTEM

A newly built factory–office building was considered for the case study to look at its integrated renewable energy system. Many reasons justify the focus on office buildings, as their demand and consumptions of energy are high. A recent research [8] has investigated strategies to reduce energy requirement through internal loads in office buildings. Moreover, automation systems are more and more considered to adjust the energy requirement of buildings with the real occupancies [9].

The building selected is a combined factory–office building located in Beijing. It has five floors: three lower floors are dedicated to workshops, depots and mess hall, whereas the two upper floors are working and public areas. The total area of the building amounts to ~25 500 m^2.

The building has both solar and geothermal energy systems: the solar-ground source heat pump system, the solar hot water system and the natural lighting system.

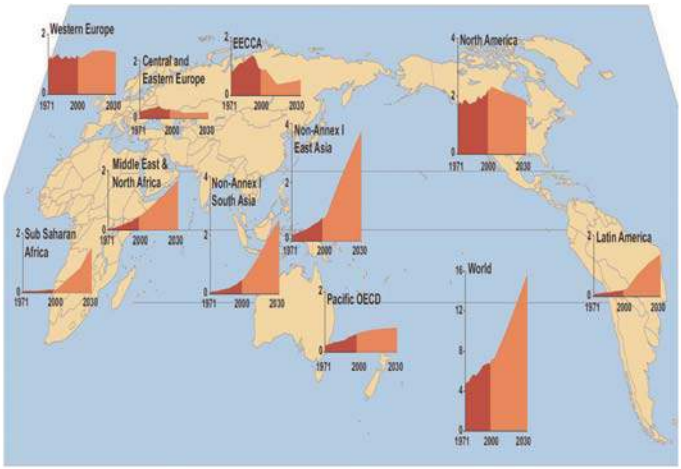


Figure 1. *Real data and forecasting of CO_2 emissions through the use of electricity up to 2030 [1].*

2.1 The solar-ground source heat pump system

Ground heat pumps have received a considerable attention in recent years as shown by numerous publications [10–12]. In particular, this article considers a solar-ground source heat pump system which integrates solar and ground heat energy exchanges to meet the energy needs of the building both for cooling and heating [13].

The system comprises 220 high-density polyethylene pipes of 8000 m^2 length at the depth of 80 m underground, and these pipes are joined by 65.54 m^2 solar collector panels. Figure 3 shows the facade with the panels. The heat collected by the solar panels is stored in collector tanks whose capacity is 6 tons. The pump engine room is equipped with two ground-source heat pumps, two circulating pumps (one operation, the other standby) and four ground-coupling circulating pumps.

In Summer, the inlet and outlet water temperatures of the pump units are 15 and 30°C, whereas the temperatures of the supplying cold water are between 7 and 12°C. In Winter, the inlet and outlet temperatures are 15 and 6°C, whereas the supplying hot water temperatures are 40 and 45°C.

The collector tank and the pump units are connected in series, and different functions are controlled by adjusting proportional valves (Figure 4). In a sunny winter day, proportional valves open, and let air-conditioning circulating backwater first go through the collector tank to exchange heat and, then exchange heat with the hotter water of the pump units. In the case of lack of sun light, and when it operates in summer

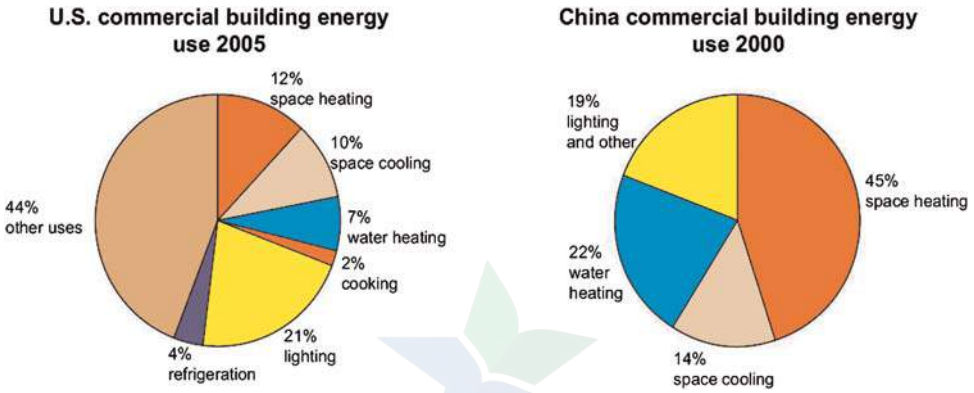


Figure 2. *Sources of energy consumptions for commercial buildings in the USA and China [1].*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Figure 3. *A photo of building facade with solar collector panel installation.*

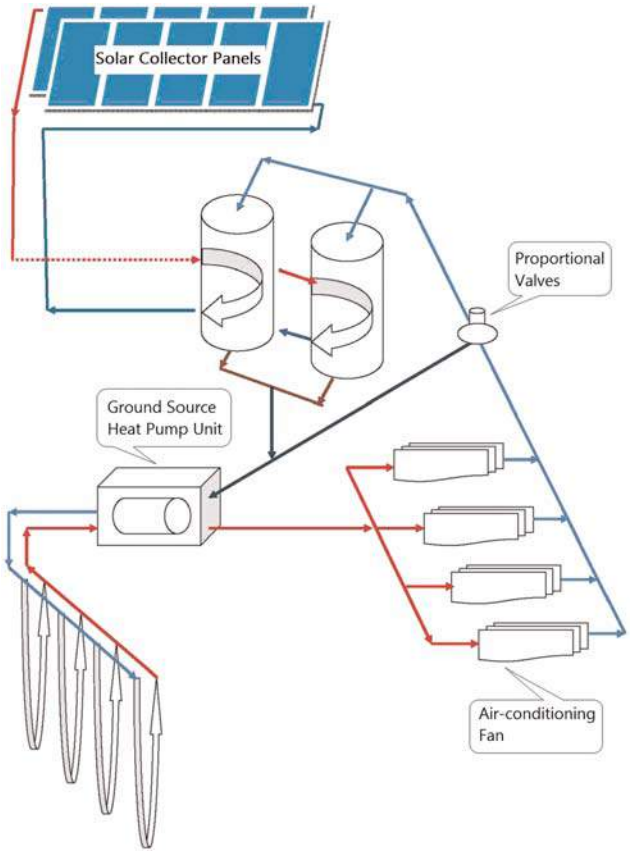


Figure 4. *Diagram of the solar-ground source heat pump system.*



Figure 5. *Natural lighting system with solar collector and PV panels.*

conditions, proportional valves close, and let air-conditioning circulating backwater first directly to exchange heat with the water of the pump units.

2.2 The solar hot water system

The solar hot water system is a semi-centralized system which adopts concentrated collecting heat, household heat storage and auxiliary heating. The system includes three parts.

- The mess hall system: it comprises 24-m^2 solar collector panels on the facade. These panels supply heat to two tanks, each of which has a capacity of 450 l.
- The east system: it comprises 57.6-m^2 solar collector panels distributed in two rows over the roof. These panels supply heat to three tanks, two with a capacity of 340 l located on fifth and fourth floors and one with a capacity of 270 l situated on the third floor. After auxiliary heating by electricity power in the water heater, the boiling drink water is supplied to satisfy the needs in the public offices. The heated water is also supplied for heating of temperature aging workshop on the third floor.
- The west system: it comprises 28.8-m^2 solar collector panel distributed in one row over the roof. This panel supplies heat to two water tanks, with a capacity of 450 l. Water in the tanks is supplied for washing hand purposes in the public toilets.

2.3 The natural lighting system

The natural lighting system is constituted by an integrated system composed of solar collector panels, solar photovoltaic (PV) panels and glass curtain walls. All four rows shown in Figure 5 comprise the integrated system installed with the same inclination angle.

This configuration integrates the solar energy systems in the building envelope and allows three different functions:

- Three rows of solar collector panels preheat water for workers. These rows are divided into two solar hot water systems unequally: one system is connected with 57.6 m^2 collector panels and the other with 28.8 m^2 panels.
- The PV panels provide power for office lighting and supply energy to the billboard lighting outside the building.
- The curtain walls contribute to light the fifth floor and allow for saving a considerable amount of energy otherwise necessary for lighting.

3 ENERGY-SAVING RESULTS FOR THE MULTI-INTEGRATED SYSTEM

The integration of renewable energy in this building is obtained by three systems, i.e. solar-ground source energy system, solar

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from http://academic.oup.com/ijlct/article/7/3/192/759000 by guest on 24 March 2023

hot water system and the natural lighting system. The required data for the calculation are taken from calorimeters and electricity meters. These are controlled through the building automation system (BAS) of the building which works with a direct digital control (DDC) system. This section considers mainly on the energy-saving effects resulting from solar and ground energies.

3.1 Energy-saving effect of solar-ground source heat pump system

This section analyses the energy-saving effects related to the integration of solar energy and ground heat energy. The heat pump system power load and the evaluation of system's coefficient of performance (COP) are shown in Table 1.

As shown in Table 1, the heat pump itself has a COP of 4.6. When taking the power loads of the ground circulation pump and the heating water supply pump into consideration, the overall COP reduced to 3.6. In this paper, the operational effect was analyzed by comparing the ground source with a traditional air-source pump system in the same operating conditions in heating. This comparison methodology has already been adopted in literature [14].

Obviously, the operating parameters of the heat pump change along with the external environmental temperatures. Table 2 shows the relationships between some operating parameters and the environmental temperature [15].

Two periods were selected to analyze the system performance, a 'working period' from 19 to 31 January 2011, and the 'Spring Festival holiday period' from 31 January to 12 February 2011. Heat supply data for those two periods are reported in Table 3. The data under the category of 'Heat supply' were the actual heat supply value for the whole heating season (120 days in Beijing). This was estimated along with the 108-day working period and the 12-day off period, referenced to the specific working day load and off day load shown by the data obtained from the BAS.

Table 1. *Heat pump system power load [kW] and the evaluation of the overall system COP*

Model	Heat pump unit		Water pumps		Overall COP
	Qload	COP	Ground	Supply	
PSRHH1501	637.6	4.6	20	20	3.6

Table 2. *Relationships between operating parameters and environmental temperatures*

Selected season	Relationship of cooling/heating power and environmental temperature	Relationship of power consumption and environmental temperature
Summer	$W = -0.76 \times t + 88$ (kW)	$N = 0.21 \times t + 13.15$ (kW)
Winter	$W = 2.15 \times t + 52.2$ (kW)	$N = 0.25 \times t + 17.28$ (kW)

Figure 6 shows the temperature obtained from the data acquisition system in the period from 08:19 of 25 January 2011 to 07:19 of 26 January 2011.

A comparison has been made on the heating performance between a ground-source and an air-source heat pump. According to the Chinese National Standard [15] and environmental conditions of Beijing, the average COP of the screw-type air-source heat pump units in winter equals to 2.64. The average heating capacity in normal working period in the heating season was 414.6 kW (Table 3; 59 703 kW/(12 × 12) = 414.16 kW, the first '12' stands for the length of selected normal working days and the second '12' represents the 12 h' operating time per day). Based on this, we then compare normal heating days in general (Table 4). Despite the different COPs, the air-source unit also needs extra power to defrost, which account for ~10.2% of the total energy consumption [12]. Combining those two aspects, the actual power input needed in the air-source system equals to 174.89 kW. Compared with the 115.17 kW of the ground-source system,

Table 3. *Energy consumption of heating in working and festival periods*

Period	Working period	Festival period
Energy reading at the beginning (kWh)	231 327.0	291 030.0
Energy reading at the end (kWh)	291 030.0	308 474.0
Energy consumption in the period (kWh)	59 703	17 444
Heating area (m^2)	12 581.5	
Heat supply (kWh/m^2)	44.1	
Heat corresponding to coal (kg/m^2)	14.7	

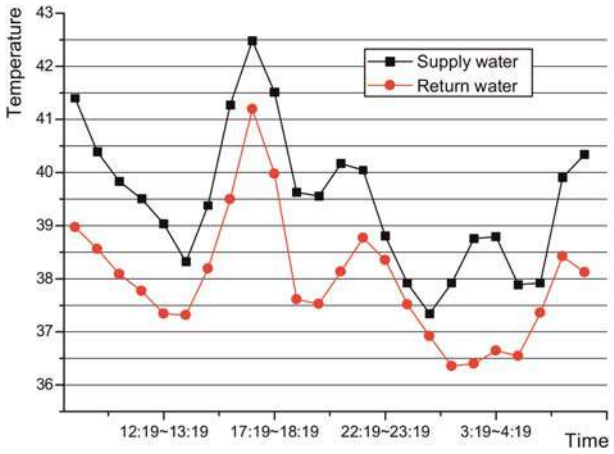


Figure 6. *Supplied and returned water temperature recorded in a 24 h operation.*

Table 4. *Power consumption comparison between the ground-source heat pump and the air-source heat pump*

Type of heat pump	Heating capacity (kW)	COP	Power input (kW)
Ground source	414.6	3.6	115.17
Air source	414.6	2.64	157.05

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

the ground-source heat pump is ~34.1% more efficient than the air-source heat pump in heating operation in a normal working period. Moreover, the integration of solar and ground sources in this building provides a stable operating performance in comparison to a normal ground-source heat pump system.

3.2 Energy-saving effect of solar collector panels

The measured data through the solar calorimeters are used to analyze the energy-saving effects of solar collector panels. The exact calculation is shown in Table 5 for the period from 19 January to 12 February 2011. In this table, the daily CO_2 emission reduction is calculated by assuming the efficiency of power-to-heat as 90%.

3.3 Energy-saving effect of solar hot water system

This analysis primarily focuses on hot water needed for drinking. There are ~400 people working in this building, so considering a request of 2 l for each person to drink everyday, the total hot water needed is ~800 l every day. Considering the average water temperature heated by collectors to be 50°C, and average underground water temperature to be 15°C in Beijing, the solar hot water system can save up to 41%. It is assumed by comparing the energy consumed from 100 to 50°C and from 100 to 15°C, because in traditional non-low-carbon offices, this energy may totally come from electrical energy.

Table 6 shows the actual electricity consumed by water heater systems from 1 July to 12 July. It is shown that the average electricity consumed for auxiliary heating is 11.07 kWh, so the electrical energy saved is ~7.7 kWh each day (41% saving), which equals to 3.8-kg CO_2 emission reduction every day.

Table 5. *Calculation of energy-saving effect of solar collector panels*

Items	Acquired heat energy (kWh)	Daily acquired heat energy (kWh/day)	Daily CO_2 emission reduction (kg/day)
Solar panels for the mess hall	497	20.70	18.80
Solar panels for the system of west	677	28.20	25.61
Solar panels for the system of east	1000	41.67	38.00
Solar panels for the heat pump system	1573	65.54	59.77
Total effect for all the solar panels	3747	156.11	142.37

Table 6. *Actual electricity used in the water heater systems*

Floor	Meter reading at the beginning (kWh)	Meter reading at the end (kWh)	Total electric power (kWh)
Fourth	1813.55	1883.28	69.73
Fifth	4367.37	4563.32	195.95

4 ADVICE FOR INTEGRATED SYSTEMS

On the basis of the analysis of the three portions of the multi-integrated renewable energy system, some advice is reported below to help the processes of design, operation and inspection of such systems in other buildings.

4.1 Advice on design

Regarding the system described in this paper, design advice regards the following aspects:

- In the solar-ground source heat pump system, use high-efficiency solar panels and the size of the circulating pump should be properly chosen to avoid additional energy consumption. For example, during the test run, it can be detected that the temperature of the inlet water in the panels is ~45°C, which increases the difference between the inlet water and the ambient environment, thus lower the collecting efficiency. This results from the unmatch between the area of collector panels and the usage of heated water. After reforming the water to a new system in the mess hall, the situation is improved and the panels are used more properly.
- The solar and ground sources can be connected in series with water first going through the collector tank (connection with the heat pump on the condenser side) or going through the underground pipes (connection with the heat pump on the evaporator side), or can be connected in parallel. Figure 7 shows the last two configurations. Obviously, the performance of each system changes along with the temperature of inlet water. The connection in parallel is

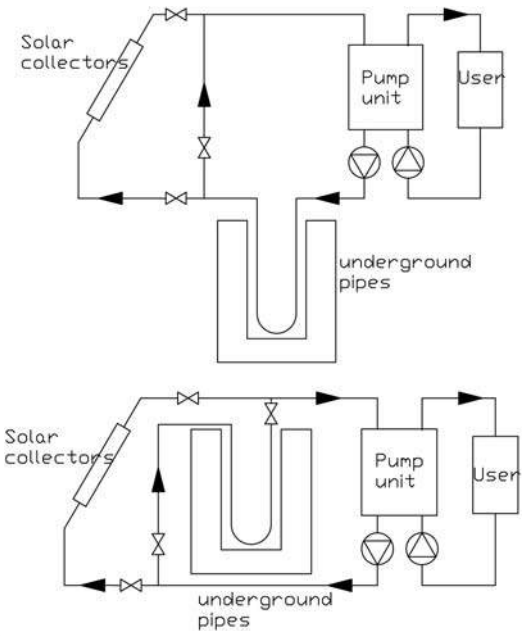


Figure 7. *The solar and ground heat source connected in series with connection on the evaporator side of the heat pump (above) and connected in parallel (below).*

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

generally more complex from a constructive point of view, but it guarantees the highest COP of the heat pump as the temperature difference with the external environmental temperature is the lowest.

- The natural lighting system regards the choices of the glass-roof, as this can provoke an unwanted increase in the indoor temperature. Windows and glass curtain wall should be installed with an appropriate angle. Moreover, a limited heating accumulation in the circulating water is suggested. For instance, in this system, the running circulating water inside the panels on the natural lighting roof and the angled installation can keep the top of roof a modest temperature in hot summer days, and reduce the greenhouse effect slightly.

4.2 Advice on operation and inspection

A multi-integrated renewable energy system needs a careful and complete inspection before normal working period, in order to test and control every district of the system properly. Regarding the solar-ground source heat pump system, there are four main parts of inspection: the power input and heating/cooling supply system, the ground temperature field in the ground heat exchanger installed area, the heat pump system and the solar units [16, 17]. Coherently with this,

- To achieve a sustainable energy saving operation, it is required to keep the ground heat flow balanced and to monitor the heat pump operating conditions closely. An unbalance of soil temperature can generate heat accumulation or cold accumulation. For example, for a cooling system, heat accumulation on the soil gives a COP drop of 2.5% every °C of accumulation. In Eastern China area, there is an unbalanced exchange with a 2 °C rise of the temperature over one year period. Reversely, a cold accumulation of 4°C has been registered in Germany with a drop of COP of 4.1% every °C. Moreover, in the case of large systems of ground-source heat pipes, care must be taken regarding the formation of heat barrier, with peripheral pipes which influences interior ones.
- During the inspection of automatic or manual-controlled function of the heat pump system, the basis of change function should be selected and well defined as needed. It means applying influent factor of outside environment weather. In this control system, it detects the temperature and contents of CO_2 in lawn of square in front of this building. These are essential in the defined parameters of DDC inside.

5 CONCLUSIONS

The necessity to integrate several renewable energy sources in buildings has been the starting point of this paper. In fact, international statistics and agreements show the necessity to increase the diffusion of sustainable technologies and buildings, especially in transition economies. A newly built office building was used for this case study, which helps discussing the status of renewable energy systems in China, focusing in particular on the integration of solar and geothermal energy systems.

After analysis of energy-saving effects of the solar-ground source heat pump system and the comparison with an equivalent air-source heat pump system, the paper has considered the collector panels, the water heater system and the natural lighting system. Results have shown that the energy consumption in the ground-source system is 34.1% more efficient than that of the air-source system in a normal working system in Winter, 174.89 kW of the air-source system compared with 115.17 kW of the ground-source system. The saving is given by the different COPs and extra energy consumption for defrosting in an air-source system. Moreover, the solar collector panels in the system are estimated to contribute 156.11 kWh per day saving for heating in the workshop and for cleaning in the mess hall, and it equals 142.37 kg reduction of CO_2 emission per day. The solar hot water system contributes a 47% power saving in supplying drinking water. In conjunction with a detailed observation and research into their actual operation, the paper has given some advice for the process of design, operation and inspection. The hope is that the analysis of the real integrated system in this office building could be useful for the development and integration of renewable energy systems in other low-carbon buildings in China.

REFERENCES

[1] Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC). Summary for policymakers, climate change. *IPCC WG1 Fourth Assessment Report*. Cambridge University Press, 2007.

[2] Berardi U. Sustainability assessment in the construction sector: rating systems and rated buildings. *Sustainable Dev* 2012. DOI: 10.1002/sd.532.

[3] IEA. *Key World Energy Statistics*. International Energy Agency, 2010.

[4] *Technology and Application of Energy Saving in Building*. Chemical Industry Press, 2007 (7).

[5] EUROSTAT. European Commission, 2010. http://epp.eurostat.ec.europa.eu.

[6] EIA. U.S. Energy Independent Administration. *International Statistics – Renewables – Electricy Generation*, 2010. http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/.

[7] Eleventh five-year energy plan of Beijing Development and Reform Commission, 21st May 2007, http://www.bjpc.gov.cn/.

[8] Jenkins DP. The importance of office internal heat gains in reducing cooling loads in a changing climate. *Int J Low Carbon Technol* 2009;**4**:134–40.

[9] Kawamoto K, Shimoda Y, Mizuno M. Energy saving potential of office equipment power management. *Energy Build* 2004;**36**:915–23.

[10] Trillat-Berdal V, Souyri B, Fraisse G. Experimental study of a ground-coupled heat pump combined with thermal solar collectors. *Energy Build* 2006;**38**:1477–84.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from http://ijlct.oxfordjournals.org/ by guest on 24 March 2020

[11] Sanner B, Karytsas C, Mendrinos D, *et al*. Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe. *Geothermics* 2003;**32**:579–88.

[12] Chen J, Qiao W, Xue Q, *et al*. Research on ground-coupled heat exchangers. *Int J Low Carbon Technol* 2010;**5**:35–41.

[13] Michopoulos A, Bozis D. Three-years operation experience of a ground source heat pump system in northern Greece. *Energy Build* 2007;**39**:328–34.

[14] Romero G, Urchueguia JF. Comparative study between a geothermal heat pump system and an air-to-water heat pump system for heating and cooling in typical conditions of the European Mediterranean coast. In *Proceedings of World Geothermal Congress*, 24–29 April 2005.

[15] GB/T 18430.1. Water chilling (heat pump) packages using the vapor compression cycle—Water chilling (heat pump) packages for industrial & commercial and similar application[S]. 2001 http://www.cn-standard.net/.

[16] Zhang X, Liu Z. The performance testing of the ground-source heat pump in heating of the office building. *Refrig Air Conditioning Electr Power Mach* 2007;**28**:30–33.

[17] Wang C. Analyse and solution of the ground source heat pump technology in Zhengzhou. *Build Energ Effic* 2009;**12**:39–41.

Downloaded from http://academic.oup.com/ijlct/article/7/3/192/759000 by guest on 21 March 2023

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sustainability

MDPI

Review

A Review on Green Cooling: Exploring the Benefits of Sustainable Energy-Powered District Cooling with Thermal Energy Storage

Ahmed Al-Nini [1,*], Hamdan Haji Ya [2,*], Najib Al-Mahbashi [1] and Hilmi Hussin [2]

[1] Civil and Environmental Engineering Department, Universiti Teknologi PETRONAS, Seri Iskandar 32610, Perak, Malaysia
[2] Mechanical Engineering Department, Universiti Teknologi PETRONAS, Seri Iskandar 32610, Perak, Malaysia
* Correspondence: eng.ahmedalnini@gmail.com (A.A.-N.); hamdan.ya@utp.edu.my (H.H.Y.)

Abstract: This paper examines the economic and environmental impacts of district cooling systems (DCS) that are integrated with renewable energy sources and thermal energy storage (TES). Typically, a DCS offers a highly efficient and environmentally friendly alternative to traditional air conditioning systems, providing cool air to buildings and communities through a centralized system that uses chilled water. However, the integration of renewable energy and thermal energy storage into these systems can further increase their sustainability and efficiency, reducing their dependence on fossil fuels and improving their ability to handle fluctuations in demand. The goal of this paper is to provide a comprehensive review of the current state of the art of renewable energy-driven DCS with TES integrated and to highlight the benefits and challenges associated with these systems. Finally, the findings of this paper offer valuable insights into the potential for renewable energy-powered district cooling systems to contribute to a more sustainable and efficient built environment.

Keywords: refrigeration; sustainability; cost-effective; vapor compressor cooling

check for updates

Citation: Al-Nini, A.; Ya, H.H.; Al-Mahbashi, N.; Hussin, H. A Review on Green Cooling: Exploring the Benefits of Sustainable Energy-Powered District Cooling with Thermal Energy Storage. *Sustainability* **2023**, *15*, 5433. https://doi.org/10.3390/su15065433

Academic Editor: Kian Jon Chua

Received: 28 December 2022
Revised: 10 February 2023
Accepted: 24 February 2023
Published: 20 March 2023

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Energy and the environment are considered two concurrent emerging global challenges today. This has led to increasing global commitment at all levels considering global warming and climate change, which is resulting in an irreversible impact across the globe. The environment is threatened by the influx of greenhouse gases (GHG), particularly CO_2-heightened radiation and heat sourced from fossil fuel combustion. Studies have shown that CO_2 is the major contributor to GHG emanating from rising heat waves and long-wave infrared radiation from the earth's surface [1,2]. The quest for better economic advantage and environmentally friendly cooling systems ignited the interest in exploring less energy consuming and high-performing district cooling systems (DCS) [3]. It has been established that approximately 17% of the total electricity generated is consumed by refrigeration applications and this inevitably led approximately 8% of total greenhouse gas (GHG) emissions to the environment. DCS technology has a direct impact on global warming, considering the rising heat waves heightened by greater energy consumption by the DCS. In response, renewable energy-powered cooling systems and thermal energy storage incorporated with vacuum centrifugal chillers (VCCs) were used as plausible options with high proficiency in terms of energy savings and minimal environmental impacts [4].

However, the generation and consumption of electricity for both domestic and industrial purposes contributed immensely to the rising heat waves in the environment. Consequently, this raises a lot of worry about the intensive energy demand in buildings considering accelerated consumption for comfort-driven purposes worldwide. On this note, substantial growth in energy consumption was recorded, by 20 to 40%, for domestic and commercial apartments in most advanced countries [5]. For instance, approximately 36%

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

of CO_2 emissions from Europe is from energy consumption by residential and commercial buildings, accounting for 40% of the output of the entire energy system [6]. Similarly, in Asia, approximately 35% of buildings consumed the total energy generated and a significant proportion of this energy is consumed for cooling and heating purposes across different parts of China [7]. In the same vein, 38.9% and 33% of the total energy consumed is utilized by the residential building sector in the United State of America (USA) and the United Arab Emirates (UAE), respectively [8]. Therefore, the negative impact of climate change can be slowed down through compromises in comfort, i.e., by reducing electricity consumption for heating and cooling. In this context, conventional standalone chiller plants installed in individual buildings, or industrial or commercial facilities were overworked. This led to the deployment of a district cooling system (DCS) that will contribute immensely to the significant energy reduction target and upscale maximum system efficiency. Figure 1 shows the common methods of heat production and energy sources linked to the technology period of the DCS.

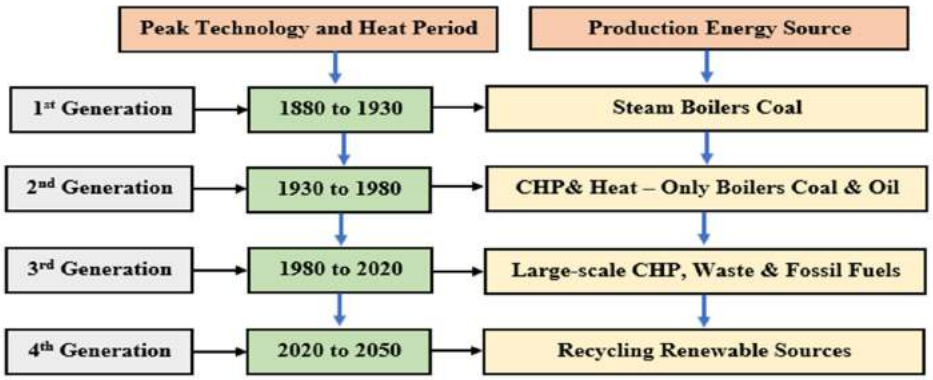


Figure 1. Production and energy sources for DCS.

In support of this claim, a DCS offers advantages such as a lower energy demand compared to on-site cooling systems (conventional), due to large-scale central water-cooled chiller plants for a given cooling system, efficient and flexible capacity, peak-period saving potential, a lower unit cost of cooling, low maintenance and cost-effectiveness, reduced environmental emissions, etc. [9]. Further, the technology would reduce damages linked to transmission, enhance productivity conversion, support the integration of other technologies, and foster sustainability and economic viability [8,9]. As a contemporary developed technology, DCS are used in areas flooded with high-density buildings due to their high cooling efficiency. Moreover, the technology is used to supply energy for space cooling and dehumidification [10,11]. DCS are tailored towards meeting and satisfying the energy demand for cooling purposes for an energy distribution network within a confined marketplace [12,13]. A DCS involves decentralization and centralization, where the former is more suitable for large-scale regions. Energy transformation occurs in diverse buildings. However, a moderately small capacity building is preferred, where advanced energy technologies are assembled outside the building for convenient energy flow in the direction of the building through the DCS network [13–15].

However, more cooling systems are being heavily used as we adapt to hot climatic conditions experienced in many countries on the one hand, and more heating systems are being equally engaged in colder zones. As a result of this heavy load, the conventional DCS is incapable of meeting and sustaining the changes in today's society that are often circumscribed by high energy consumption [16–18]. This compelled the integration of TES tanks with VCC systems in DCS plants [19,20], and the integration of renewable energy resources into DCS [2] to boost the efficiency of the process and improve the economic gains of the process. Consequently, the integration of renewable energy resources into DCS has taken center stage in the research in this field in recent decades. With this development, renewable energy sources such as biomass, wind, solar, and geothermal energy were

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

identified as the most feasible technologies for DCS integration [12,15]. Nevertheless, issues linked to global warming and climate change are posing challenges to economic growth due to the limitations associated with fossil-based energy [20–22]. As a result, a hike in electricity bills and the possibility of fossil fuel exhaustion has led to revisiting the utilization of renewable energy sources to power cooling/heating systems [18,22]. The use of renewable energy will serve multiple benefits such as supporting energy security missions, decreasing the rate of GHG emissions, and ensuring dependable and affordable energy delivery [23]. Surprisingly, despite the above-mentioned advantages, reviews addressing the sustainability, economic and environmental benefits of DCS powered by the grid, renewable energy technologies integrated into DCS and thermal energy storage (TES) with VCCs incorporated are still lacking. Therefore, the objective of this work is to review the current state of the art of renewable energy-driven DCS with TES, examine the benefits and challenges associated with integrating renewable energy and thermal energy storage into DCS, and compare the performance of renewable energy-driven DCS with TES to traditional air conditioning systems. Moreover, this review also presents recommendations for the future development and implementation of renewable energy-powered DCS with TES and concludes by highlighting the potential for these systems to contribute to a more sustainable and efficient built environment.

2. District Cooling System (DCS)

A DCS is a centralized cooling system that provides cooling services to multiple buildings or facilities within a defined geographic area, such as a district, campus, or city. It is an energy-efficient alternative to individual cooling systems for each building, as it eliminates the need for each building to have its own cooling system [20]. DCS offers several advantages over traditional cooling systems, including higher energy efficiency, lower maintenance costs, and reduced environmental impact. It is particularly suitable for large commercial or residential developments, where a high demand for cooling is required [21]. As shown in Figure 2, the DCS comprises a cooling source, chillers, a distribution network, heat exchangers, and customer installations (buildings) [22]. In hot countries, for instance, high electricity consumption and resulting carbon emissions are two main concurrent challenges of the cooling sector. Similarly, countries located near the tropics, also known as the Gulf Cooperation Council (GCC) comprising Saudi Arabia, Kuwait, Bahrain, Oman, Qatar, and the United Arab Emirates, are known to be among the hottest with high climate changes [23,24]. Their electricity consumption is approximately 70% maximum with a minimum of 50% due to the air conditioning system in the GCC. It was projected that the cooling demand in this region will triple by 2030 compared to in 2010. However, the amount of electricity consumed in households, mainly for air conditioning, was recorded as 70%, 60%, and 36% in the Kingdom of Saudi Arabia, Oman, and the United Arab Emirates, respectively [25–28]. There is a similar scenario in Malaysia, where the air condition system is also considered to consume among highest amount of energy, accounting for 28 to 46% of the total electricity consumption [29]. Overall, it can be established that electrical power generation expansion needs to increase by approximately 60% to meet the air cooling sector's energy requirements [24].

Typically, in DCS plants, the need for each building to have its cooling production system is avoided through centralization of the supply from the plant. This minimizes high capital, and operational costs and affords ease of maintenance [30]. However, the management and distribution of chilled water to various end users have channeled a network monitored by a third party [31]. The higher efficiencies of the DCS through the utilization of centralized energy production plants led to a reduction in GHG emissions compared to the conventional system [32]. Therefore, in a bid to enhance the efficiency of DCSs in cooling technology, the incorporation of a TES tank with a chiller system and renewable energy integration were introduced. This allows for increased operational flexibility and enhances the optimization of the technology [33,34]. In this work, various renewable energy integration methods as well as the incorporation of TES with VCCs into DCS are discussed

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

in Sections 3, 3.1–3.5, 4, 4.1 and 4.2, respectively. The various environmental and economic benefits as well as the sustainability status of the two technologies are discussed. Moreover, the various contributions in terms of environmental, economic, and energy savings of the technologies under review are highlighted in Section 3.

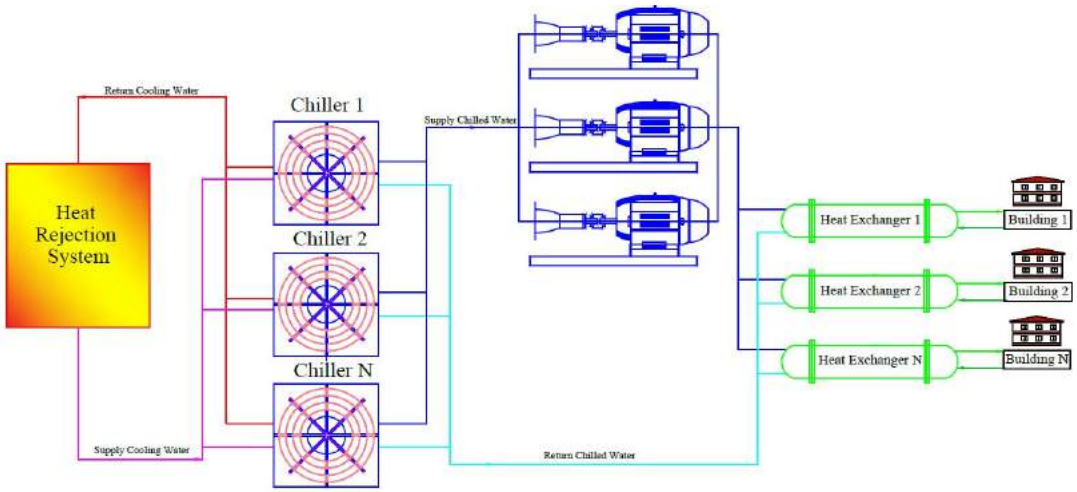


Figure 2. A schematic network of a typical DCS.

Types of District Cooling Systems

There are several types of district cooling systems, namely centralized DCSs which are large-scale systems that provide cooling to multiple buildings through a network of pipelines connected to a central cooling plant; decentralized DCSs that are small-scale systems that provide cooling to a single building or a limited number of buildings through a cooling plant [35]; hybrid DCS that are often a combination of centralized and decentralized systems, where cooling is provided through a combination of a central cooling plants and individual cooling units within the buildings; absorption chiller-based DCS use absorption chillers that are powered by waste heat or renewable energy sources to provide cooling [36]; chilled-water DCS are used as central cooling plants to generate chilled water that is then distributed to multiple buildings through a network of pipelines; direct-expansion DCS uses refrigerants to provide cooling, and the refrigerant is directly circulated through the building's air conditioning systems [37]. Table 1 presents the benefits and challenges of the various types of DCS.

Table 1. Benefits and challenges of different types of district cooling systems.

DCS Type	Benefits	Challenges	Reference
Centralized DCS	Improved air quality, high energy efficiency, reduced carbon footprint, and high initial investment.	Long-term maintenance costs and complex infrastructure.	[38]
Decentralized DCS	Flexibility to adapt to changing demand, lower initial investment, and lower maintenance costs.	Lower energy efficiency, higher energy consumption and costs, and limited cooling capacity.	[39]
Hybrid DCS	Combines the benefits of both centralized and decentralized systems and lowers energy consumption and costs.	Long-term maintenance costs and complex infrastructure.	[40]
Absorption chiller-based DCS	High energy efficiency, and reduced energy consumption and costs.	Dependence on waste heat or renewable energy sources and complex technology.	[41]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 1. *Cont.*

DCS Type	Benefits	Challenges	Reference
Chilled-water DCS	Reduced energy consumption and costs; reduced carbon footprint and high energy efficiency.	The high initial investment, complex infrastructure, and long-term maintenance costs.	[37]
Direct-expansion DCS	High energy efficiency, reduced energy consumption and costs, improved air quality, and minimized carbon footprint.	The high initial investment, complex infrastructure, and highly dependent on refrigerants and cooling fluids.	[42]

3. Renewable Energy Integration into DCS

The basis of scientific principles for the creation of a balance between the environment, energy, and sustainable power consumption lies within sustainable development requirements and resource utilization mechanisms, which are among the pivotal issues in today's modern society for economic and social development [43]. In this context, the irreversible increase in energy demand tied with ever-growing GHG emissions prompted the need for clean sustainable energy to relieve the crisis of high energy consumption and rising heat waves [44]. Therefore, the incessant liberation of GHG can be largely controlled with the integration of indigenous renewable energy resources into the DCS [45]. Accordingly, various co-renewable energy integration methods into the DCS are discussed.

3.1. The Use of Biomass Energy in DCS

The indiscriminate discharge of GHG emissions owing to excessive fossil fuel consumption aggravated the increasing climate change across the globe [26,27]. Therefore, energy from biomass is considered among the attractive alternative sources of renewable energy that are proficient and capable of fulfilling the ever-growing energy demand [28,29]. Biomass contributed up to 14% of the worldwide renewable energy consumed, with approximately 90% utilized in rural areas [30–32]. Biomass is a type of renewable derived from organic materials (plant or animal) that produce energy after burning. For instance, biomass is sourced from forest-based, agriculture biomass, and waste-based feedstocks [33–37]. During photosynthesis, solar energy is stored in biomass. Of the 2×10^{12} energy stored during photosynthesis, only 0.5% by weight is used as a crop for food for humans. Biomass is processed to improve its quality for energy generation and to reduce pollution [38–51]. Techniques such as pyrolysis, Fischer–Tropsch synthesis, synthetic natural gas production, and torrefaction are used for this. Energy generation from processed biomass is an active area of research and optimization, with a structured review by Masoud et al. [52], incorporating thermal storage. Designing and optimizing biomass-based systems are challenging due to factors such as moisture content, working fluid, operating cycle, char and tar production, and gas-to-biomass ratios [53]. Research on biomass processing and energy conversion is being carried out from various angles to make biomass-based systems more affordable and reliable. To achieve this, many aspects such as cost and technology, as well as chemical, thermodynamic, and environmental factors, need to be considered. Ahmadi et al. [54] studied the impact of energy and energy efficiency on the cost and CO_2 emissions of biomass-fueled energy systems using a thermodynamic model. Moharamian et al. [55] compared three configurations of a mixed biomass–natural gas energy system in terms of technology and economics and evaluated the sensitivity of the hybrid systems in an organic Rankin cycle setting, with changes in energy generation pathways. Studies have shown that lower amounts of CO_2 and carbon monoxide are emitted from biomass combustion compared to burning fossils. This CO_2 can be reused after the biomass is burned, thus making it carbon neutral [56,57]. Thermochemical and biochemical processes are two options for converting stored energy in biomass and the choice of which is tied to a particular type of application [58]. The applicability of using biomass energy in a DCS is such that the heat generated by the utilization of the biomass is used to cool the absorption chiller. Subsequently, insulated pipelines are used for the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

circulation of the cooled air into different parts of the building facility and are often maintained at a particular temperature throughout the process.

Therefore, one potential substitute for conventional air-cooling systems is liquid cooling, which involves transferring heat away from a computer or electronic device using a liquid, typically water, rather than air. In a liquid cooling system, water is pumped through a closed loop system that includes a water block, which is a heat sink that is in contact with the electronic device generating heat. As the water flows through the water block, it absorbs heat and carries it away from the device. The heated water then flows through a radiator, where the heat is dissipated into the air, and the cooled water is pumped back into the water block to repeat the cycle [4,11]. This approach offers solution-based modules such as a GHG reduction strategy, energy saving, and sustainable energy supply in this integrated system [59]. Other applications of biomass-based cooling systems can provide heat or steam for industrial processes such as paper or pulp production, or heating and hot water needs in buildings through direct means or a thermal network in district heating systems. The combination of biomass with other fuels in big power plants is becoming more prevalent due to improved efficiency. The term "co-firing" in the biomass industry has different interpretations. In the energy sector, it refers to the simultaneous production of various forms of energy, whereas in biomass-powered systems, it means blending biomass with fossil fuels (usually coal or natural gas) to partially replace fossil fuels [60]. Further, waste derived from biomass incineration is used to power absorption chillers; in this way, the waste is judiciously transformed into value-added products rather than ending in landfills. Moreover, this process saves energy consumption by 60% and decreases the CO_2 emissions rate per unit of cooling compared to other conventional compression chillers [61]. Rentizelas et al. [62] proposed the development of an increased biomass supply chain for possible use in DCS. According to the authors, the development offers advantages such as cost savings and efficiency, and reduces warehouse effects [62].

3.2. The Use of Solar Thermal Energy in DCS

The increase in energy consumption worldwide is expected to raise CO_2 emissions by 60% by the end of 2030 [63,64]. The compelling internal cooling demands, particularly during winter seasons for mainly thermal comfort, are said to be the reason behind this [65]. This has led to the overwhelming response by scientists worldwide towards the exploration of abundant solar energy, which is known to be readily available all year round on most of planet earth [66]. Applications of high solar energy radiation in DCS, domestic cooking wares, water heating, electricity generation, and refrigeration are foreseeable with multiple benefits [67]. Therefore, installation of thermally driven cooling machines using solar energy will support meeting the cooling demands experienced during the hot season/period. Most importantly, this cooling system offers improved efficiency in terms of energy consumption and minimizes environmental consequences as compared to vapor compression machines [68]. Thus, climate change mitigation and an energy-balanced target would considerably upscale the contribution of solar energy. In this way, the cooling demand experienced during the hot season can be substantially addressed using the supplied energy obtained from solar thermal (ST) technologies [2]. Moreover, ST energy can potentially replace fossil fuels and complement the energy needed for hot water and cooling inside buildings.

Therefore, ST-driven DCS consist of solar thermal collectors connected to thermally driven chillers for space cooling in buildings [69]. ST technology is also known as green cooling technology and works based on the principle of converting solar radiation into heat energy [70]. Hence, thermally driven absorption chiller machines are used to generate heat energy required for cooling using this technology. Installation of ST technology is increasing due the ease and efficiency of the cooling process [71]. Further, thermally activated absorption chiller machines for cooling are regarded as environmentally friendly owing to zero GHG emission with no effect on the ecosystem. As such, ST-integrated DCS are being considered for commercial use [67]. Additionally, ST collectors can be

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

used to supply DCS absorption chillers with low thermal heat requirements. Therefore, ST energy-driven DCS are attractive alternatives in countries with low local supply of fossil fuels.

3.3. The Use of Geothermal Energy in DCS

Geothermal energy is a thermal form of energy found in the earth's crust, formed because of the formation planet and the radioactive decay of materials. This form of energy is derived from the earth's central core at a depth of 6437.376 km from the earth's outer surface. However, the high temperature on the earth's central surface is mainly due to the decay of radioactive particles [2]. Geothermal energy is renewable and obtained from within the earth, used directly for heating and electricity generation. Geothermal energy is considered different from other renewables due to year-long availability and use at any time of the day. Moreover, this form of energy contributes substantially to safeguarding the atmosphere and preserving public health from risks emanating from emissions of burning fossils [46]. A natural temperature gradient from higher to lower sources normally exists based on the second law of thermodynamics. Thus, heat moves towards the outer surface of the earth with approximately 42 million thermal megawatts. However, in a geological process also known as plate tectonics, some of this thermal heat is reserved at temperatures and depths for commercial applications [2].

Typically, in geothermal reservoirs, water is used as the most common fluid for heat transfer. Additionally, geothermal reservoirs for power production use a direct heating system with low and medium temperatures [72]. Some of the merits of this process include the relative abundance, zero competition for land requirements, fewer atmospheric pollutants, and that it is completely independent of weather conditions, making it more viable compared to other renewable technologies [73]. Moreover, proven sustainability, low cost, and cleanliness are some of the advantages that set the bar higher for using geothermal energy in DCS. This has ignited interest in the growing use of geothermal energy [74].

3.4. The Use of Solar Photovoltaic Systems in DCS

Solar photovoltaic systems have been opted as a non-polluting and sustainable route of electricity generation [75]. In view of the increasing rate of energy consumption globally, low-cost, sustainable, and reliable energy sources are ingredients for sustainable economic growth and development [76]. In this process, incident solar radiation is used for power generation using photovoltaic solar cells. Therefore, solar energy has the potential of meeting the economic energy need for electricity and other purposes. No chemical or mechanical work is required in the conversion of solar energy to electricity. As a result, solar energy-driven electricity has zero emissions, thereby making it the most environmentally friendly energy compared to other renewable resources [77]. However, despite high proficiency and the environmentally friendly benefits offered by solar photovoltaic (PV) systems towards addressing the lingering energy crisis, its high cost is considered a major limiting factor to its large-scale use. To address this, incentives in the form of financial support and tax-free import waivers need to be granted to companies as a way of inspiring/motivating more investment in solar PV systems [78]. Additionally, the ease of installation with cheap maintenance labor as compared to other power generation systems increase investment in solar PV systems [79]. Other benefits include zero risk, safe use, low maintenance costs, and high durability [80]. It is forecasted that the PV-powered electricity share will be more than 20% across the world by 2050 [81]. However, Sunanda et al. [82] reported that the amount of solid waste produced from the disposal of solar panels has not been accurately determined, and this will become a problem for the photovoltaic energy sector in the future. The waste from end-of-life solar panels is harmful to the environment and has the potential to produce 300-fold more toxic waste than nuclear plants.

Therefore, the integration of solar PV into DCS could minimize GHG emissions emanating from heating and cooling systems. Thus, a net-zero energy building is that in which the building system is completely serviced by renewable energy resources [83].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Consequently, building systems for cooling purposes are highly enriched with solar PV-generated electricity to achieve the electricity load. In most designs, integrating solar PV into the DCS serves as a primary energy source while grid electricity is a secondary energy source [84]. With this, solar PV systems can significantly contribute to the cooling energy requirements in buildings via the support of artificial lighting systems and visual comfort, guaranteeing healthy natural lightening and producing solar electricity and solar heat at the same time [85,86]. In addition, the building cooling system will be supported by solar PV for both residential and district systems with a single central control unit. Therefore, due to the efficiency, cheapness, and abundance of solar energy for integration into DCS, increased adoption of the technology among residential, commercial, and government establishments is witnessed.

3.5. The Use of Surface Water in DCS

Surface water is considered a sustainable source of energy capable of fulfilling the bulk energy consumption demand of cooling and heating systems in buildings. This type of energy resource has the maximum capacity and is often regarded as the most frequently utilized in DCS [12]. Studies have shown that numerous DCS located in coastline cities across the world utilize deep seawater as a cold source of energy. With this, solar energy is absorbed by the surface and bottom (below 500–1000 m) of the ocean with a temperature of approximately 25–30 and 4 °C, respectively [83]. In deep seawater, the DCS scheme functioned with numerous benefits including huge energy savings of approximately 90% and is cost-effective, ecologically safe, and available for as long as needed [2]. However, in the world's tropical oceans, seawater temperatures decrease with depth, due to the presence of the deep-water ocean hot sink because of issues linked to climate change.

Typically, within the tropical zone, the temperature is approximately 8 and 4 °C, slightly colder, at approximately 700 m and 1000 m in depth, respectively. However, if cool water is available in ample amounts, DCS chillers are not required. With this free cooling technology, the energy requirements of the DCS will significantly reduce [12]. As shown in Figure 3 of deep sea cold water, heat exchangers are used for the passage of the deep cold seawater from the surface to the central DCS plant [87]. Therefore, its abundance and ease of accessibility make it readily available and suitable for integration into DCS. Moreover, this technology offers the potential of supporting the required thermal comfort during hot seasons to residential, commercial, industrial, and government institutions/establishments. The economic viability of this process coupled with its increased efficiency make this process an attractive alternative for DCS to foster the sustainability of cooling technology.

3.6. The Economic and Environmental Analysis of Renewable Energy-Driven Systems for Cooling

The economic and environmental impacts of renewable energy-driven district cooling systems are significant and complex [84]. On the economic side, these systems offer cost savings over traditional air conditioning systems through their centralized design, reduced energy consumption, and lower maintenance costs. However, the initial investment required to implement these systems can be significant, and the long-term financial benefits depend on factors such as energy prices, government incentives, and system performance [88]. On the environmental side, the integration of renewable energy sources can greatly reduce carbon emissions by district cooling systems, as well as lower the impact of climate change [89]. However, a summary of the economic and environmental gains of renewable energy-driven systems for cooling is presented in Table 2. Harnessing the power of renewable energy systems can significantly reduce their greenhouse gas emissions and contribute to a more sustainable energy system. Furthermore, renewable energy sources are considered reliable and less susceptible to fuel shortages, price fluctuations, and other supply chain disruptions, making district cooling systems more reliable and less vulnerable to unexpected interruptions. Additionally, the use of these systems helps reduce dependence on finite fossil fuel resources and promote a more sustainable energy future by improving the stability of the energy system and reducing the need for backup power

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

from fossil fuels [66]. Overall, the economic and environmental impacts of renewable energy-driven district cooling systems are highly positive, but they are also subject to many uncertainties and challenges. To fully understand the benefits and drawbacks of these systems, further research and development are needed to assess their performance in different conditions and environments and to identify best practices for their implementation. In conclusion, the use of renewable energy-driven systems for district cooling can result in both economic and environmental benefits, making them a promising solution for sustainable energy production.

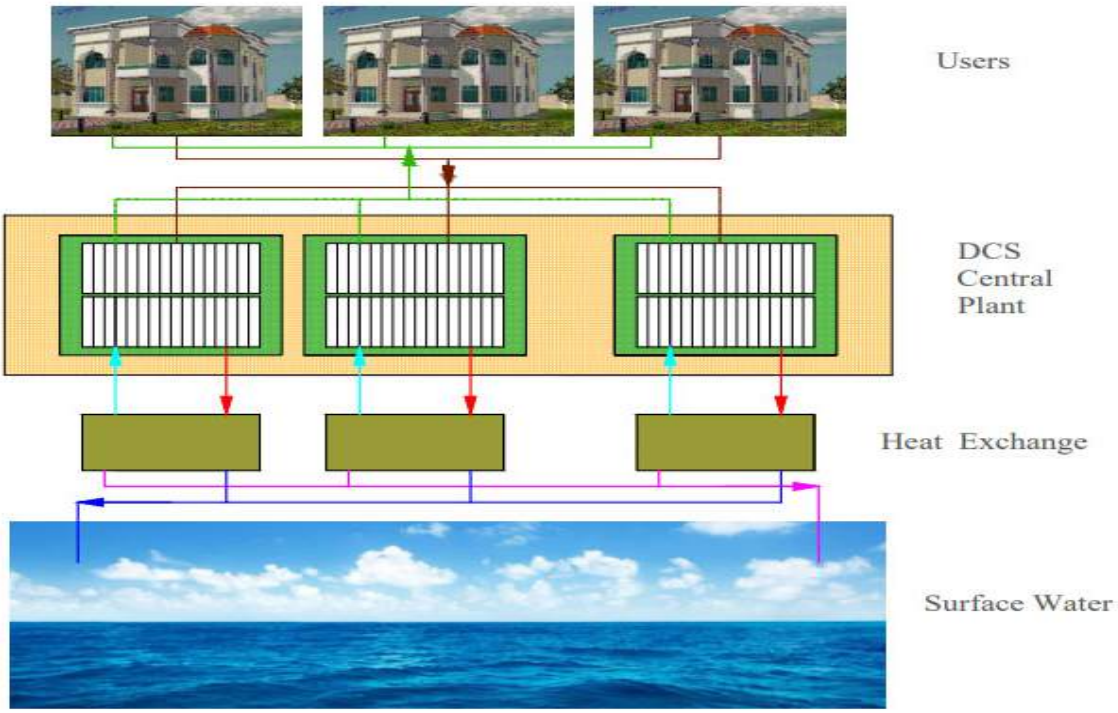


Figure 3. A modified version of the DCS using surface water; copyright by Elsevier 2019 [2].

Table 2. The economic and environmental advantages of incorporating DCS with various green energy systems.

Renewable Energy Type	Economic	Environmental	Ref.
Biomass energy integration into DCS	• Lower cost: Biomass-based materials are typically less expensive than traditional fossil fuels, reducing the operating costs of district cooling systems. • Renewable energy source: Biomass is a renewable energy source, reducing dependence on finite and expensive fossil fuels. • Its unlimited availability makes it cheap. • Job creation: The use of biomass in district cooling systems can stimulate the growth of local biomass production and processing industries, creating new jobs and economic benefits in rural areas. • Local availability: Biomass is often readily available in local areas, reducing transportation costs and energy losses associated with long-distance fuel transportation.	• It is safe and produces lower amounts of GHG. • Biomass is linked to a reduced risk of wildfire and an increase in sustainable ecology. • Reduced emissions: Biomass-based materials produce lower amounts of greenhouse gas emissions compared to traditional fossil fuels, improving air quality and reducing the carbon footprint of the district cooling system.	[90,91]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 2. *Cont.*

Renewable Energy Type	Economic	Environmental	Ref.
Solar thermal energy integration into DCS	• Reduce power consumption, thereby lowering electric bills. • Lower energy costs: By using solar thermal energy, a district cooling system can reduce its dependence on traditional fossil fuels and lower its overall energy costs. • Improved energy security: Solar thermal energy can provide a local and renewable source of energy, reducing dependence on imported fuel and improving energy security. • Boost to the local economy: The integration of solar thermal energy into district cooling systems can create jobs and stimulate local economies, as well as increase demand for local goods and services.	• It is pollution free, with no GHG emissions after installation. • Decreased greenhouse gas emissions: Solar thermal energy is a clean and renewable energy source which reduces the emissions of greenhouse gases associated with fossil fuels.	[70,82,92]
Geothermal energy integration into DCS	• Reducing overdependence on imported energy, thereby decreasing the trade deficit. This in turn promotes the growth of an in-house healthy economy.	• The combustion of fossil fuels on site is dramatically lowered or eliminated. • Offers a significant reduction in GHG emissions and the environmental damage associated with non-renewable resource extraction.	[93]
Solar photovoltaic integration into DCS	• Offsets electricity-associated costs. • Requires little maintenance and is easily customized.	• Minimal air pollution, thereby enhancing the long-term health of humans. • Passive and active systems with the option to also provide cooling during warmer seasons using absorption chillers.	[94]
Surface water energy integration into DCS	• Waste accumulation benefits.	• Supports the circular economy through waste conversion to value-added products.	[70]

4. Vapor Compression Chiller Integration into Thermal Energy Storage

4.1. Thermal Energy Storage (TES)

The poor cooling performance of DCS led to the deployment of TES to assist in storing chilled water during times that require less cooling. This works by discharging cold energy to meet the cooling loads, particularly at peak demand. Integrating a TES tank into a DCS setup helps improve operational efficiency, enhance the life span of the DCS, and reduce high tariff charges for peak and off-peak periods of the day [95,96]. Therefore, the workload of the electricity grid in the DCS is supported through the deployment of TES, leading to lower energy consumption, and reducing the cost of refrigeration using high electricity consumption due to transitioning to off-peak hours. Moreover, TES technology uses water as its storage medium, which is readily available with high thermal capacity, thereby making this process economically viable and sustainable. Another promising feature is the lower technical complexity of the water storage medium in connecting networks of the DC system [97]. Further, ice storage is another storage medium that utilizes the latent heat of ice, thus resulting in a smaller storage volume [98]. Comparatively, the use of ice storage demands little storage space and a low evaporation temperature for production, leading to lower plant efficiency in cold energy production. On the other hand, higher temperatures affect the efficiencies of water-based storage tanks through increases evaporation, increased stratification, and acceleration of build up scale and deposit inside

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

tanks. Most importantly, the literature revealed that the environmental impact is reduced by approximately 40% following the integration of TES into the DCS [64]. Nevertheless, the efficiency of TES is also enhanced by the integration of a vapor compression chiller (VCC) but cost inevitably increases.

4.2. Vapor Compression Chillers (VCCs)

A vapor compression chiller (VCC) is a mechanical device/compressor that uses steam, electricity, or gas turbines in the refrigeration process and is often installed to supply chilled water to TES for charging purposes [99]. The process involves lowering the temperature in an enclosed space by extracting heat and dispatching it to a designated place [100]. The VCC system is composed of a compressor, an evaporator, a condenser, and an expansion valve as shown in Figure 4. Typically, the process involves the circulation of the refrigerant around the system, followed by high pressure condensing, with the evaporator vaporizing the refrigerant as the vapor pressure becomes lower [101]. However, the compression and expansion of the refrigerant are often facilitated by the compressor and expansion valves and, subsequently, the condenser serves to repel the heat from the refrigerant vapor. Studies have shown that data mining, simulations using different software, and data analytics are used to quantify energy saving and ultimately improve the energy efficiency of VCS in buildings. Further, other modeling tools reported in the literature include the grey box, which combines the qualities of both the physics-based and data-driven models [102]. Therefore, the energy efficiency of VCCs can be measured using different indicators such as the energy efficiency ratio (EER), the integrated part load value (IPLV), the seasonal energy efficiency ratio (SEER), and the seasonal coefficient of performance (SCOP) that involves seasonal chiller operations and capacity modulation. Therefore, the efficiency of the VCC and its overall performance is computed using the COP and the cooling load from measurements of electricity consumption is quite simple, thus the surrounding conditions and the chiller technology determine the COP value [103].

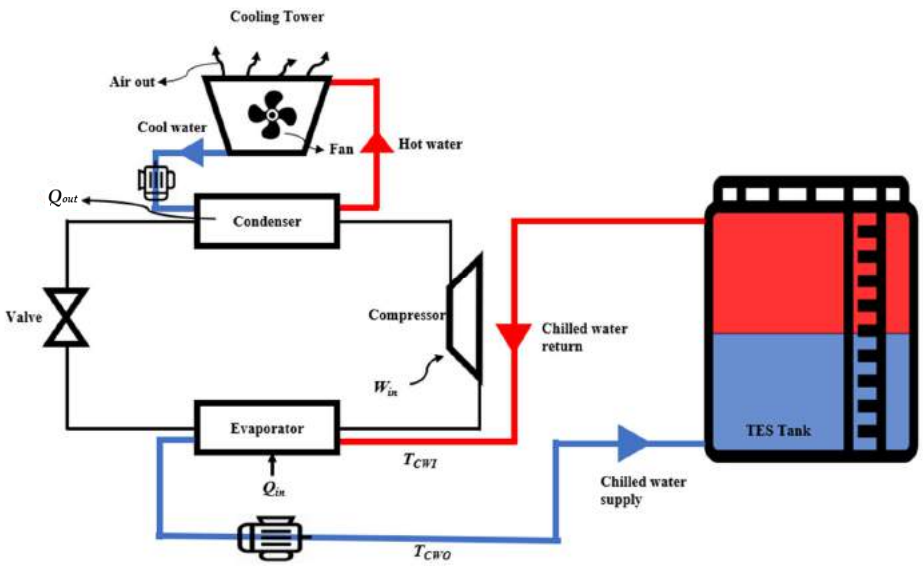


Figure 4. Schematic diagram of a vapor compression system adapted from [20].

Overall, the benefits of VCC/TEC integration into DCS are:

- Enhanced control and monitoring of industrial processes, leading to improved efficiency and reduced waste.
- Reduced dependence on fossil fuels and reduced greenhouse gas emissions.
- Optimization of energy consumption, reducing costs and further benefiting the environment [96].
- Economic and environmental benefits for selected countries as presented in Table 3.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 3. Environmental and economical advantages of implementing DCS, incorporating renewable energy sources, and integrating VCC/TEC into DCS outlined for certain countries.

Country	Energy Source/ Integration	Environmental Benefit	Economic Benefits	Reference
District cooling system				
Hong Kong	DCS powered by grid	Has no environmental gain	Lowere electricity consumption by the DCS especially for an ice storage system with 60% chiller priority. This in turn reduces the electricity tariff.	[102]
	✓	✓	Approximately 80% of the annual operating cost of DCS with ice storage compared to DCS optimized using a conventional method.	[103]
USA	✓	✓	In 2015, a sum of USD 421,434 was realized in one week (i.e., 1–7 July) as profit from the sales of electricity from the grid to cooling system stations and other heating sales.	[104]
Turkey	DCS powered by grid using coal-fired power plants	Lower emissions (not quantified)	No economic benefit was recorded.	[105]
Kuwait	DCS powered by grid using Natural gas	There is a 50% annual reduction in CO_2 emissions	The relative cost per ton-hour for cooling was reduced by approximately 53%.	[9]
District cooling system using renewable energy				
Saudi Arabia	DCS powered by solar system integration	• Minimal emission of GHG • Lower heat emissions	• Investment into the solar-driven system was improved, leading to more investment in the technology. • The lowest investment cost is recorded through the deployment of solar systems.	[106]
	✓	CO_2 emissions are reduced by an average of 500 tons (i.e., 70%) and 1400 tons per year relative to DCS with a centralized electrical compression chiller cooling plant	• The primary cost of the solar field, storage tank, and chillers is reduced through the system component size optimization. • The overall cost of DCS with PTC-driven double-effect absorption chillers is approximately 30% lower than that of DCS with ETC-driven single-effect absorption chillers.	[36]
Singapore	DCS powered by PV electric system integration	CO_2 emissions would be reduced by an average of 19.7% from 2020 to 2050	An estimate of three hudred and thirty million dollars, was earmarked for DC grid investment of the Singapore 2050 energy system, which is projected to save by up to 32.7% energy.	[107]
Sweden	DCS powered by biomass	Zero CO_2 emissions	Not reported.	[108]
Dubai	DCS powered by solar system integration	Not reported	Non-quantified economic savings associated with reduced electricity consumption, reduced peak demand charges and reduced CC investment costs.	[109]
District cooling system using vapor compressor cooling/thermal energy storage				
Malaysia	DCS integrated by TES/VCC	Lowest CO_2 emissions, reduced by approximately 40% as recorded by TES	Approximately 40% savings.	[20]

5. Conclusions and Future Research Priorities

This study reports the economic and environmental impact of DCS and the integration of renewables and TES with VCCs into DCS. This study identified a cost-effective, energy-efficient, and environmentally friendly cooling technology. The report also compares the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

benefits of different cooling technologies, such as better comfort and reliability, as well as reduced maintenance and operating costs. However, traditional DCS technology has drawbacks, including high energy demand and excessive CO_2 emissions from fossil fuel combustion. To address these issues, the integration of renewable energy into DCS is proposed to minimize costs and reduce carbon accumulation. The implementation of solar energy in DCS in Saudi Arabia and Dubai reportedly led to a 35–70% reduction in their carbon footprint. Meanwhile, the integration of bioenergy into DCS is widely adopted in Finland and Sweden, in line with their green energy policies. In conclusion, the integration of renewables into DCS offers a feasible solution because it is efficient, cost effective, and environmentally friendly. Additionally, the integration of information processing and predictive control technologies will improve access to previously impractical renewable energy sources such as biomass, which has lower economies of scale and reliability challenges in the supply chain. Distributed energy generation units have greater potential for biomass by utilizing local supply resources. Lastly, the integration of TES with VCCs into DCS was reported to have been adopted and used successfully in Malaysia. This technology was also found to have offered an economic advantage of an approximately 40% cost reduction compared to DCS alone, which in turn reduces energy consumption and environmental impact. Overall, it can be established that the use of renewable energy technologies has the most significant influence on the system's environmental performance. Overall, this study highlights the potential for renewable energy-driven district cooling systems with thermal energy storage to contribute to a more sustainable and efficient built environment. Moreover, the challenges and uncertainties associated with these systems, and the need for further research and development to fully realize their potential, have been presented. Although renewables are considered expensive in some respects, policies such as tax import waivers and other incentives by the government would go a long way in upscaling the broader utilization of renewables. In conclusion, the following recommendations were made for the use of DCS technology.

- Increase government incentives: Encouraging the development and implementation of renewable energy-powered district cooling systems with thermal energy storage through government incentives such as tax credits, subsidies, and grants can help to overcome the initial investment hurdle and increase the adoption of these systems.
- Improve energy storage technology: Advances in energy storage technology, such as increased capacity, reduced cost, and improved performance, will play a key role in the future development and implementation of renewable energy-powered district cooling systems.
- Encourage public–private partnerships: Encouraging public–private partnerships between government agencies, utility companies, and private sector organizations can help to pool resources and expertise and increase the speed and scale of deployment of these systems.
- Develop new financing models: Developing new financing models, such as energy performance contracting and energy service companies, can provide innovative ways to fund the development and implementation of renewable energy-powered district cooling systems with thermal energy storage.
- Enhance public awareness and education: Raising public awareness and education about the benefits and potential of renewable energy-powered district cooling systems with thermal energy storage can help to build public support and drive demand for these systems.
- Implement smart grid technologies: Integrating smart grid technologies, such as demand response and energy management systems, into renewable energy-powered district cooling systems with thermal energy storage can help to optimize energy consumption, reduce energy waste, and improve system efficiency.
- The focus should be tailored towards exploring synergy among the co-technologies of DCS, renewables, and TES with VCC-integrated systems to effectively overcome many problems associated with the technology.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

- Deployment of modern learning tools such as machine learning to forecast the rate of energy efficiency and consumption in the building: This creates an avenue for comparison between the predicted results and the conventional results to detect possible defections.
- A holistic approach to sustainability evaluation should be incorporated in the environmental and economic assessment of the various technologies.
- Strategies for incremental development in terms of the challenges of system efficiency, cost, and sustainability would help these technologies become more viable in the nearest future.

Author Contributions: Conceptualization, A.A.-N. and H.H.Y.; methodology, A.A.-N.; software, A.A.-N.; validation, A.A.-N., H.H.Y. and N.A.-M.; formal analysis, A.A.-N.; investigation, A.A.-N.; resources, A.A.-N.; data curation, A.A.-N.; writing—original draft preparation, A.A.-N.; writing—review and editing, N.A.-M.; visualization, H.H.; supervision, H.H.Y.; project administration, H.H.Y.; funding acquisition, H.H.Y. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: The authors of this work would like to greatly acknowledge the financial support received from Universiti Teknologi PETRONAS for funding this research work through the Yayasan Universiti Teknologi PETRONAS grant (Cost Centre: 015LC0-262).

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data used in this work, would be made available on request to the corresponding author.

Acknowledgments: The authors of this work would like to greatly acknowledge the financial support received from Universiti Teknologi Petronas for funding this research work through the Yayasan Universiti Teknologi Petronas (YUTP) grant (Cost Centre Numbers: 015LC0-262 and 015LCO-339).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Rioja-Cabanillas, A.; Valdesueiro, D.; Fernández-Ibáñez, P.; Byrne, J.A. Hydrogen from wastewater by photocatalytic and photoelectrochemical treatment Journal of Physics: Energy OPEN ACCESS Hydrogen from wastewater by photocatalytic and photoelectrochemical treatment. *J. Phys. Energy* **2021**, *3*, 012006. [CrossRef]
2. Inayat, A.; Raza, M. District cooling system via renewable energy sources: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2020**, *107*, 360–373. [CrossRef]
3. Abdallah, L.; El-Shennawy, T. Reducing Carbon Dioxide Emissions from Electricity Sector Using Smart Electric Grid Applications. *J. Eng.* **2013**, *2013*, 845051. [CrossRef]
4. Bauer, C.; Treyer, K.; Heck, T.; Hirschberg, S.; Institut, P.S. *Greenhouse Gas Emissions from Energy Systems, Comparison, and Overview*; no. October 2014; Elsevier Inc.: Amsterdam, The Netherlands, 2015.
5. Zhou, X.; Yan, D.; Feng, X.; Deng, G.; Jian, Y.; Jiang, Y. Influence of household air-conditioning use modes on the energy performance of residential district cooling systems. *Build. Simul.* **2016**, *9*, 429–441. [CrossRef]
6. Angrisani, G.; Entchev, E.; Roselli, C.; Sasso, M.; Tariello, F.; Yaici, W. Dynamic simulation of a solar heating and cooling system for an office building located in Southern Italy. *Appl. Therm. Eng.* **2016**, *103*, 377–390. [CrossRef]
7. Liu, H.; Kojima, S. Energy Consumption and Thermal Performance in Different Residential Building Types in Hot-Summer and Cold-Winter Zone. *J. Civ. Eng. Arch.* **2017**, *11*, 240–248. [CrossRef]
8. Kwok, A.G.; Rajkovich, N. Addressing climate change in comfort standards. *Build. Environ.* **2010**, *45*, 18–22. [CrossRef]
9. Eveloy, V.; Ayou, D.S. Challenges, and Future Opportunities, with Emphasis on Cooling-Dominated Regions. *Energies* **2019**, *12*, 235. [CrossRef]
10. Sporleder, M.; Rath, M.; Ragwitz, M. Design optimization of district heating systems: A review. *Front. Energy Res.* **2022**, *10*, 1–18. [CrossRef]
11. Bello, U.; Udofia, L.; Ibitowa, O.A.; Abdullahi, A.M.; Sulaiman, I.; Yahuza, K.M. Renewable Energy Transition: A Panacea to the Ravaging Effects of Climate Change in Nigeria. *J. Geosci. Environ. Prot.* **2021**, *9*, 151–167. [CrossRef]
12. Gang, W.; Wang, S.; Xiao, F.; Gao, D.-C. District cooling systems: Technology integration, system optimization, challenges and opportunities for applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2016**, *53*, 253–264. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

13. Gang, W.; Wang, S.; Xiao, F. District cooling systems and individual cooling systems: Comparative analysis and impacts of key factors. *Sci. Technol. Built Environ.* **2017**, *23*, 241–250. [CrossRef]
14. Werner, S. International review of district heating and cooling. *Energy* **2017**, *137*, 617–631. [CrossRef]
15. Werner, S. District heating and cooling in Sweden. *Energy* **2017**, *126*, 419–429. [CrossRef]
16. Buoro, D.; Casisi, M.; De Nardi, A.; Pinamonti, P.; Reini, M. Multicriteria optimization of a distributed energy supply system for an industrial area. *Energy* **2013**, *58*, 128–137. [CrossRef]
17. Bellos, E.; Tzivanidis, C. Energetic and financial analysis of solar cooling systems with single effect absorption chiller in various climates. *Appl. Therm. Eng.* **2017**, *126*, 809–821. [CrossRef]
18. Bellos, E.; Tzivanidis, C.; Moschos, K.; Antonopoulos, K.A. Energetic and financial evaluation of solar assisted heat pump space heating systems. *Energy Convers. Manag.* **2016**, *120*, 306–319. [CrossRef]
19. Bello, U.; Shallangwa, G.; Idris, S.; Musa, M.; Aisha, A. Synthesis, spectroscopic characterization and in vitro antibacterial activity studies of Cu(II) complexes derived from 6- hydroxyflavone Schiff bases. *Bayero J. Pure Appl. Sci.* **2018**, *11*, 136–141. [CrossRef]
20. Jebb, S.A.; Cole, T.J.; Doman, D.; Murgatroyd, P.R.; Prentice, A.M. Evaluation of the novel tanita body-fat analyser to measure body composition by comparison with a four-compartment model. *Br. J. Nutr.* **2000**, *83*, 115–122. [CrossRef]
21. Alobaid, M.; Hughes, B.; Calautit, J.K.; O'Connor, D.; Heyes, A. A review of solar driven absorption cooling with photovoltaic thermal systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *76*, 728–742. [CrossRef]
22. Iodice, P.; D'Accadia, M.D.; Abagnale, C.; Cardone, M. Energy, economic and environmental performance appraisal of a trigeneration power plant for a new district: Advantages of using a renewable fuel. *Appl. Therm. Eng.* **2016**, *95*, 330–338. [CrossRef]
23. Palomba, V.; Vasta, S.; Freni, A.; Pan, Q.; Wang, R.; Zhai, X. Increasing the share of renewables through adsorption solar cooling: A validated case study. *Renew. Energy* **2017**, *110*, 126–140. [CrossRef]
24. Bellos, E.; Tzivanidis, C.; Antonopoulos, K.A. A detailed working fluid investigation for solar parabolic trough collectors. *Appl. Therm. Eng.* **2017**, *114*, 374–386. [CrossRef]
25. Zhang, W.; Hong, W.; Jin, X. Research on performance and control strategy of multi-cold source district cooling system. *Energy* **2022**, *239*, 122057. [CrossRef]
26. Abushamah, H.A.S.; Skoda, R. Nuclear energy for district cooling systems—Novel approach and its eco-environmental assessment method. *Energy* **2022**, *250*, 123824. [CrossRef]
27. Salameh, T.; Assad, M.E.H.; Tawalbeh, M.; Ghenai, C.; Merabet, A.; Öztop, H.F. Analysis of cooling load on commercial building in UAE climate using building integrated photovoltaic façade system. *Sol. Energy* **2020**, *199*, 617–629. [CrossRef]
28. Howarth, N.; Odnoletkova, N.; Alshehri, T.; Almadani, A. Staying Cool in A Warming Climate: Temperature. *Climate* **2020**, *8*, 4. [CrossRef]
29. Hisham, N.A.; Salim, S.A.Z.S.; Hagishima, A.; Yakub, F.; Saipol, H.F.S. Statistical analysis of air-conditioning and total load diversity in typical residential buildings. *Bull. Electr. Eng. Inform.* **2021**, *10*, 1–9. [CrossRef]
30. Bartolozzi, I.; Rizzi, F.; Frey, M. Are district heating systems and renewable energy sources always an environmental win-win solution? A life cycle assessment case study in Tuscany, Italy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *80*, 408–420. [CrossRef]
31. Kalaycıoğlu, E.; Yılmaz, A.Z. A new approach for the application of nearly zero energy concept at district level to reach EPBD recast requirements through a case study in Turkey. *Energy Build.* **2020**, *152*, 680–700. [CrossRef]
32. Lake, A.; Rezaie, B.; Beyerlein, S. Review of district heating and cooling systems for a sustainable future. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *67*, 417–425. [CrossRef]
33. Sayadi, S.; Akander, J.; Hayati, A.; Cehlin, M. *Review on District Cooling and Its Application in Energy Systems*; Intech Open: London, UK, 2021.
34. Pampuri, L.; Cereghetti, N.; Strepparava, D.; Caputo, P. Analysis of the electricity consumptions: A first step to develop a district cooling system. *Sustain. Cities Soc.* **2016**, *23*, 23–36. [CrossRef]
35. Udomsri, S.; Bales, C.; Martin, A.R.; Martin, V. Decentralized cooling in district heating network: System simulation and parametric study. *Appl. Energy* **2012**, *92*, 175–184. [CrossRef]
36. Franchini, G.; Brumana, G.; Perdichizzi, A. Performance prediction of a solar district cooling system in Riyadh, Saudi Arabi— A case study. *Energy Convers. Manag.* **2018**, *166*, 372–384. [CrossRef]
37. Jangsten, M.; Filipsson, P.; Lindholm, T.; Dalenbäck, J.-O. High Temperature District Cooling: Challenges and Possibilities Based on an Existing District Cooling System and its Connected Buildings. *Energy* **2020**, *199*, 117407. [CrossRef]
38. Faircloth, C.C.; Wagner, K.H.; Woodward, K.E.; Rakkwamsuk, P.; Gheewala, S.H. The environmental and economic impacts of photovoltaic waste management in Thailand. *Resour. Conserv. Recycl.* **2018**, *143*, 260–272. [CrossRef]
39. Cozzini, M.; Antoni, M.D.; Buffa, S.; Fedrizzi, R.; Denmark, B. District Heating and Cooling Networks Based on Decentralized Heat Pumps: Energy Efficiency and Reversibility at Affordable Costs. *Top. Artic. HPT Mag.* **2018**, *36*, 25–29.
40. Kadam, S.T.; Kyriakides, A.-S.; Khan, M.S.; Shehabi, M.; Papadopoulos, A.I.; Hassan, I.; Rahman, M.A.; Seferlis, P. Thermo-economic and environmental assessment of hybrid vapor compression-absorption refrigeration systems for district cooling. *Energy* **2022**, *243*, 122991. [CrossRef]
41. Ferwati, M.S.; Ahmad, A.M.; Takalkar, G.D.; Bicer, Y. Energy and exergy analysis of parallel flow double effect H2O-[mmim][DMP] absorption refrigeration system for solar powered district cooling. *Case Stud. Therm. Eng.* **2021**, *28*, 101382. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

42. Vakiloroaya, V.; Samali, B.; Pishghadam, K. Investigation of energy-efficient strategy for direct expansion air-cooled air conditioning systems. *Appl. Therm. Eng.* **2014**, *66*, 84–93. [CrossRef]
43. Amran, N.A.; Bello, U.; Ruslan, M.S.H. The role of antioxidants in improving biodiesel's oxidative stability, poor cold flow properties, and the effects of the duo on engine performance: A review. *Heliyon* **2022**, *8*, e09846. [CrossRef] [PubMed]
44. Khir, R.; Haouari, M. Optimization models for a single-plant District Cooling System. *Eur. J. Oper. Res.* **2015**, *247*, 648–658. [CrossRef]
45. Shahbaz, M.; Yusup, S.; Inayat, A.; Patrick, D.O.; Ammar, M. The influence of catalysts in biomass steam gasification and catalytic potential of coal bottom ash in biomass steam gasification: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2016**, *73*, 468–476. [CrossRef]
46. Bello, U.; Agu, C.U.; Ajiya, D.A.; Mahmoud, A.A.; Udopia, L.; Lawal, N.M.; Abubakar, A.A.; Muhammad, M. Biodiesel in a Quest for Sustainable Renewable Energy: A Review on Its Potentials and Production Strategies. *J. Chem. Rev.* **2022**, *4*, 272–287. [CrossRef]
47. Kirubakaran, V.; Sivaramakrishnan, V.; Nalini, R.; Sekar, T.; Premalatha, M.; Subramanian, P. A review on gasification of biomass. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2009**, *13*, 179–186. [CrossRef]
48. Shen, Y.; Yoshikawa, K. Recent progresses in catalytic tar elimination during biomass gasification or pyrolysis—A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2013**, *21*, 371–392. [CrossRef]
49. Sharma, A.K. Modeling and simulation of a downdraft biomass gasifier 1. Model development and validation. *Energy Convers. Manag.* **2011**, *52*, 1386–1396. [CrossRef]
50. Cardoen, D.; Joshi, P.; Diels, L.; Sarma, P.M.; Pant, D. Agriculture biomass in India: Part 1. Estimation and characterization. *Resour. Conserv. Recycl.* **2015**, *102*, 39–48. [CrossRef]
51. Rezaei, M.; Sameti, M.; Nasiri, F. An enviro-economic optimization of a hybrid energy system from biomass and geothermal resources for low-enthalpy areas. *Energy Clim. Chang.* **2021**, *2*, 100040. [CrossRef]
52. Espootin, S.; Sameti, M.; Zaker, S. Biodiesel from fish waste oil: Synthesis via supercritical methanol and thermodynamic optimization. *Clean Energy* **2021**, *5*, 187–195. [CrossRef]
53. Ahmadi, P.; Dincer, I.; Rosen, M.A. Development and assessment of an integrated biomass-based multi-generation energy system. *Energy* **2013**, *56*, 155–166. [CrossRef]
54. Moharamian, A.; Soltani, S.; Rosen, M.A.; Mahmoudi, S.; Morosuk, T. A comparative thermoeconomic evaluation of three biomass and biomass-natural gas fired combined cycles using organic Rankine cycles. *J. Clean. Prod.* **2017**, *161*, 524–544. [CrossRef]
55. Buragohain, B.; Mahanta, P.; Moholkar, V.S. Biomass gasification for decentralized power generation: The Indian perspective. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2010**, *14*, 73–92. [CrossRef]
56. Bello, U.; Amran, N.A.; Samsuri, S.; Ruslan, M.S.H. Kinetics, thermodynamic studies, and parametric effects of supercritical CO_2 extraction of banana peel wastes. *Sustain. Chem. Pharm.* **2022**, *31*, 100912. [CrossRef]
57. Lin, C.-L.; Weng, W.-C. Effects of different operating parameters on the syngas composition in a two-stage gasification process. *Renew. Energy* **2017**, *109*, 135–143. [CrossRef]
58. Martinez, J.D.; Mahkamov, K.; Andrade, R.V.; Silva Lora, E.E. Syngas production in downdraft biomass gasifiers and its application using internal combustion engines. *Renew. Energy* **2012**, *38*, 1–9. [CrossRef]
59. Rezaei, M.; Sameti, M.; Nasiri, F. Biomass-fuelled combined heat and power: Integration in district heating and thermal-energy storage. *Clean Energy* **2021**, *5*, 44–56. [CrossRef]
60. Udomsri, S.; Martin, A.R.; Martin, V. Thermally driven cooling coupled with municipal solid waste-fired power plant: Application of combined heat, cooling and power in tropical urban areas. *Appl. Energy* **2011**, *88*, 1532–1542. [CrossRef]
61. Rentizelas, A.; Tatsiopoulos, I.P.; Tolis, A. An optimization model for multi-biomass tri-generation energy supply. *Biomass Bioenerg.* **2009**, *33*, 223–233. [CrossRef]
62. Ghafoor, A.; Munir, A. Worldwide overview of solar thermal cooling technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2015**, *43*, 763–774. [CrossRef]
63. Byrne, P.; Fournaison, L.; Delahaye, A.; Oumeziane, Y.A.; Serres, L.; Loulergue, P.; Szymczyk, A.; Mugnier, D.; Malaval, J.-L.; Bourdais, R.; et al. A review on the coupling of cooling, desalination and solar photovoltaic systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2015**, *47*, 703–717. [CrossRef]
64. Kalkan, N.; Young, E.; Celiktas, A. Solar thermal air conditioning technology reducing the footprint of solar thermal air conditioning. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2012**, *16*, 6352–6383. [CrossRef]
65. Rad, F.M.; Fung, A.S. Solar community heating and cooling system with borehole thermal energy storage—Review of systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2016**, *60*, 1550–1561. [CrossRef]
66. Sarbu, I.; Sebarchievici, C. Review of solar refrigeration and cooling systems. *Energy Build.* **2013**, *67*, 286–297. [CrossRef]
67. Lovegrove, K.; Dennis, M. Solar thermal energy systems in Australia. *Int. J. Environ. Stud.* **2014**, *63*, 791–802. [CrossRef]
68. Raja, V.B.; Shanmugam, V. A review and new approach to minimize the cost of solar assisted absorption cooling system. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2012**, *16*, 6725–6731. [CrossRef]
69. Guelpa, E.; Verda, V. Thermal energy storage in district heating and cooling systems: A review. *Appl. Energy* **2019**, *252*, 113474. [CrossRef]
70. Pintaldi, S.; Perfumo, C.; Sethuvenkatraman, S.; White, S.; Rosengarten, G. A review of thermal energy storage technologies and control approaches for solar cooling. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2015**, *41*, 975–995. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

71. Buonomano, A.; Calise, F.; Palombo, A. Solar heating and cooling systems by CPVT and ET solar collectors: A novel transient simulation model. *Appl. Energy* **2013**, *103*, 588–606. [CrossRef]
72. Oktay, Z.; Aslan, A. Geothermal district heating in Turkey: The Gonen case study. *Geothermics* **2007**, *36*, 167–182. [CrossRef]
73. Ozgener, L.; Hepbasli, A.; Dincer, I. Energy and exergy analysis of the Gonen geothermal district heating system, Turkey. *Geothermics* **2005**, *34*, 632–645. [CrossRef]
74. Mallor, F.; León, T.; De Boeck, L.; Van Gulck, S.; Meulders, M.; Van der Meerssche, B. A method for detecting malfunctions in PV solar panels based on electricity production monitoring. *Sol. Energy* **2017**, *153*, 51–63. [CrossRef]
75. Hasanuzzaman, M.; Malek, A.B.M.A.; Islam, M.M.; Pandey, A.K.; Rahim, N.A. Global advancement of cooling technologies for PV systems: A review. *Sol. Energy* **2016**, *137*, 25–45. [CrossRef]
76. Syafiq, A.; Pandey, A.; Adzman, N.; Rahim, N.A. Advances in approaches and methods for self-cleaning of solar photovoltaic panels. *Sol. Energy* **2018**, *162*, 597–619. [CrossRef]
77. Matulaitis, V.; Straukaitė, G.; Azzopardi, B.; Martinez-Cesena, E.A. Multi-criteria decision making for PV deployment on a multinational level. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **2016**, *156*, 122–127. [CrossRef]
78. Barroso, J.S.; Barth, N.; Correia, J.; Ahzi, S.; Khaleel, M. A computational analysis of coupled thermal and electrical behavior of PV panels. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **2016**, *148*, 73–86. [CrossRef]
79. Roy, T.; Mahmud, A. Active power control of three-phase grid-connected solar PV systems using a robust nonlinear adaptive backstepping approach. *Sol. Energy* **2017**, *153*, 64–76. [CrossRef]
80. Bermudez, V. An overview on electrodeposited Cu(In,Ga)(Se,S)2 thin films for photovoltaic devices. *Sol. Energy* **2018**, *175*, 2–8. [CrossRef]
81. Solar photovoltaic panels as next generation waste: A review. *Biointerface Res. Appl. Chem.* **2019**, *9*, 4539–4546. [CrossRef]
82. Good, C.; Andresen, I.; Hestnes, A.G. Solar energy for net zero energy buildings—A comparison between solar thermal, PV and photovoltaic–thermal (PV/T) systems. *Sol. Energy* **2020**, *122*, 986–996. [CrossRef]
83. Marugán-Cruz, C.; Sánchez-Delgado, S.; Rodríguez-Sánchez, M.R.; Venegas, M.; Santana, D. District cooling network connected to a solar power tower. *Appl. Therm. Eng.* **2015**, *79*, 174–183. [CrossRef]
84. Kuhn, T.E. State of the art of advanced solar control devices for buildings. *Sol. Energy* **2017**, *154*, 112–133. [CrossRef]
85. Wang, X.; Dennis, M. Influencing factors on the energy saving performance of battery storage and phase change cold storage in a PV cooling system. *Energy Build.* **2015**, *107*, 84–92. [CrossRef]
86. Zhen, L.; Lin, D.; Shu, H.; Jiang, S.; Zhu, Y. District cooling and heating with seawater as heat source and sink in Dalian, China. *Renew. Energy* **2007**, *32*, 2603–2616. [CrossRef]
87. Abedrabboh, O.; Koç, M.; Biçer, Y. Modelling and analysis of a renewable energy-driven climate-controlled sustainable greenhouse for hot and arid climates. *Energy Convers. Manag.* **2022**, *273*, 116412. [CrossRef]
88. Manesh, M.H.K.; Onishi, V.C. Energy, Exergy, and Thermo-Economic Analysis of Renewable Energy-Driven Polygeneration Systems for Sustainable Desalination. *Processes* **2021**, *9*, 210. [CrossRef]
89. Mahon, C.; Gartland, D. Life Cycle Assessment of Irish District Heating Systems: A Comparison of Waste Heat Pump, Biomass-Based and Conventional Gas Boiler. *Res. Sq.* **2022**, *40*, 503–513. [CrossRef]
90. Sarralde, J.J.; Quinn, D.J.; Wiesmann, D.; Steemers, K. Solar energy and urban morphology: Scenarios for increasing the renewable energy potential of neighbourhoods in London. *Renew. Energy* **2015**, *73*, 10–17. [CrossRef]
91. Mohammadi, Z.; Musharavati, F.; Ahmadi, P.; Rahimi, S.; Khanmohammadi, S. Advanced exergy investigation of a combined cooling and power system with low-temperature geothermal heat as a prime mover for district cooling applications. *Sustain. Energy Technol. Assess.* **2022**, *51*, 101868. [CrossRef]
92. Chaurasia, R.; Gairola, S.; Pal, Y. Technical, economic feasibility and sensitivity analysis of solar photovoltaic/battery energy storage off-grid integrated renewable energy system. *Energy Storage* **2021**, *4*, e283. [CrossRef]
93. Ryland, M.; He, W. Domestic thermal energy storage applications: What parameters should they focus on? *J. Energy Storage* **2022**, *60*, 106685. [CrossRef]
94. Momeni, M.; Fartaj, A. Numerical thermal performance analysis of a PCM-to-air and liquid heat exchanger implementing latent heat thermal energy storage. *J. Energy Storage* **2023**, *58*, 106363. [CrossRef]
95. Xiong, Y.; Wang, H.; Ren, J.; Nevzat, A.; Xu, Q.; Nie, B.; Li, C.; Ding, Y. Carbide slag recycling to fabricate shape-stable phase change composites for thermal energy storage. *J. Energy Storage* **2023**, *60*, 106694. [CrossRef]
96. Abd Majid, M.A.; Muhammad, M.; Hampo, C.C.; Akmar, A.B. Analysis of a Thermal Energy Storage Tank in a Large District Cooling System: A Case Study. *Processes* **2020**, *8*, 1158. [CrossRef]
97. Pans, M.; Claudio, G.; Eames, P. Modelling of 4th generation district heating systems integrated with different thermal energy storage technologies—Methodology. *Energy Convers. Manag.* **2023**, *276*, 116545. [CrossRef]
98. Yılmaz, M.; Erdoğan, A.K.; Özdemir, M. Experimental study on improving the performance of vapor compression cycle by using loop-type heat pipe. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part E J. Process Mech. Eng.* **2023**, *2023*, 09544089221148328. [CrossRef]
99. Al-Sayyab, A.K.S.; Mota-Babiloni, A.; Navarro-Esbrí, J. Performance evaluation of modified compound organic Rankine-vapour compression cycle with two cooling levels, heating, and power generation. *Appl. Energy* **2023**, *334*, 120651. [CrossRef]
100. Zheng, N.; Zhang, H.; Duan, L.; Wang, Q.; Bischi, A.; Desideri, U. Techno-economic analysis of a novel solar-driven PEMEC-SOFC-based multi-generation system coupled parabolic trough photovoltaic thermal collector and thermal energy storage. *Appl. Energy* **2022**, *331*, 120400. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

101. Lu, S.; Su, N.; Li, Y.; Liu, Y.; Wang, R. Suitability evaluation of cold sources in green buildings based on a field study. *J. Build. Eng.* **2020**, *32*, 101795. [CrossRef]
102. Kadier, A.; Simayi, Y.; Logrono, W.; Kalil, M.S. The significance of key operational variables to the enhancement of hydrogen production in a single-chamber microbial electrolysis cell (MEC). *Iran. J. Hydrog. Fuel Cell* **2015**, *2*, 85–97. [CrossRef]
103. Gang, W.; Augenbroe, G.; Wang, S.; Fan, C.; Xiao, F. An uncertainty-based design optimization method for district cooling systems. *Energy* **2016**, *102*, 516–527. [CrossRef]
104. Ondeck, A.D.; Edgar, T.F.; Baldea, M. Optimal operation of a residential district-level combined photovoltaic/natural gas power and cooling system. *Appl. Energy* **2015**, *156*, 593–606. [CrossRef]
105. Erdem, H.H.; Akkaya, A.V.; Dagdas, A.; Sevilgen, S.H.; Cetin, B.; Sahin, B.; Teke, I.; Gungor, C.; Atas, S.; Basak, M.Z. Renovating thermal power plant to trigeneration system for district heating/cooling: Evaluation of performance variation. *Appl. Therm. Eng.* **2015**, *86*, 35–42. [CrossRef]
106. Ravelli, S.; Franchini, G.; Perdichizzi, A. Comparison of different CSP technologies for combined power and cooling production. *Renew. Energy* **2018**, *121*, 712–721. [CrossRef]
107. Gao, J.; Kang, J.; Zhang, C.; Gang, W. Energy performance and operation characteristics of distributed energy systems with district cooling systems in subtropical areas under different control strategies. *Energy* **2018**, *153*, 849–860. [CrossRef]
108. Karlsson, V.; Nilsson, L. Co-production of pyrolysis oil and district cooling in biomass-based CHP plants: Utilizing sequential vapour condensation heat as driving force in an absorption cooling machine. *Appl. Therm. Eng.* **2015**, *79*, 9–16. [CrossRef]
109. Perdichizzi, A.; Barigozzi, G.; Franchini, G.; Ravelli, S. Peak shaving strategy through a solar combined cooling and power system in remote hot climate areas. *Appl. Energy* **2015**, *143*, 154–163. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

energies

MDPI

Review

A Systematic Review of Carbon Capture, Utilization and Storage: Status, Progress and Challenges

Enbin Liu [1,*], Xudong Lu [1] and Daocheng Wang [2]

[1] Petroleum Engineering School, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China
[2] New Energy Business Department, PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Chengdu 646002, China
* Correspondence: sunriselebpsb@163.com; Tel.: +86-139-8206-9645

Abstract: The problem of global warming and climate change has attracted global attention, and reducing the concentration of CO_2 in the atmosphere is an important step towards solving the problem. This paper mainly introduces the current development status, research hotspots, challenges and some emerging technologies of carbon capture, utilization and storage (CCUS). Among CO_2 capture technologies, solvent absorption technology is currently the most mature and widely used technology, among which ionic liquid technology has great application prospects because its molecular structure can be designed and different functional groups can be connected. The surface functionalization of metal–organic frameworks in the adsorption method endows them with excellent CO_2 adsorption capacity. In CO_2 transportation, temperature and pressure must be considered in pipeline transportation, because they will affect the phase state of CO_2 transportation. The impact of impurities on CO_2 pipeline transportation is a challenge that affects pipeline design and transportation safety. In CO_2 utilization, the key to enhanced oil recovery, gas recovery and displacement of coalbed methane is to increase the recovery rate and increase the storage capacity at the same time. Only by strengthening the research on the adsorption behavior between CO_2 and CH_4 and revealing the relevant mechanism can innovative technologies be developed. The chemical utilization of CO_2 has formed many routes, but they all lack certain advantages. Most scholars are working on catalysts for CO_2 conversion, especially copper-based catalysts that can convert CO_2 into methanol. The conversion rate of CO_2 can be effectively increased through doping or process improvement. The coupling of electrocatalytic technology and renewable energy is an important development direction in the future. In CO_2 storage, geological storage is currently the most important method, especially in saline aquifers. There are currently critical issues concerning reservoir integrity and leakage potential that should be further investigated. CO_2 leakage will cause serious environmental problems, and the common monitoring methods are reviewed and discussed in this paper. Finally, the research status, hotspots and cooperation networks of CCUS are summarized by using CiteSpace software in order to help the development of CCUS technology. In addition, through the review and analysis, it is found that CCUS is faced with challenges such as low capture efficiency, difficulties in transformation and utilization, high operating costs, lack of strong support policies, and lack of international cooperation, which restrict the further development of CCUS.

Keywords: CCUS; capture; utilization; transport; storage

check for updates

Citation: Liu, E.; Lu, X.; Wang, D. A Systematic Review of Carbon Capture, Utilization and Storage: Status, Progress and Challenges. *Energies* **2023**, *16*, 2865. https://doi.org/10.3390/en16062865

Academic Editor: Attilio Converti

Received: 13 February 2023
Revised: 15 March 2023
Accepted: 17 March 2023
Published: 20 March 2023

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

In the past few decades, due to human activities such as fossil fuel power generation, more and more CO_2 in the atmosphere has been caused, and the greenhouse effect has become more and more obvious. This poses a huge threat to human and global security. At present, the CO_2 concentration in the atmosphere has exceeded 400 ppm, which is about 40% higher than before industrialization, and the surface temperature has increased by about 0.8 °C [1]. However, it is almost impossible to replace conventional power plants with clean energy power generation in the short term. Moreover, the International Energy

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Agency reported that although affected by the COVID-19, global carbon emissions have plummeted. However, it is expected that with the gradual improvement of the epidemic situation in various countries, carbon emissions will rise further, and there is no sign that peak carbon emissions have yet been reached. In this case, to achieve the goal of controlling the temperature rise to 2 °C, we must accelerate the transformation of the energy system. In addition to vigorously developing new energy sources, carbon capture, utilization and storage (CCUS) technology has also attracted the attention of the academic community. This is an emerging technology with the potential to reduce CO_2 emissions on a large scale. It is considered to be the key technology for mitigating climate change and has attracted great attention from governments, industry and academia in recent years. As shown in Figure 1, CCUS technology refers to the selective removal of CO_2 from the air flow of emission sources (power plants, steel plants and cement plants) by using capture systems, and then the CO_2 is transported to the storage site through pipelines for storage or utilization in the plant. CCUS can help better manage CO_2 concentrations.

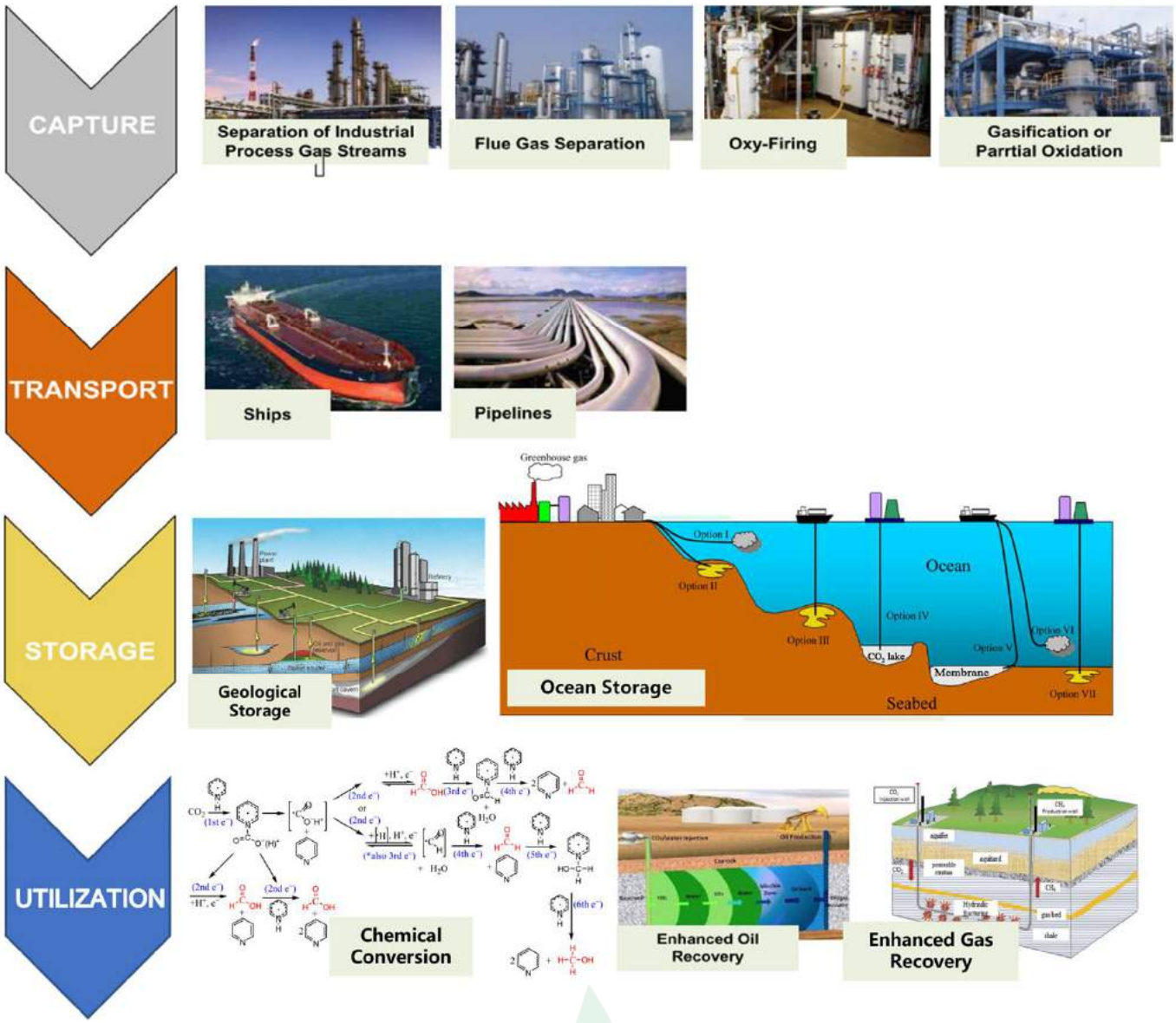


Figure 1. CCUS technology [1–5].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

The development level of CO_2 capture technology is the key to the whole CCUS technology. It mainly uses methods such as solvent absorption, solid adsorption, membrane separation and low-temperature separation to separate CO_2 in the mixed gas from other components. CO_2 transport plays a connecting role in CCUS technology, which connects carbon capture with storage and utilization. It can ensure the safe and economical operation of the CCUS system. Pipeline transportation is the most common mode of transportation. The cost of transporting one ton of CO_2 is 1–10 USD/km. The demand for CO_2 pipeline construction will increase significantly in the future. The utilization of CO_2 has attracted extensive attention. It is currently mainly used for enhanced oil and gas recovery, but people are paying more attention to other utilization methods of CO_2, including chemical industry raw materials, mineralization, biological utilization and the food industry. People have developed a variety of conversion routes and methods to convert CO_2 into chemicals, but most of them are in the pilot stage, mainly because of the high conversion cost and low conversion efficiency. The amount of CO_2 used every year is very small, which is far lower than the emission of CO_2. Moreover, the used CO_2 will be re-released at the end of the product life cycle. But its importance lies in the indirect reduction of CO_2 emissions by avoiding the use of fossil carbon. In the future, if we want to achieve the goal of carbon neutrality, CO_2 storage will still be the main strategy. CO_2 storage can be divided into geological storage and ocean storage. Geological storage is the most common form of storage, especially in saline aquifers. It sequesters CO_2 from the atmosphere, and over time the CO_2 is converted into carbonate minerals for permanent storage.

CCUS technology has achieved remarkable development in recent years. It can ensure large-scale low-carbon utilization of fossil energy. It is a necessary solution for the decarbonization of industries that are having difficulty reducing emissions. There are more than 30 CCUS programs in operation around the world. Among them, North America is dominated by CO_2 flooding. In Europe, ocean storage of CO_2 is the main focus. Most of these commercially operated projects use chemical absorption technology or physical absorption technology to capture CO_2 and use pipeline transportation or ship transportation technology to transport it. At present, relevant research on CCUS is constantly increasing, but most of them are focused on one side, as shown in Table 1, and few articles can systematically and comprehensively review various techniques in CCUS. A detailed review of various technologies in CCUS will help people better understand CCUS technology and help in its development. In addition, CCUS also faces many challenges in each link, which restricts the implementation of CCUS projects. By analyzing the existing problems and challenges of CCUS technology, this paper points out the future development direction of CCUS technology.

Table 1. Summary of CCUS-related literature.

Authors	Content	Year	References
Yao et al.	This paper mainly introduces the latest progress of China's CCUS after 2019 and finds that China's CCUS technology has made significant progress in recent years.	2023	[6]
Hong et al.	This paper summarizes the CCUS system from the technical and economic perspectives, introduces the global CCUS projects, and introduces the progress of various technologies in detail, focusing on the economic comparison of various technologies.	2022	[7]
Liu et al.	The CCUS path in China was studied, mainly introducing the current situation of CCUS, emission reduction demand and potential cost.	2022	[8]
Shiyi et al.	Combed the technological development process and industrialization progress of CCUS-EOR, and analyzed the problems and challenges of CCUS-EOR in China.	2022	
Chen et al.	The risks of CCUS technology in finance, technology, environment, health and safety are introduced.	2022	[9]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 1. *Cont.*

Authors	Content	Year	References
Shen et al.	The low-temperature separation technology is introduced to capture CO_2, and the existing problems are summarized.	2022	[10]
Zhan et al.	Various utilization modes of CO_2 are introduced, the progress of CO_2 utilization projects is discussed, and the key challenges and problems are studied.	2020	[11]

In this review, we followed the following steps: First, we used keywords such as CCUS, CO_2 capture, CO_2 transportation, CO_2 utilization and CO_2 storage to search the Web of Science core database. The search content does not include books and core papers, and the period covered is 2006–2021. Then, by simply reading the abstract, we screened the relevant literature. In this step, we screened 558 pieces of literature. Finally, we further screened the downloaded literature by careful reading and reduced the number to 265 articles. The screening criteria were to see whether they are closely related to the theme of this review. Finally, this paper will examine CCUS technology in detail through four parts: CO_2 capture, CO_2 transport, CO_2 utilization and CO_2 storage based on the 265 articles. This paper mainly introduces the current development status, research hotspots, challenges and some emerging technologies of CCUS technology. At the same time, CiteSpace software is used to measure and analyze these documents and analyze the research status, trends and cooperation.

2. CO_2 Capture

According to the combustion process of fossil fuels and the technical basis of the CO_2 capture system, carbon capture can be simply divided into three processes: post-combustion capture, pre-combustion capture and oxyfuel combustion capture. Post-combustion capture mainly refers to the capture of CO_2 from the waste gas produced by the combustion of fossil fuels or other carbon-containing fuels. It is currently the most widely used carbon capture strategy. Its technology is currently highly mature and has a large number of commercial applications [12]. Compared with pre-combustion capture and oxyfuel combustion capture, it has several advantages, for example, the transformation of CO_2 emission sources is small, it can be quickly applied to existing power plants, and the later maintenance cost is small. It also has a small impact on production activities and high flexibility [13]. Of course, the carbon capture efficiency is low due to the low content of CO_2 in the gas after combustion [14]. At the same time, the separation effect will also be affected because the gas after combustion contains other impurities. In conclusion, post- combustion capture technology needs to develop efficient and ideal adsorption materials, and improve the energy efficiency of post-combustion carbon capture equipment. At present, most research focuses on post-combustion capture strategy [15]. Common capture technologies are shown in Figure 2, which will be described in detail below.

2.1. Solvent Absorption Technology

Solvent absorption technology is the most widely used CO_2 capture technology at present, which is mainly used for post-combustion capture and pre-combustion capture. Due to its good separation effect, low application cost and relatively mature technology, it is the key technology to implement the "Zero Emissions Energy Strategy". In this article, we will divide solvent absorption into the physical absorption method, chemical absorption method and the physical–chemical absorption method according to whether physical and chemical reactions occur in the process of solvent absorption. In addition, since the current research focus has been extended to the use of solvent mixtures, we will also discuss them in this article.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

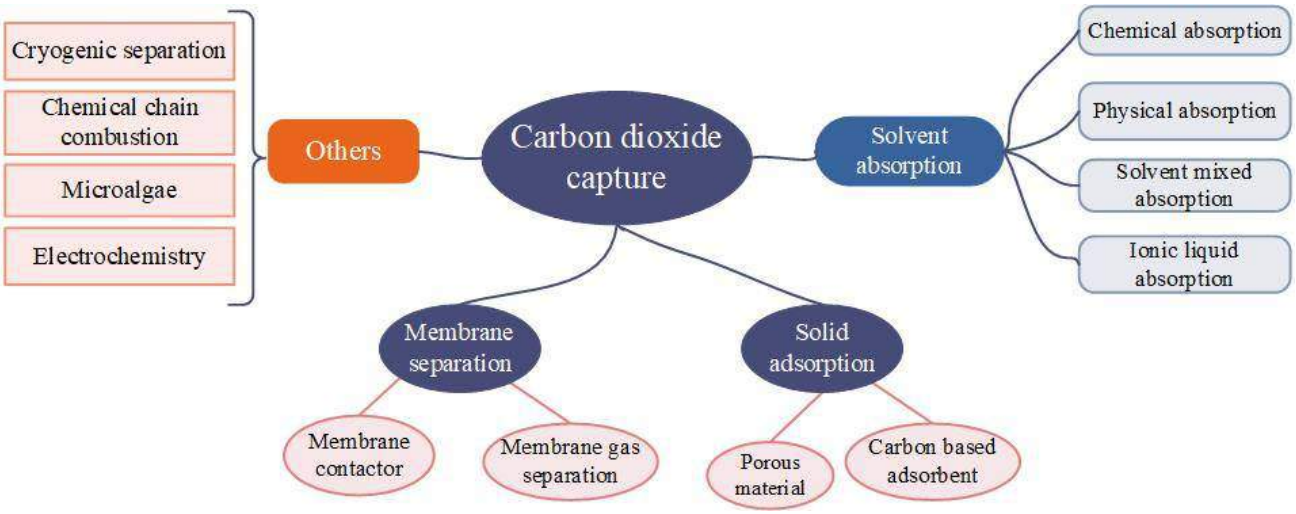


Figure 2. CO_2 capture technology.

2.1.1. Chemical Absorption Technology

Chemical absorption technology mainly uses a liquid solution to absorb CO_2 through a chemical reaction, and the absorbed CO_2 is released for storage or utilization through reverse decomposition. Typical CO_2 chemical absorption technology is shown in Figure 3, which mainly relies on the absorption tower to remove CO_2 in the flue gas, and relies on the stripping tower to desorb and regenerate [16].

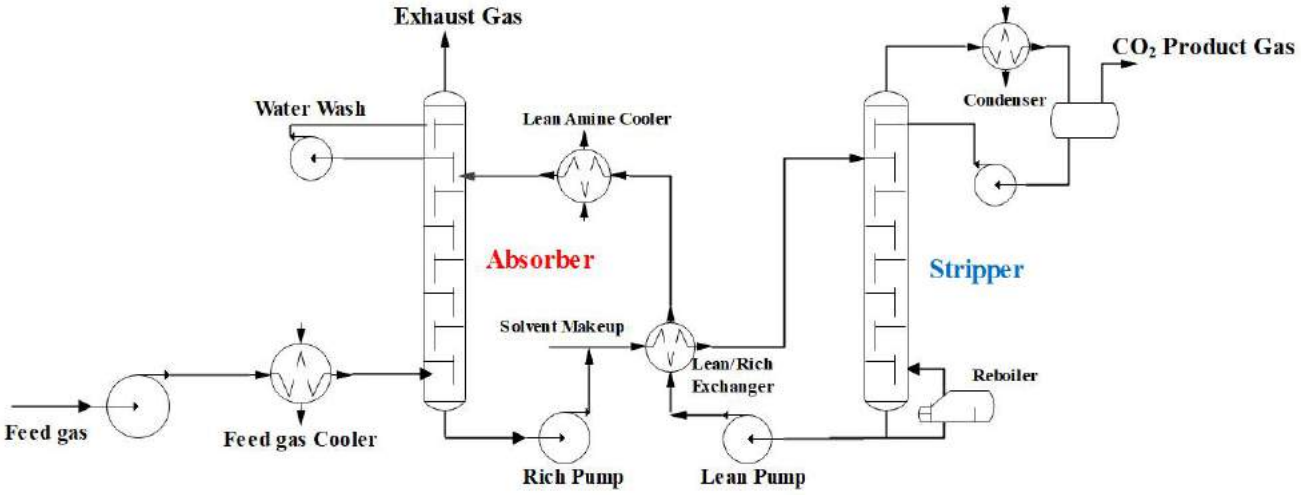


Figure 3. Typical chemical absorption separation CO_2 process [16].

In chemical absorption technology, commonly used solvents mainly include ammonia, potassium carbonate, amino solvent and alkaline solvent [17]. Among them, amino solvents are considered to be the most developed among the currently studied solvents and are widely used in post-combustion carbon capture (PCC). Its disadvantage is that the amine is easily degraded during long-term operation, and its capture property is reduced [18]. It has the advantages of high chemical reactivity with CO_2, low production cost and large-scale stable operation [19]. Ammonia aqueous solution is superior to conventional ammonia solution in CO_2 capture, so it is a good substitute. However, due to its high volatility, it will escape into the airflow, so there are still technical obstacles [16].

Chemical absorption technology has some applications, but there are still some problems to be solved. For example, compared with solid adsorption technology, its energy consumption is high, compared with physical absorption technology, its efficiency is low, the absorbent suffers evaporation loss and oxidative degradation, and the absorbent will

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

cause corrosion to equipment, etc. In practical application, the negative effects of SO_x, NO_x and oxygen on absorbents should also be considered in developing more appropriate models [20]. In order to overcome these shortcomings, many scholars began to study some additives and mixtures (such as piperazine (PZ) and PZ derivatives). Reducing the energy consumption of chemical absorption technology is an important research direction for the future. Energy consumption can be effectively reduced by process improvement (heat integration strategy) or by using solvents with high heat absorption.

2.1.2. Physical Absorption Technology

Physical absorption technology can be applied when CO_2 and liquid solvents do not undergo obvious chemical reactions, and its operation is based on Henry's Law [20]. Physical absorption is suitable for use under high pressure and low temperature so that the solubility of the gas in a liquid solvent will be greater [16]. The physical absorption method has a simple process, high operating pressure, and can capture some other harmful gases, but the recovery rate of CO_2 is low, which is usually applied to situations where the requirements for gas purification are not high.

Physical absorption methods usually include the propylene carbonate method, the polyglycol dimethyl ether method and the low-temperature methanol washing method. Different physical absorption methods have different advantages and disadvantages, see Table 2 for their comparison. Physical solvent has good application in integrated gasification combined cycle (IGCC) power generation facilities, with high capture efficiency and low energy loss [16,21].

Table 2. Comparison of physical absorption methods.

Method	Propylene Carbonate Method	Polyethylene Glycol Dimethyl Ether Method	Low-Temperature Methanol Washing Method
Applicable conditions	3~7 Mpa >25 °C	1.5~14 Mpa 1~25 °C	3~8.1 Mpa −10~−70 °C
Characteristic	the solvent is cheap and non-toxic, suitable for absorbing CO_2 from natural gas and crude hydrogen	the process flow is simple, the operation flexibility is large, the one-time purification degree is high, and the total energy consumption is low	methanol is cheap and easy to obtain, with good selectivity, thermal stability and chemical selectivity, and low operating cost

Chemical absorption technology and physical absorption technology have different advantages and disadvantages. Chemical absorption technology is suitable for absorbing CO_2 at low pressure, and physical absorption technology applies to absorbing CO_2 at high pressure. In chemical absorption technology, due to the chemical reaction between CO_2 and solvent molecules in forming chemical bonds, it is highly selective to CO_2. In physical absorption, although there is a weak interaction between CO_2 and solvent, its regeneration energy is low [22]. Therefore, is there a method that can combine the advantages of these two methods? For this reason, people began to study solvent-mixing technology.

2.1.3. Solvent Mixed Absorption Technology

Single solvent systems have been deeply studied, and many properties of solvents have been defined. At present, the research focus has been on the research and development of solvent mixtures, which can be developed by mixing various solvents and synergistic effects with accelerants. At present, promising solvent mixtures include amine-based blends, NH_3-based blends, K_2CO_3-based blends and deep eutectic solvents. These blends mainly combine the advantages of different solvents. For example, ethanolamine sulfolane water is an amino blend, which combines physical and chemical solvents, and has the advantages of both methods. Alcohol amine is a chemical solvent, which can absorb organic sulfur in the mixed gas and can also dissolve part of H_2S and CO_2. Sulfolane is a physical solvent, which can absorb CO_2 in the mixture. This solvent has a wide application range,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

low CO_2 content in purified gas and low corrosivity [22]. The mixture of MEA + MDEA is a typical synergistic effect. The reaction rate is increased by adding MEA, and the regeneration energy is reduced by adding MDEA.

Deep eutectic solvent is a new green solvent developed to overcome the high price and toxicity of traditional ionic solvents. Usually, two components are mixed according to a certain molar ratio, and the melting point of the eutectic solvent formed is usually lower than that of each component. Deep eutectic solvents have many advantages, such as low price, easy degradation, and little environmental pollution, and are suitable for large-scale preparation [18,23]. The most common deep eutectic solvent is a combination of quaternary ammonium halide and hydrogen bond donor [24,25]. At present, the research and development of deep eutectic solvents are still in the initial state. Although much progress has been made, there is still some distance to go before large-scale commercial use.

2.1.4. Ionic Liquid Absorption Technology

An ionic liquid is a kind of "green solvent", which has the advantages of wide operating pressure, low corrosion, and easy separation of products. The designability of its molecular structure creates opportunities for the design of ionic liquids. By connecting different functional groups, ionic liquids for different purposes can be obtained [26]. The common functional groups include amine, fluorine atom, hydroxyl, etc. The introduction of cation in an amino group is more effective, and ionic liquids with multiple amine sites usually have higher CO_2 absorption capacity than ionic liquids with one primary amine group. Ionic liquids containing hydroxyl groups have good separation performance of CO_2 at low pressure [27]. Xu [28] proved that the addition of super bases during the preparation of ionic liquids can effectively improve their ability to capture CO_2.

Of course, in addition to the influence of functional groups, the length of the alkyl chain and the type of anion will affect the CO_2 absorption capacity and viscosity of the ionic liquid [26,29]. Ionic liquids usually have high viscosity, especially those containing amino groups. This is usually due to the formation of hydrogen bonds in ionic liquids. The viscosity of ionic liquids can be reduced by introducing hydrogen receptors, or by mixing with organic solvents [27,30]. H_2S and CH_4 need to be separated before CO_2 capture because they will reduce the solubility of CO_2 and the selectivity of ionic liquids [31].

Although ionic liquids have great application prospects in CO_2 capture, most of the current applications of ionic liquids are limited to laboratories. Ionic liquids are expensive and the production process is complex, which are the main factor hindering the large-scale application of ionic liquids [32]. In addition, the potential toxicity and non-degradability of ionic liquids also hinder the large-scale application of ionic liquids. Thermodynamic models of CO_2 and ionic liquid systems also present challenges that require further study in the future.

2.2. Solid Adsorption Technology

The solid adsorption technology is mainly realized by the intermolecular attraction between the gas or liquid and the active point on the solid adsorbent. The adsorption of CO_2 by an adsorbent is usually realized by physical adsorption or chemical adsorption [33]. Good adsorbent, regeneration process and adsorption cycle time are required in the adsorption process [34]. This paper will mainly discuss the research progress of solid adsorbents by reviewing: carbon-based adsorbents, porous materials and other adsorbents.

2.2.1. Carbon-Based Adsorbent

Carbon-based sorbents mainly refer to materials composed of carbon atoms, which are simple to prepare and low in cost. They are usually used to capture CO_2 under high pressure because the adsorption capacity of CO_2 usually increases with the increase of pressure. The amount, size and distribution of voids in carbon-based adsorbents play an important role in CO_2 capture. By adding various functional groups on the surface of the carbon-based adsorbent, its carbon capture performance can be optimized [35]. In

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

the carbon matrix, increasing the pH of some parts of the surface will change the charge distribution on the surface and enhance its adsorption capacity [36]. The interaction between carbon-based adsorbents and CO_2 is very weak, so this presents a challenge for the selectivity and capacity of carbon-based adsorbents, especially at high temperatures and low partial pressures. Common carbon-based adsorbents include biochar, activated carbon and graphene-based adsorbents.

Biochar has a high specific surface area, micropore, porosity and various functional groups. Its structure and surface properties determine that it is an excellent CO_2 adsorbent. Biochar is an environmentally friendly and economical material [34,37–40]. Activated carbon is a kind of widely used carbon-based adsorbent. Its adsorption capacity is lower than that of zeolite or molecular sieve, and it will decrease significantly with the increase in temperature [33,41]. Activated carbon raw materials have a wide range of sources, with a wide range of pore size distribution and pore structure, and its manufacturing cost also has huge advantages [42]. Activated carbon produced by biomass containing heteroatoms (Such as O, S, P and N) can better absorb CO_2 [43]. Activated carbon can be divided into physical activated carbon and chemical activated carbon according to the activation mode. Different reaction conditions and activated chemicals will affect the physical and chemical properties of activated carbon, such as specific surface area, surface functional groups, shape, etc. [44–49]. Future research work on activated carbon will focus on improving its adsorption capacity and selectivity at low CO_2 partial pressure and producing adsorbents with adjustable active surface area and pore size. Graphene-based adsorbent is a carbon nano material, because its two-dimensional and hexagonal-filled lattice structure is similar to a honeycomb single carbon layer, and the active functional groups on the surface make it have good physical and chemical properties [50–53]. Graphene has a poor CO_2 adsorption effect, and its adsorption performance can be enhanced through activation, because activation can make graphene produce a three-dimensional structure, giving it a large surface area [54]. At present, the most effective graphene-based adsorbent is PANI/HEG (polyaniline/hydrogen exfoliated graphene), which has good cycle performance [55]. Future research on graphene is mainly aimed at improving its CO_2 adsorption capacity by attaching different functional groups and heteroatoms to its surface.

2.2.2. Porous Material

At present, many porous materials are widely studied for carbon capture. Porous materials have the advantages of high absorption efficiency and large adsorption capacity. The pore diameter, geometric shape and specific surface area of porous materials will affect the CO_2 capture effect. The commonly used porous materials include zeolites, metal–organic frameworks (MOFs) and mesoporous materials.

MOFs are emerging crystalline porous materials, which have the advantages of high pore volume, structural diversity, easily adjustable pore structure and surface functionalization [56,57]. MOFs are widely used in gas storage, drug delivery and heterogeneous catalysis, but their application in the selective adsorption of gas is one of the most active research fields at present [41]. MOFs can be functionalized by different methods to improve their CO_2 adsorption capacity. Common methods include adding polar functional groups, opening metal sites and modifying with Lewis basic sites [41,56,58]. These methods can better exploit the tailorability of MOFs, making them possess excellent CO_2 adsorption capacity. However, the cost of production and utilization of MOFs is too high at present, so it is difficult to use them on a large scale. In addition, the synthesis process of MOFs will cause environmental pollution, which also limits its application. In the future, reducing its synthesis cost and environmental pollution during the synthesis process are the main research directions.

Zeolite is a porous crystalline material composed of aluminosilicates, and most zeolites for CO_2 capture are synthetic. Synthetic zeolite can control its porosity and crystallinity in the process of synthesis, so it has more advantages than natural zeolite in capturing CO_2. The zeolite frame is of a microporous structure, and its pore size can be adjusted, so the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

zeolite for CO_2 adsorption can be customized [59]. When most zeolites encounter water molecules, their CO_2 capture performance will decline. However, the hydrophobicity of zeolites with a higher silicon–aluminum ratio will be enhanced, and the hydrophobicity can also be increased by introducing hydrophobic functional groups [60]. Although synthetic zeolite has good trapping performance, its application is restricted by its high synthetic cost and environmental pollution.

During the past decade, mesoporous materials have become favorable candidates for CO_2 capture materials. Common mesoporous materials include mesoporous silica and mesoporous metal oxides. Silica is one of the most abundant substances in the world. Mesoporous silica is usually prepared by the Stöber method, and its pore diameter and specific surface area can be easily adjusted [59]. Mesoporous silica is a CO_2 adsorbent suitable for amine loading. The rich hydroxyl groups on the surface of silica are conducive to amine functionalization and improve its CO_2 adsorption capacity [61]. Common mesoporous metal oxides include TiO_2, MgO, alumina and cerium oxide [62–64] in which mesoporous ceria has the largest CO_2 adsorption capacity. TiO_2 can also quickly absorb CO_2.

2.3. Membrane Separation Technology

Membrane separation technology can generally be divided into gas separation membrane and gas absorption membrane. The working principles of the two membranes are shown in Figure 4. The gas separation membrane (Figure 4a) is mainly used to separate gas by permeating one or more gases from one side of the membrane to the other side through the selectivity of the membrane. The driving force is the pressure difference of the gas to be separated on both sides of the membrane. The gas absorption membrane (Figure 4b) is mainly used to selectively absorb gas through a chemical absorption solution, and the membrane only serves to isolate gas and absorption solution.

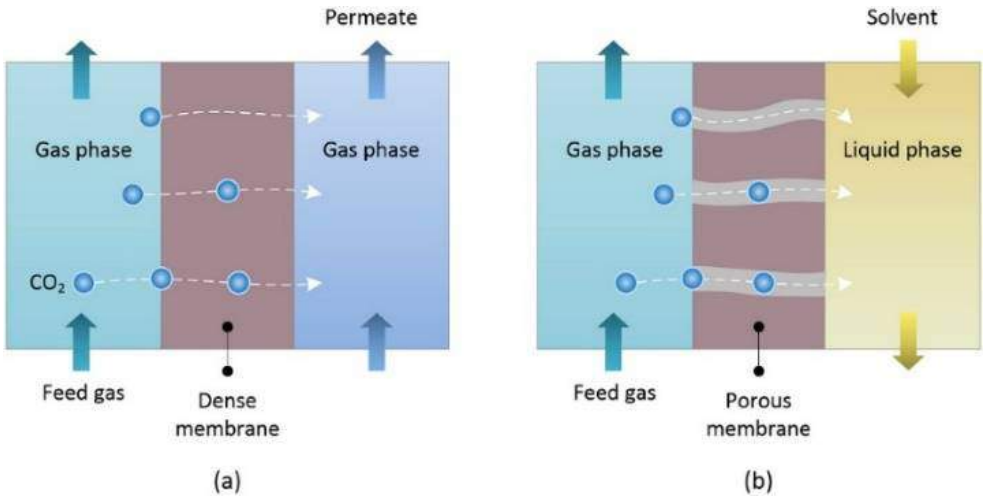


Figure 4. Schematic of (**a**) membrane gas separation (MGS) and (**b**) membrane contactor (MC) for CO_2 removal. Reproduced with permission from [65], Elsevier, 2019.

Gas separation membranes can be divided into three categories: inorganic membranes, organic polymer membranes and mixed matrix membranes. The relationship between the selectivity and permeability of most polymer membranes is shown in Figure 5. The permeability of polymer membranes with high selectivity is generally poor. In order to solve this problem, people began to study mixed matrix membranes. Norahim et al. [66] discussed the influence of different fillers on composite membranes. For example, mixing carbon nanofibers with polysulfone can improve its selectivity and permeability. The dendriform mixed matrix membrane is composed of polyether block amide (PEBA), polyethylene glycol (PEG) and nano-X zeolite, its CO_2 permeability and selectivity increase with the increase of feed pressure and PEG loading [67]. Some studies have shown that the addition of MOF can improve the performance of mixed matrix membranes in CO_2/CH_4 separation,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

but there are still challenges in its preparation, such as poor compatibility and defects in the membrane matrix [68]. In the future, the commercialization of membrane separation technology can be accelerated by strengthening the research on mixed matrix membranes.

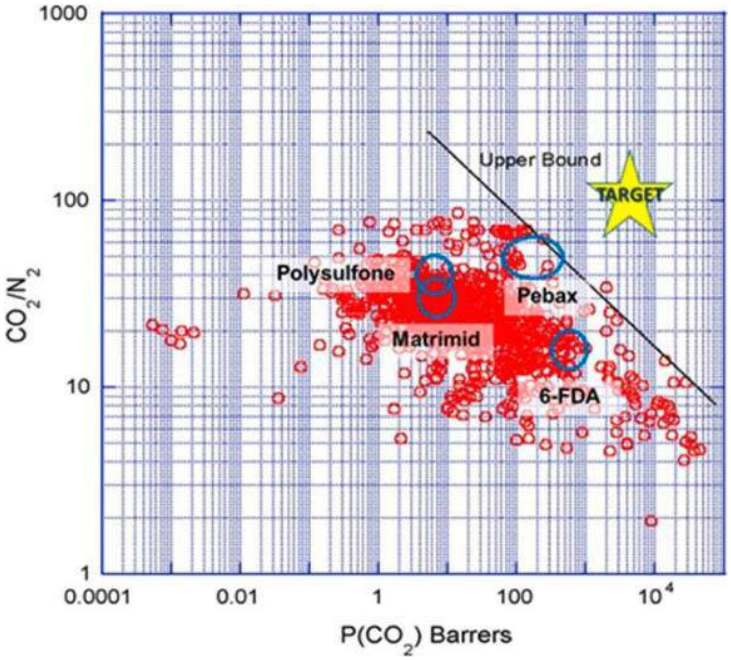


Figure 5. Correlation between polymer selectivity and permeability. Reproduced with permission from [66], John Wiley and Sons, 2018.

The gas absorption membrane mainly relies on the selectivity of the absorption liquid to achieve the purpose of separating and absorbing CO_2. Under ideal conditions, the gas absorption membrane operates in a non-wetting mode, so there should be only a gas phase in the membrane pore. In order to ensure that the liquid phase will not penetrate the membrane pores, microporous membranes made of highly hydrophobic polymers are usually used [65,69–71]. Improving the hydrophobicity of the membrane is the key to solving the problem of membrane wetting. The direct use of highly hydrophobic materials will increase the cost. Usually, a thin layer of such materials is coated on the cheaper membrane to reduce the cost. Another method is to improve the hydrophobicity of the membrane by changing the surface roughness and surface tension energy [72]. In addition to studying membrane materials, an in-depth understanding of wetting mechanisms related to membrane performance and operating conditions should also be gained.

Membrane separation technology can also be divided into promoted membranes and non-promoted membranes. The action mechanism of a non-promoted membrane mainly depends on the "solution diffusion" transport process. In addition to the "solution diffusion characteristics", the transport promotion membrane also includes an active transport mechanism to improve the permeability and selectivity of membrane materials. Supported liquid membranes (SLMs) are the first kind of transport-promoting membranes developed. They are non-dispersive liquid membranes, which mainly fill the pores of porous materials with liquid through capillary force as a selective material. It is generally divided into two types: mobile carrier and fixed carrier [73]. When ionic liquids are used to fill the pores, ionic liquids are mobile carriers, usually called SILMs. The interaction between ionic liquids and carriers will affect the distribution and separation performance of ionic liquids on carrier pores. For example, SILMs with hydrophobic carriers are more stable than SILMs with hydrophilic carriers [74,75]. Ahmad et al [70]. found that the higher the content of the ionic liquid in the membrane, the lower its selectivity. When using nano porous or porous oxide as the base membrane, the selectivity and permeability of ionic liquids can be enhanced [76]. The fixed-position carrier membrane uses the inherent

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

chemical reaction with the fixed position to "jump" CO_2 from one fixed carrier to the next through the membrane during CO_2 capture. The research and development of promoted membranes are helping to improve permeability and selectivity [77].

2.4. Other Technologies

2.4.1. Low-Temperature Separation Technology

Low-temperature separation technology is a green method, which uses the difference of relative volatility of each component in raw materials to separate each component by distillation [78]. Sreenivasulu et al. [79] compared several low-temperature separation methods and found that condensation rotary separation is the only feasible option, with less energy loss and higher CO_2 separation yield. Belaissaoui et al. [80] studied the mixed membrane low-temperature process for CO_2 capture after combustion. The results showed that when the imported CO_2 concentration was 30%, compared with the single low-temperature method, the mixed process could effectively improve energy efficiency. Xu et al. [81] studied a cryogenic capture system to capture CO_2 in the flue gas of an LNG power generation system. This system can make full use of the cold energy of LNG during gasification. The results show that if the flue gas temperature can be reduced to below −140 °C, the CO_2 recovery rate can reach 90%. Song et al. [82] summarized the existing low-temperature CO_2 capture technology and concluded that low-temperature separation technology is more competitive only when low-cost cold energy is available. Low-temperature separation technology is only suitable for high-concentration CO_2 flow (above 90%), not for dilute CO_2 flow. In the future, we should optimize the operation parameters and process of the low-temperature capture system and make full use of the cold energy of the remaining gas after capture [10].

2.4.2. Microalgae

Among photosynthetic organisms, microalgae capture CO_2 through its photosynthesis, which is a potential and promising candidate organism for carbon capture. The photosynthetic rate of microalgae is higher than that of terrestrial plants. Its cell structure is simple, its growth rate is fast, and its environmental adaptability is strong. Therefore, CO_2 biological fixation through microalgae is more effective than that of terrestrial plants. Meanwhile, algae have a carbon-enrichment mechanism that inhibits photorespiration [82,83]. Song et al. [84] summarized the existing absorption-microalgae composite CO_2 capture technology and concluded that the absorption microalgae composite CO_2 capture technology can overcome the shortcomings of traditional absorption and microalgae fixation, that is, the absorption technology has high energy consumption for regeneration and low CO_2 solubility in microalgae solution. It is very promising to use microalgae to directly capture CO_2 in the flue gas generated by fossil fuel power plants or steel plants. Thomas et al. [85] discussed four strategies for biological mitigation of CO_2 in flue gas, and they concluded that it is the most economical to supply flue gas directly to the microalgae photobioreactor, but it is necessary to select appropriate microalgae species to withstand the composition and high temperature of flue gas. It is also found that directly injecting flue gas into the pond containing microalgae can increase biomass productivity by 30%, which may be due to the presence of supplementary nutrients in the flue gas, resulting in the fertilizer effect [86]. Of course, CO_2 capture by microalgae also has disadvantages. It requires specific geological and geomorphic structures, expensive separation equipment, uncertainty and long-term leakage risk. Therefore, in order to apply the microalgae capture technology on a large scale, it will be necessary to develop carbon source treatment technologies with different chemical forms and distribution characteristics, improve the utilization rate of industrial waste gas and optimize the cultivation process [87].

2.4.3. Chemical Looping Combustion Technology

The basic principle of chemical looping combustion technology (CLC) is to decompose the traditional combustion of direct contact reaction between fuel and air into two gas-solid

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

reactions with the help of an oxygen carrier. The fuel and air do not need to contact, and the oxygen in the air is transferred to the fuel by the oxygen carrier. The oxygen carrier is periodically oxidized and reduced with air and fuel. CLC technology is considered the most cost-effective CO_2 capture technology with the least energy loss. Its flow chart is shown in Figure 6. Oxygen carriers are usually transition metal oxides, because they are easy to reduce and reoxidize, and are suitable for recycling between two reactors [88,89]. Sajen et al. [90] studied the mixture of transition metal oxides (Such as CuO) and manganese oxides in CLC and found that the mixed oxides showed good activity for the oxidation of syngas fuel. Adanez et al. [91] compared the carbon capture efficiency of in situ gasification chemical chain combustion process (iG–CLC) and oxygen uncoupling chemical chain process (CLOU) under different reactor temperatures and different coals. The results show that the carbon capture efficiency and combustion efficiency of CLOU are better than those of iG–CLC. Hu et al. [92] compared various commonly used oxygen carriers and concluded that calcium oxide is an ideal CO_2 carrier material with low cost, non-toxic and renewable. Among many chemical chain combustion reactors, a fluidized bed reactor is considered to be the best choice for large-scale application of chemical chain combustion technology. The fluidized bed reactor provides high solid circulation, which makes the fuel fully contact with the oxygen carrier in the fuel reactor, providing sufficient oxidation and reduction time for the oxygen carrier [93].

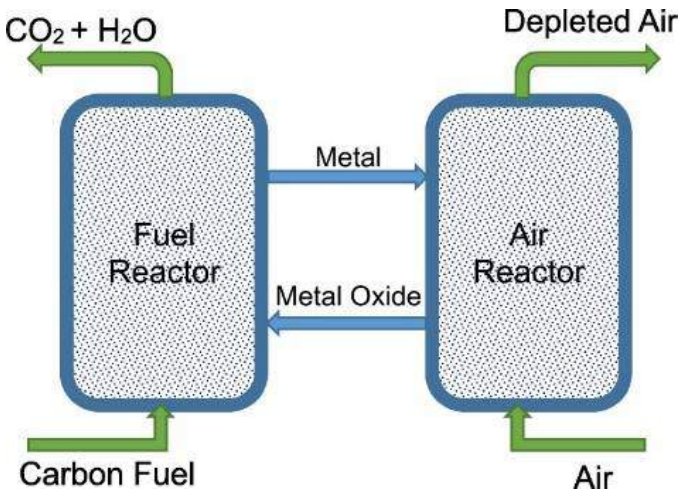


Figure 6. Schematic diagram of chemical looping combustion. Reproduced with permission from [93], Elsevier, 2021.

2.4.4. Electrochemical Technology

Electrochemical technology mainly uses an electrochemical reaction to selectively separate CO_2 from the mixture, absorb and release CO_2 through electrolyte solution, and regenerate electrolytes with an ionic conductive membrane. This method can capture CO_2 at atmospheric concentration levels, low pressure and low temperature, with low energy demand. Most electrochemical methods capture and recover CO_2 by moving the pH value of the working solution between acidic and alkaline pH values [94]. Muroyama et al. [95] reviewed the research progress of electrochemical separation of CO_2 and found that electrodialysis using liquid electrolytes to capture solution is the most intensively studied electrochemical method at present.

Fuel cells and their hybrid system are one of the effective technologies to reduce CO_2 emissions, which have the advantages of being clean and efficient. A high-temperature fuel cell is an electrochemical device, which is usually composed of an electrolyte, anode and cathode. Common high-temperature fuel cells mainly include solid oxide fuel cells, molten carbonate fuel cells and direct carbon fuel cells. Wang et al. [96] compared and introduced these three fuel cells and their application prospects in carbon capture in detail. Although there are still many challenges in the application of high-temperature fuel cells

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

(such as the need to scale up fuel cell modules, and the high cost and safety of fuel cells), high-temperature fuel cells are still an excellent strategy for CO_2 emission reduction in power plants.

Zhang et al. [97] gave an overview of a new high-temperature electrochemical CO_2 transfer membrane. They compared several membranes made of different materials and evaluated some CO_2 capture reactors based on these membranes. At the same time, the concept of electrochemical CO_2 capture and conversion film was successfully demonstrated on a laboratory scale. Bae et al. [98] modified a seawater battery system for desalination and carbon capture. As shown in Figure 7, the system is mainly composed of three compartments: desalination, sodium collection, and carbon capture. The compartments are separated by sodium ion superconducting ceramic membranes. By charging and discharging the system, sodium ions are transferred from the desalination compartment to the carbon capture compartment, and hydroxide (OH^-) ions are formed in the carbon capture compartment at the same time, and the hydroxide (OH^-) ions and Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} React with CO_2 introduced in the atmosphere to form metal carbonate, to achieve the purpose of capturing CO_2. The biggest shortcoming of this system at present is that the reaction of chlorine analysis is relatively difficult, and silver foil is temporarily used as a collecting electrode.

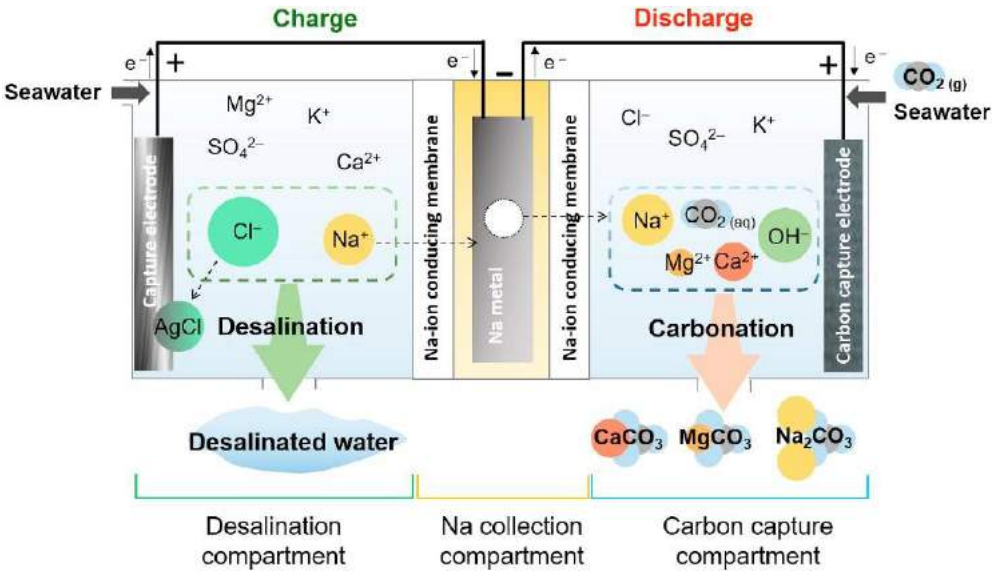


Figure 7. Schematic representation of the hybrid desalination–carbon capture system (SD–CC system). Reproduced with permission from [98], Elsevier, 2019.

3. CO_2 Transport

After the CO_2 is separated from the flue gas, it must be transported to a storage site for storage or a factory for processing and utilization. Regardless of the ultimate fate of CO_2, a safe, reliable and economically viable CO_2 transportation system is a key link in the realization of CCUS technology. At present, the main transportation methods of CO_2 are tanker transportation, pipeline transportation and ship transportation. Different shipping methods are suitable for different shipping situations. Example: A power plant with a design life of more than 23 years that produces CO_2 suitable for pipeline transportation. For some short cycles CO_2 transportation, tanker transportation and ship transportation are more competitive [1]. The amount of CO_2 and the distance between the way of CO_2 capture and the storage location are critical to the choice of CO_2 transport mode. In this section of the review, we will focus on pipeline transportation and ship transportation.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

3.1. Pipeline Transportation Technology

Pipeline transportation is the most economical way to transport large quantities of CO_2. At present, the length of global CO_2 pipelines exceeds 8000 km, and most of these pipelines are located in the United States. However, this length is far from meeting the demand for CO_2 pipeline transportation under the carbon-neutral target, and a large number of CO_2 pipelines need to be built in the future. This section summarizes the research on CO_2 pipeline transportation from three aspects: transportation status and process, pipeline design and flow assurance, and transportation safety and risk [99,100].

3.1.1. Conveying Status and Process

CO_2 has low critical temperature and pressure and is prone to phase changes. Its transport forms include gas transport, liquid transport, dense phase transport and supercritical transport. When multi-phase flows in the pipeline, CO_2 is easy to change phase and causes pipe cavitation, so CO_2 is usually transported in single-phase. Similar to oil and gas pipelines, CO_2 also needs to be supplied with pressure through a compressor or pump to meet the purpose of transmission. Through practice, it is found that gas transportation and liquid transportation are more suitable for short-distance pipelines, and dense phase transportation and supercritical transportation are more suitable for long-distance pipelines. Among them, supercritical transportation and dense phase transportation are more economical [101]. Figure 8 shows the process flow diagram of these four conveying modes.

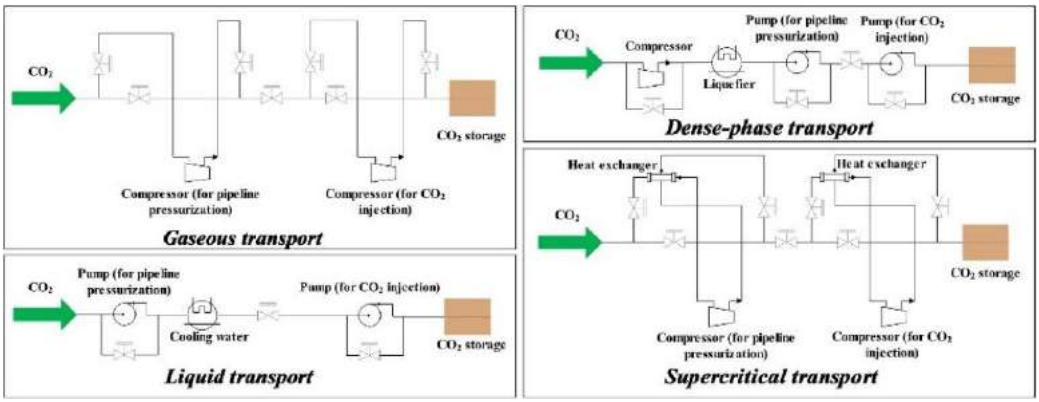


Figure 8. Four process flow charts applicable to large-scale CO_2 pipeline transportation. Reproduced with permission from [101], Elsevier, 2020.

Some scholars and institutions have conducted some research on CO_2 pipeline transportation [102]. Zhang et al. [103] found that the low critical temperature (31.1 °C) of CO_2 is an important feature, and the control system temperature and pressure directly determine the process design and pressure loss of the system. Under favorable climatic conditions, CO_2 transport in the supercooled liquid state can significantly save energy. At the same time, they also found that CO_2 has the largest safe transport distance. Lu et al. [104] determined the flow transmission range of different pipe diameters according to the phase change during the transportation of liquid CO_2. Drescher et al. verified the ability of the Schlumberger flow assurance tool OLGA and SINTEF Energy Research's in-house CFD tool to simulate the decompression behavior of a CO_2 pipeline. Their simulation results are consistent with the experiment. However, OLGA and SINTEF deviate from the experimental results in terms of simulated temperature [105].

3.1.2. Pipeline Design and Flow Assurance

The efficient transmission of CO_2 from source to sink requires the adequate design of the CO_2 transportation pipelines. The length of the pipeline should be minimized when designing the pipeline. Longer pipelines also require larger diameters, which will increase the construction and operation costs of the pipeline. The pipe diameter should not be too

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

small. The pipe diameter determines the transmission capacity. Too small a diameter will cause too high a CO_2 flow rate, increasing pressure loss and corrosion of the pipe wall [106]. Therefore, the most reasonable pipe diameter is the minimum pipe diameter to meet the CO_2 transmission requirements [107]. Mohammadi et al. [108] proposed a cost optimization framework for a CO_2 transportation system and concluded that pipe diameter and horizontal angle are important parameters for pipe design. When designing the CO_2 pipeline, the wall thickness of the pipeline should also be considered. Different transportation modes will also affect the wall thickness design of the pipeline. Teh et al. [109] found that under the same conditions in other cases, the wall thickness required for CO_2 liquid transportation is less than that required for CO_2 supercritical transportation. When the captured CO_2 is stored, differences in potential reservoir capacity and injection capacity may significantly change the economy and design of the CO_2 transport system. Wang et al. [110] proposed a decision tree-based method by analyzing some cases, which can quickly and accurately estimate the best reservoir selection and pipeline design without any optimization.

Temperature and pressure are the key factors to control CO_2 pipeline transportation. Changes in temperature and pressure will change the phase state of CO_2 and affect the normal operation of the pipeline [111]. In recent years, many scholars began to study it. Lu et al. [101] found that under the same operating conditions, the pressure drop of a CO_2 pipeline is lower than that of natural gas pipeline, but its temperature drop is larger, so hydrates are more likely to be generated in a CO_2 pipeline. The existence of impurities will affect the thermophysical properties of CO_2, thus affecting the pipeline transportation of CO_2 [112]. Lee et al. [113] studied the in-tube heat transfer coefficient and compressor power consumption with impurity CO_2. It was found that both the heat transfer coefficient and the compressor power consumption followed the trend of pure CO_2, but were influenced by the type and amount of impurities. Baik et al. [114] studied the pressure drop of CO_2 + CH_4 in the pipe under seawater conditions. With the decrease of CO_2 mole fraction, the average pressure drop in the pipe increases, and the pressure drop of CO_2 + CH_4 increases with the increase of mass flow rate. Teh et al. [109] studied the difference between the transportation of liquid CO_2 and supercritical CO_2 at ambient temperature. The authors believe that as long as the liquid CO_2 pipeline is buried deep enough in the soil with poor thermal conductivity, it does not need to keep the trunk line warm, and the same amount of CO_2 is transported at the same distance. Liquid CO_2 is superior to supercritical CO_2.

3.1.3. Transportation Safety and Risk

At present, most of the existing CO_2 pipelines are located in less densely populated areas, but in the near future, CO_2 pipelines may span densely populated areas. As CO_2 is toxic at a certain concentration, the harm of CO_2 at different concentrations to the human body is shown in Figure 9 [115]. At present, the safety and risk research of CO_2 pipelines mainly includes three aspects: the impact of impurities on CO_2 pipeline transportation, the corrosion of CO_2 pipeline and the accidental leakage of CO_2 pipeline [116].

In the process of carbon capture, due to the different sources and capture methods of CO_2, there are often different types of impurities in the pipeline CO_2 fluid. The allowable limit of impurities in CO_2 depends on the geological conditions of the storage formation or the use specifications [117,118]. The content of impurities is usually very low, but the existence of a small number of impurities will also have an adverse effect on the safe operation of the pipeline [119,120]. Zhao et al. [120] believed that the equation of state is very important for calculating the heat transfer and pressure drop of a CO_2 pipeline. The PR equation of state applies to pure CO_2. For CO_2 mixtures containing impurities, the mixture parameters of the PR equation of state must be determined first. The authors also found that the effect of CH_4, H_2, NO_2 and other impurities on phase equilibrium is different. Peletiri et al. [118] studied the influence of impurities on the flow of CO_2 in the pipeline. The authors found that nitrogen had the greatest influence on the pressure, temperature and other physical parameters of CO_2 in the pipeline, while H_2S had the least

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

influence on CO_2. Wetenhall et al. [121] found that adding NO_2 and SO_2 would reduce the diameter of the pipe in question, and the higher the content of impurities, the smaller the pipe diameter required.

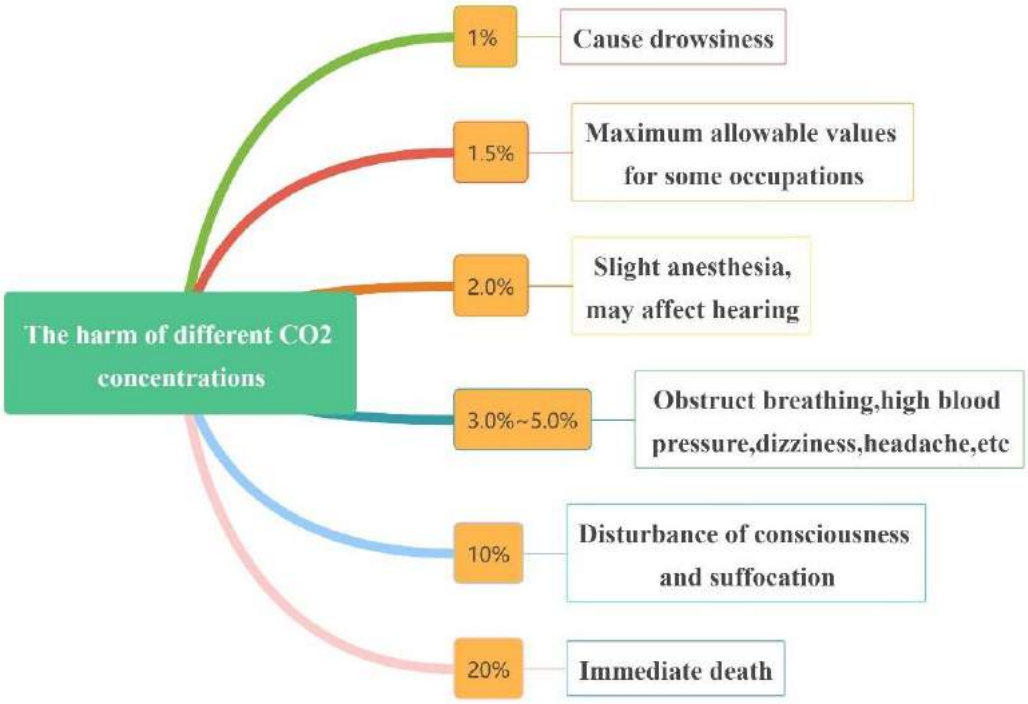


Figure 9. Hazards of different CO_2 concentrations to human health. Reproduced with permission from [101], Elsevier, 2020.

Supercritical CO_2 pipeline is prone to corrosion risk, which affects the safe operation of pipeline [122]. Cui et al. [123] found that water content is the key factor affecting corrosion, and controlling the water content below the critical water content is the most economical and effective method to reduce corrosion. At the same time, the authors also found that among the impurities contained in CO_2, NO_2 had the most serious corrosion effect on CO_2 pipelines. When multiple gas impurities exist at the same time, there will be a synergistic effect, which will have a more serious impact on corrosion. Tang et al. [122] summarized the metal corrosion problems under the combination of various impurities and studied the corrosion mechanism of synergistic effect and the formation mechanism of corrosion products. Sim et al. [124] found that the corrosion mass loss increased with the increase in water concentration, especially when the water concentration was greater than 1000 ppmw.

Pipeline leakage is also a potential risk during pipeline transportation. CO_2 pipeline leakage may cause damage to the surrounding environment, which mainly depends on the total amount of CO_2 released and the concentration reached near the leakage [125]. Herzog et al. [126] simulated the leakage and release process of an onshore high-pressure CO_2 pipeline with CFD. Under the specific conditions for which it is set, the extent of the plume increases with increasing temperature. The height of the plume increases with time and depends on the release pressure and the size of the leak. Within a certain range, the size of the leak hole has a much greater effect on the plume height than the release pressure. Joshi et al. [127] found that after the leakage of the CO_2 pipeline, all solid formations were in the expansion zone, and there were no solid formations in the pipeline. This also avoids the possibility of crack propagation caused by solid polymer in the pipeline. At the same time, the authors also found that 55% of the excessive dense gas concentration was observed near the obstacle compared with the concentration on the flat terrain. Xie et al. [128] found through experiments that supercritical CO_2 showed a highly under-expanded jet structure during the leakage process, and with the increase of the leakage size, the typical structure

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

disappeared. In the process of leakage, the mass loss of supercritical CO_2 is greater than that of gaseous CO_2.

3.2. Ship Transportation Technology

The CO_2 ship transport technology mainly refers to the transport of captured CO_2 to the designated place through a CO_2 carrier. Currently, only four CO_2 carriers are put into operation in the world, mainly for the food service industry. The research on ship transportation technology mainly focuses on its economy. Jung et al. [129] found that the cost of CO_2 transportation by pipeline system in Korean offshore CCS projects is lower. However, with the development of CO_2 carriers, the cost may be lower than that of pipeline transportation. When the distance of CO_2 ocean transportation exceeds 350 km, the cost of ship transportation is lower than that of pipeline transportation [130]. Roussanaly et al. [131] analyzed the transportation costs of CO_2 carriers with pressures of 7 Barg and 15 Barg respectively. The authors found that for all the transportation distance and annual transportation volume combinations considered, 7 Barg transportation has more price advantages.

In a word, CO_2 transport is an important link between carbon capture and storage. Pipeline transport technology and ship transport technology apply to large-scale CO_2 transport. The comparison between these two technologies is shown in Table 3. Although the development of CO_2 transport technology is relatively mature, however, it is still necessary to continue to improve and study the impact of impurities on CO_2 pipelines and the analysis of CO_2 leakage consequences.

Table 3. Carbon Dioxide transportation alternatives [132].

Transporation Method	Conditions	Phase	Capacity	REMARKS
Pipelines	4.8–20 Mpa 283–307 K	gas, liquid, supercritical, dense phase	~150 Mt CO_2/year 8000 km of pipeline transport in operation	• higher capital costs, lower operating costs • low-pressure system is 20% more expensive than dense phase transmission • well-established for EOR USE.
Ships	0.65–4.5 Mpa 221–283 K	liquid	>70 Mt CO_2/year	• higher operating costs, lower capital costs • currently applied in the food and brewery industry for smaller quantities and different conditions

4. CO_2 Utilization

In recent years, the utilization of CO_2 has received more and more attention. The best way to remove CO_2 is to use CO_2 to make valuable products. At present, the global annual CO_2 emissions exceed 32 billion tons, but the CO_2 utilization is less than 200 million tons. From this point of view, the utilization of CO_2 is unlikely to significantly reduce the content of CO_2 in the atmosphere, but people pay more attention to the economic or environmental benefits of the process. Therefore, the utilization of CO_2 is considered a stepping stone for the large-scale implementation of CCUS technology [133–135].

CO_2 can be used in a variety of ways, including technical, biological or chemical. CO_2 can be directly used in energy production to help improve oil recovery, directly used as raw material for chemicals, and directly used as raw material for bioenergy production. CO_2 can also be directly used in the food processing industry. These uses are discussed below [136,137].

4.1. Strengthen Energy Production Technology

Energy such as fossil fuels is the material basis for the survival and development of human society. The traditional fossil fuel recovery technology and recovery efficiency are limited, and the work efficiency is not high. The use of CO_2 in the recovery of fossil fuels can not only effectively improve the recovery rate, but also play a role in CO_2 storage. As shown in Figure 10, CO_2 can be used to exploit oil, natural gas and coal bed methane.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

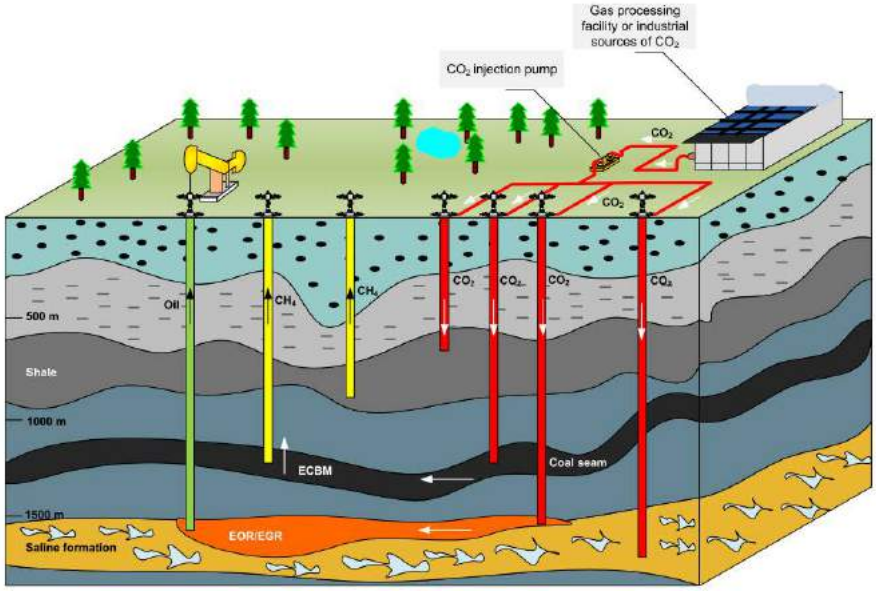


Figure 10. CO_2 enhances energy production [138].

4.1.1. Enhanced Oil Production Technology

It is more and more important for the petroleum industry to enhance the oil recovery (EOR) process. CO_2-enhanced oil recovery technology refers to a technology that uses CO_2 as the oil-displacement medium to improve oil recovery. This technology has been applied for decades. The United States is an early country in the world to study and apply CO_2 flooding technology. Stewart et al. [139] found that in the North Sea oilfield, CO_2 flooding can maximize the production of mature oilfields, and CO_2 flooding can be used to produce low-carbon oil. More than 90% of reservoirs in the world are suitable for CO_2_EOR [135]. In the process of CO_2_EOR, the most important is the mixed phase of CO_2 and crude oil [140]. CO_2 flooding technology mainly includes miscible flooding and immiscible flooding. At present, immiscible flooding technology is rarely used, and the most ideal technology is miscible flooding. Miscible flooding can achieve the highest oil recovery during CO_2 flooding. The minimum miscibility pressure (MMP) is very important for the miscible flooding of CO_2. The lower miscibility pressure is beneficial to the economic operation of CO_2 flooding projects.

CO_2 flooding has become one of the most commonly used EOR methods. Many scholars have begun to study the influencing factors of CO_2 flooding and how to improve the recovery factor of CO_2 flooding. Cao et al. [141] found that in the process of CO_2 immiscible flooding, the oil recovery rate increases with the increase of pressure. When the pressure exceeds the minimum miscible pressure, the oil recovery rate slightly increases and finally stabilizes near a maximum value. The wettability of the reservoir will also affect the recovery factor of CO_2 flooding, and the recovery factor of oil–wet cores is higher than that of water–wet cores [142]. Hamidi et al. [143] studied the effect of ultrasonic-assisted CO_2 flooding on oil recovery. Under an appropriate injection rate, ultrasonic-assisted CO_2 flooding can improve oil recovery. In addition to research on enhanced oil recovery, monitoring downhole and blowdown emissions from CO_2 displacement and strengthening risk management need to be considered. At the same time, we should speed up the construction of the CCUS–EOR technical standard system to promote the rapid and profitable development of the entire industry chain.

4.1.2. Strengthening Gas Production Technology

Enhanced gas production technology mainly refers to injecting CO_2 into a gas reservoir or shale reservoir in supercritical form to enhance gas recovery (CO_2–EGR), while storing CO_2. The key to improving natural gas recovery by CO_2 is to control the miscibility of CO_2

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

and CH_4. CO_2 and natural gas are miscible at any ratio, which will reduce the displacement of CO_2 on natural gas and reduce the recovery of natural gas. At the same time, CO_2–EGR does not apply to all gas fields [144,145]. Gas mixing can be limited by good reservoir management and production control measures [146].

As unconventional natural gas, shale gas has attracted worldwide attention in recent years. As a new shale gas development technology, CO_2 flooding of shale gas is developing rapidly [120]. About 20~80% of natural gas can be stored in shale gas reservoirs in the form of adsorption. The properties, moisture, temperature, pressure and other conditions of shale gas reservoirs will affect the adsorption behavior of CO_2 and CH_4. In reservoirs with more micropores, the preferential adsorption of CO_2 may be higher. When the pressure increases, the preferential adsorption of CO_2 will become weaker [147]. However, the increase in CO_2 injection pressure will increase the recovery of CH_4 and the storage of CO_2 [148]. The CO_2 content in the injected gas also has a great influence on the desorption of natural gas from rocks [149]. When supercritical CO_2 is injected into shale, the porosity and specific surface area of shale will also increase with time and pressure. At the same time, the pore structure and surface chemistry in shale will also change, resulting in a decline in the adsorption capacity of shale for CO_2 and methane [150,151].

During CO_2 flooding of shale gas, the recovery depends on the relative affinity of CO_2 and CH_4 in their mixture. Therefore, the adsorption study of the mixed gas is of great significance for CO_2 flooding shale gas. Song et al. [152] found that the isothermal adsorption capacity of CH_4/CO_2 decreased with the increase in temperature, and the adsorption capacity of CO_2 was greater than that of methane. Qi et al. [147] found that the total adsorption capacity of the CH_4/CO_2 mixture is between two single components. The shape of the isothermal adsorption curve of the mixed gas is similar to that of a single component with a high concentration or strong adsorption affinity. When CO_2 is injected into shale, the interaction between adsorbed gas and the nanopore structure may lead to shale expansion, fracture closure and reduction of permeability of the shale formation [153,154]. Lu et al. [155] found that the increase in CO_2 pressure will make the expansion of shale samples first increase and then decrease. The maximum expansion of shale will gradually decrease with the increase in CO_2 temperature. Strengthening the research on CO_2 adsorption behavior is helpful to the development of CO_2-enhanced gas recovery technology [156].

4.1.3. Technology of Displacing Coalbed Methane

The technique of displacing coalbed methane is to use CO_2 as an adsorbent and inject it into the coal seam to improve the recovery rate of coalbed methane by taking advantage of the characteristic that its adsorption capacity on the surface of the coal body is higher than that of methane (CO_2–ECBM). At present, most CO_2–ECBM projects are implemented in deep coal seams, because the coal in deep coal seams cannot be economically exploited, and the possibility of injected CO_2 returning to the atmosphere is small [157,158]. Displacing shale gas, after CO_2 is injected into coal seams, the pore structure and chemical and physical properties of coal will also change, affecting the effect of displacing coalbed gas [159]. The decrease of coal seam permeability is the main problem in the whole process. The reduction of coal seam permeability will affect the production rate of CH_4, the injection amount and the injection pressure of CO_2. The expansion of coal after CO_2 adsorption is the main reason for this situation [160].

The properties of coal seams and injected CO_2 affect the expansion of coal bodies. The higher the coal grade is, the more favorable it is for CO_2 to displace CH_4 [160]. The increase in coal seam temperature will lead to the increase of kinetic energy of CO_2 molecules and the decrease of CO_2 adsorption capacity, thus reducing CO_2 reserves and CH_4 production [161,162]. Compared with gaseous or subcritical CO_2, supercritical CO_2 is more easily affected by coal seam temperature [163]. With regard to temperature, the combined effects of thermal expansion, thermal cracking and gas phase transition should also be considered [164]. The presence of water in coal seams also significantly affects the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

adsorption and desorption of CO_2 and CH_4. Water, CH_4 and CO_2 in coal compete with each other in the adsorption position, which affects the effect of displacing coalbed methane. The H_2O molecules on the coal will induce the expansion of the coal matrix, resulting in the reduction of the porosity and permeability of the coal seam. Water molecules trapped in the pores may also block the channel for CH_4 desorption from coal [165–167].

Hou et al. [161] found that the injection pressure of CO_2 affects the displacement and migration rate of CH_4, and increasing the pressure can increase the storage of CO_2 and the recovery of methane. Increasing temperature or pressure will also shorten the adsorption equilibrium time of CO_2 and CH_4 [168]. Perera et al. [169] found that under higher CO_2 injection pressure, pore elasticity will increase porosity, which is more influential than adsorption expansion. However, some scholars found that higher CO_2 injection pressure may also lead to coal matrix expansion, which will reduce the permeability of coal seams, and the reduction of supercritical CO_2 will be greater [160,163]. Therefore, the CO_2 injection pressure should be reasonably determined according to the actual situation of the coal seam. The captured CO_2 usually contains impurities (Such as N_2). Injecting mixed gas (CO_2/N_2) can improve the replacement efficiency of CH_4 and promote the recovery of CH_4 [170–172]. In the process of CO_2 flooding coalbed methane, compared with gaseous CO_2 flow, supercritical CO_2 flow can exchange better with CH_4, and the sweep efficiency of supercritical CO_2 injection is higher, resulting in a longer expansion period. The effectiveness of supercritical CO_2 in CH_4 recovery has nothing to do with the maturity or grade of the coal seam [169,173,174]. The viscosity of gaseous CO_2 increases with temperature, while the change of supercritical CO_2 is the opposite. Because the temperature of the underground coal seam is higher, compared with gaseous CO_2, supercritical CO_2 has a stronger sliding capacity and a shorter contact time with the coal matrix, which reduces its adsorption capacity [162].

4.1.4. Enhanced Geothermal Technology

Geothermal is a good alternative energy. CO_2-enhanced geothermal technology (CO_2–EGS) uses supercritical CO_2 as the heat transfer fluid and uses a method similar to hydraulic fracturing to activate the cracks in the rock so that CO_2 can extract heat from the rock through the rock. Supercritical CO_2 has many advantages. First, it has a large expansion rate and low viscosity, thereby reducing the power consumption of fluid circulation and improving the speed of fluid circulation. Secondly, CO_2 is a non-polar solvent, which will reduce the dissolution of rock minerals and eliminate scaling problems. Finally, CO_2 may be an attractive fluid for heat, so it has advantages in accelerating energy uptake. In the process of geothermal exploitation, attention should also be paid to the influence of CO_2 injection temperature and pressure. Lower CO_2 injection temperature is favorable for thermal extraction [175]. The higher the CO_2 injection rate, the worse the heat transfer effect. Therefore, when the CO_2 injection rate is high enough, the heat transfer between the wellbore and the surrounding reservoir can be ignored, thus extending the service life [176]. The nature of the reservoir will also affect CO_2–EGS. Wang et al. [177] found that lower reservoir permeability and initial reservoir temperature are more favorable for CO_2–EGS. And with the increase of formation permeability, the efficiency of heat extraction increases, but the rate decreases. The rock chemical and mechanical interaction caused by supercritical CO_2 in the pores will affect the flow behavior, change the porosity and permeability of the reservoir, and affect the energy extraction process, but the current research in this field is less [178].

4.2. Chemical Conversion Technology

CO_2 chemical conversion technology mainly uses CO_2 to produce fuels and chemicals, which can provide additional value and may store CO_2 [179]. Due to the thermodynamic stability and kinetic inertia of CO_2 molecules, the direct synthesis of CO_2 usually has the disadvantages of low synthesis efficiency and harsh reaction conditions. At present, only a few chemicals in industry are made of CO_2. Although the utilization potential of CO_2 as a

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

chemical raw material is limited, it can reduce the dependence of the chemical industry on traditional fossil fuels. Table 4 is an example of chemicals currently used for CO_2 synthesis at the pilot scale as summarized by Burkart et al. [134]. In the following section, we will introduce some CO_2 conversion methods and their future challenges.

Table 4. Selected examples of chemicals currently synthesized from CO_2 on a pilot plant scale. [a] Reproduced with permission from [134], American Chemical Society, 2019.

Chemical	Company (Location)	Scale Per Year [b]
Carbon monoxide (via SOEC) [c]	Haldor-Topsoe (Lyngby, Denmark)/ Gas Innovations (La Porte, TX, USA)	12 Nm^3/h
Methanol	Carbon Recycling International (Reykjavík, Iceland) Mitsui Chemical Company (Tokyo, Japan)	4000 tons 100 tons
Methane	Audi (Ingolstadt, Germany)	1000 tons
Fuels (via CO_2-based Fischer-Tropsch)	Sunfire (Dresden, Germany) INERATEC (Espoo, Finland)	3 tons 200 L
Oxalic acid	Liquid Light/Avantium (Amsterdam, The Netherlands)	2.4 tons

[a] A pilot plant is defined as a pre-commercial system, which produces a chemical or fuel on a smaller scale than a full plant and is used for learning purposes. [b] Amount of product that is produced per year. [c] SOEC = solid oxide electrolyzer cell.

4.2.1. Raw Materials for the Chemical Industry

At present, scholars and institutions around the world have developed many chemical routes for CO_2 utilization. Most of these routes only consider the possibility of synthesis and do not consider the reduction potential or potential profitability of CO_2. The direct conversion of CO_2 is mostly to reduce CO_2 to CO through reverse water gas shift (RWGS) reaction, and then to hydrogenate CO to the required chemicals [180]. Otto et al. [181] evaluated 123 reaction routes of CO_2 conversion into chemicals. The authors selected the types of these reactions that can meet the standards based on the potential of reducing the amount of CO_2 and the economic benefits of synthesis. Among the six selected bulk chemicals (methanol, formaldehyde, formic acid, oxalic acid, urea and dimethyl ether), five of them are CO_2 and H_2 reactions. Therefore, CO_2 catalytic hydrogenation is the most potential technology and the technology most likely to be applied on a large scale in a short term. Figure 11 shows the different transformation routes of applying renewable energy to CO_2 hydrogenation. Kondratenko et al. [182] analyzed the current situation of converting CO_2 into chemicals through catalytic hydrogenation, photocatalysis and electrocatalysis. Among them, the catalytic hydrogenation of CO_2 to methanol and methane has formed a commercial scale, while electrocatalysis and photocatalysis still require significant technological and catalytic progress [183]. At the same time, the authors also mentioned that the most critical problem of catalytic hydrogenation is the need for cheap and clean H_2. This is also the development trend of CO_2 catalytic hydrogenation in the future. Although the large-scale application of CO_2 electrocatalysis technology still faces challenges, with the development of technology, it is considered to be one of the most promising technologies in the future. Many researchers have proposed various methods to promote the development of electrocatalysis technology, such as increasing active sites on electrodes, using alloy catalysts, etc. [184–186]. Park et al. [185] believed that low productivity and product separation difficulties caused by low current density and Faraday efficiency were the main factors hindering the large-scale application of electrochemical conversion. However, by introducing cutting-edge equipment (zero gap electrolytic cells, etc.), large-scale application of electrochemical conversion can be possible. In addition, the lack of in situ observation of the reaction mechanism and active sites during electrocatalytic experiments also hindered its development. Coupling electrocatalytic technology with renewable energy is an important development direction in the future.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

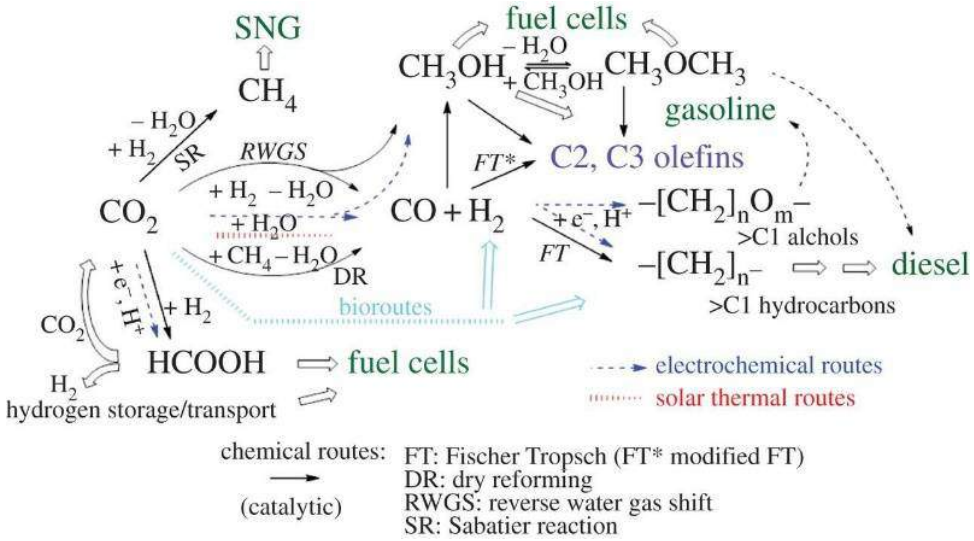


Figure 11. Possible routes for CO_2 hydrogenation with the incorporation of RE in the process. Reproduced with permission from [187], Royal Society of Chemistry, 2015.

In order to utilize CO_2 efficiently, catalysts are usually used to reduce the activation energy during the chemical conversion of CO_2 [188,189]. At present, research on CO_2 catalytic reduction focuses on the formation of C1 products. Different C1 products are controlled by the reduction degree, which is also a major challenge [134]. The preparation method of the catalyst usually affects its specific surface area, particle size, metal dispersion and other properties, thus affecting the activity and selectivity of the catalyst [190]. Therefore, an appropriate preparation method must be selected when preparing the catalyst [191]. Doping and alloying of foreign atoms can change the surface morphology of the catalyst, which is an effective method to improve the activity and selectivity of the catalyst [186]. At present, the price of catalysts is relatively expensive, and the conversion rate is not high, continuous and stable production is difficult, so the future needs more in-depth research.

For renewable energy, the utilization of CO_2 is a great opportunity to help it inject into the chemical production process [187]. At the same time, renewable energy sources such as wind energy and solar energy have shortcomings such as intermittency and anti-peak shaving, and their introduction into the CO_2 conversion process is considered to be an ideal method for efficient electric energy storage and conversion [186]. As shown in Figure 12, CO_2 photocatalytic conversion is to convert CO_2 into valuable products by using renewable energy (solar energy) under mild reaction conditions. This process will not pollute the environment and does not require additional energy [192]. Titanium dioxide is the most commonly used catalyst in photocatalytic reactions, but it also has its limitations, such as low efficiency and activity of the catalyst. This problem can be effectively solved by doping, semiconductor coupling, cocatalyst modification, design of photo reactor and other methods [192–195]. If the price of renewable energy continues to fall, it will be possible to use renewable energy for CO_2 use through catalytic methods in the future.

The use of CO_2 for fuel production can reduce the use of traditional fossil fuels. This process usually requires a reforming reaction, such as reforming CO_2 and CH_4 to produce synthesis gas. At present, dry reforming (DRM), partial oxidation (PO) and steam reforming (SRM) have been proposed for reforming methane to obtain syngas. The reaction equations of the three methods are as follows:

$$\text{DRM: } CH_4 + CO_2 \rightarrow 2CO + 2H_2 \ \Delta H_{298K} = +247 \text{ KJ/mol} \quad (1)$$

$$\text{PO: } CH_4 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO + 2H_2 \ \Delta H_{298K} = -22.6 \text{ KJ/mol} \quad (2)$$

$$\text{SRM: } CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2 \ \Delta H_{298K} = +228 \text{ KJ/mol} \quad (3)$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

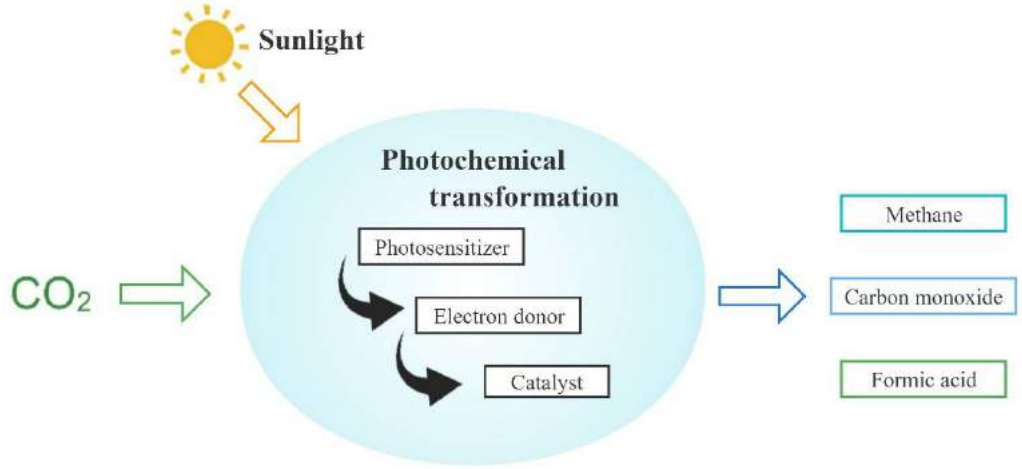


Figure 12. Mechanism of photochemical transformation of CO_2. Adapted with permission from [192], Elsevier, 2019.

It can be seen from the reaction formula that the oxidant used in the three methods is different, and the oxidant used in DRM is CO_2. Therefore, it is considered to be the most promising technology [136]. However, DRM is a highly endothermic reaction that needs to be carried out at high temperatures. Therefore, it may induce CH_4 decomposition, CO disproportionation and other side reactions, leading to coke deposition, adsorption on the catalyst surface, and ultimately leading to catalyst deactivation and reduction of conversion [196]. The formation of coke can be reduced by controlling the reaction temperature and feed ratio [197]. Aramouni et al. [198] believed that bimetallic catalysts formed by adding a small amount of precious metals or other non-precious metals to cheap non-precious metals can show good performance in catalysis. This can not only overcome the shortcomings of rapid deactivation of non-precious metals and high coke but also reduce the price of catalysts. At the same time, the authors think that Co–Ni bimetallic catalyst has great development potential in the future. The reforming of CO_2 and methane is not only affected by the catalyst, Ayodele et al. [199] found that the partial pressure of reactants ($CO_2 + CH_4$) will also have a great impact on conversion, yield and gas production ratio. Although DRM is considered a technology with environmental potential, its development is limited by its extremely high reaction temperature, long reaction time, requirements for pure CO_2 and catalyst deactivation [136].

CO_2 can also be used to produce biofuels such as methanol (CH_3OH) and dimethyl ether (CH_3OCH_3). Methanol is widely used in various chemical industries. Although compared with gasoline, its energy content is low. However, due to its excellent cooling effect and extremely high anti-knock ability, it is suitable for vehicles driven by internal combustion engines [133,200]. At present, methanol production by CO_2 hydrogenation catalysis is the most studied, and its reaction formula is shown in (4):

$$CO_2 + 3H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O\ \Delta H_{298K} = -49.5\ KJ/mol \quad (4)$$

Although it has good thermodynamic properties, it still needs to use appropriate catalysts to overcome the obstacle of high activation energy. At the same time, a highly selective catalyst should be used in the reaction process to avoid generating other hydrogenation products (such as higher alcohols) [201]. In methanol synthesis, the efficiency of using a Cu catalyst alone is not high, while the supported Cu-based catalyst shows a strong loading effect. Cu/ZnO catalysts have been widely studied for CO_2 hydrogenation to methanol [202]. ZnO can not only enhance the adsorption of CO_2 on the surface of Cu but also promote the dispersion of copper, thus improving the reactivity of Cu [203]. Kattel et al. [204] studied the active sites on the Cu/ZnO catalyst. They believed that the surface oxidation of ZnCu alloy occurred during methanol synthesis, which oxidized the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

surface Zn to ZnO, making the activity of ZnCu and ZnO/Cu the same under the same Zn coverage. The addition of oxides to the Cu/ZnO catalyst can effectively improve the performance of the catalyst. The most commonly used oxide is Al_2O_3 [205]. Due to the rich oxygen utilization rate and good ion exchangeability of the ZrO_2 surface, it is also often studied for binding with Cu/ZnO. The hydrophilicity of ZrO_2 is weaker than that of Al_2O_3, which can improve the dispersion and stability of Cu. In addition, ZrO_2 can increase the alkalinity of the catalyst, which is conducive to improving the selectivity of the catalyst [206]. In addition to improving traditional Cu/ZnO-based catalysts, many scholars are also developing new catalytic systems [207].

Dimethyl ether (DME) is also widely used in the chemical industry, and it is also an effective substitute for fossil fuels. In addition, it produces less NO_x, SO_x and particulate matter during combustion, which has little environmental pollution. At the same time, its cetane number is higher than that of methanol, so it is more suitable as a substitute for diesel [208]. DME is usually produced by indirect synthesis and direct synthesis, as shown in Figure 13. Indirect synthesis is to first synthesize methanol through synthesis gas and then dehydrate methanol to produce dimethyl ether. The reaction equations are shown in (5) and (6). Direct synthesis is catalyzed by CO_2 hydrogenation, and the reaction formula is shown in (7).

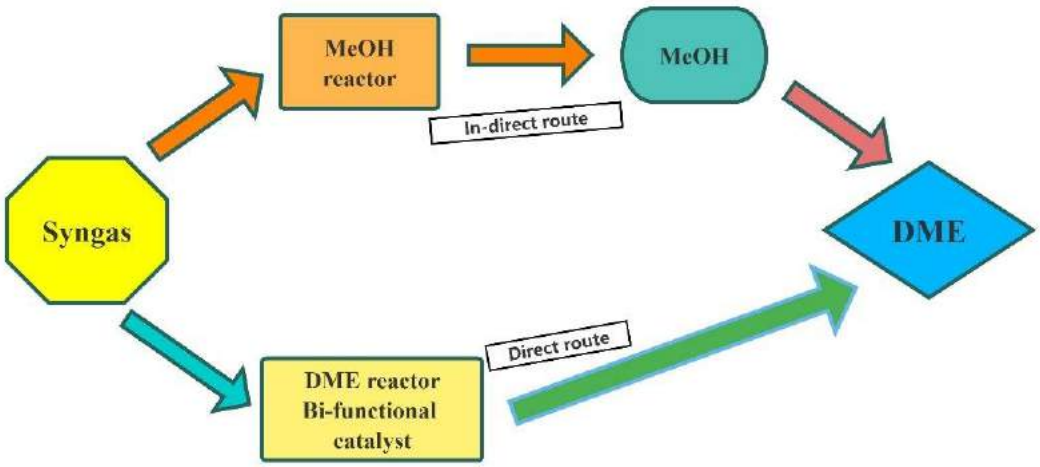


Figure 13. Two pathways for DME production: direct and indirect. Adapted with permission from [209], Elsevier, 2018.

Methanol synthesis:

$$CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH\ \Delta H_{298K} = -93.6\ KJ/mol \quad (5)$$

Methanol dehydration:

$$2CH_3OH \rightarrow CH_3OCH_3 + H_2O\ \Delta H_{298K} = -23.4\ KJ/mol \quad (6)$$

Direct synthesis of dimethyl ether:

$$2CO_2 + 6H_2 \rightarrow CH_3OCH_3 + 3H_2O\ \Delta H_{298K} = -122.2\ KJ/mol \quad (7)$$

Chen et al. [210] studied the reaction characteristics of the indirect synthesis of DME. The indirect method is to produce methanol through synthesis gas, and there is inevitably CO_2 in the synthesis gas. The authors found that the existence of CO_2 would reduce the yield of DEM. Therefore, CO_2 should be separated before synthesis, but this will increase the cost of DEM manufacturing. Samimi et al. [211] proposed a new two-stage spherical reactor based on methanol dehydration to dimethyl ether, aiming at reducing pressure drop and recompression cost and increasing dimethyl ether yield. Compared with the traditional reactor, the reactor can effectively improve the yield. However, the industry

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

generally prefers to use a single-pot synthesis technique for dimethyl ether synthesis to reduce production costs [212]. Chen et al. [213] conducted thermodynamic analysis on the direct synthesis process and indirect synthesis process of dimethyl ether and studied the effects of two different methods on the synthesis of dimethyl ether. The authors think that direct synthesis has a lower thermodynamic limit and is more suitable for the synthesis of dimethyl ether. Zhang et al. [214] used Aspen Plus to simulate the direct syngas to DME synthesis coupled with tri-reforming reactions. The tri-reforming can maximize the use of CO_2 and reduce the use of external energy. The system is most favorable for operation under low temperature and high pressure. Through simulation, the authors find that this process is an economical and feasible method to utilize CO_2.

CO_2 can not only be reformed with methane to produce syngas but also be directly hydrogenated to produce methane. The reaction formula is shown in (8).

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O\ \Delta H_{298K} = -252.9\ KJ/mol \quad (8)$$

Compared with other CO_2 conversion methods, CO_2 methanation has many advantages. It can directly use existing natural gas pipelines for transportation. As far as thermodynamics is concerned, CO_2 methanation is the most favorable, so this reaction is much faster than other CO_2 conversion reactions. Sahebdelfar et al. [215] studied the thermodynamic equilibrium analysis of CO_2 methanation. The results show that CO_2 methanation has a high conversion rate at a low temperature of 200~300 °C. Above 350 °C, equilibrium conversion can be achieved by using the most advanced catalyst, which shows the potential and importance of catalyst improvement. Ni-based catalyst is the most frequently studied catalyst in CO_2 methanation. Because of its low price, it has more commercial value. Tada et al. [216] performed CO_2 methanation on four supports, CeO_2, α-Al_2O_3, TiO_2, and MgO (all containing 10% metallic Ni), and observed their effects on CO_2 conversion rate and CH_4 selectivity. It can be seen from Figure 14 that compared with other catalysts, Ni/CeO_2 catalyst has a higher CO_2 conversion rate, and its selectivity to CH_4 is close to 1 at a low temperature (250~400 °C). Graca et al. [217] studied CO_2 methanation over catalysts containing Ni and Ce supported on HNaUSY zeolite. The authors found that the performance of the catalyst was better with the increase of Ni content, and the presence of Ce further improved the activity and selectivity of the catalyst. In recent years, many researchers have developed a new dual-functional material (DFM) that combines adsorption and methanation functions for the co-capture and methanation of CO_2. This material can combine the two processes of CO_2 adsorption and hydrogenation in a single reactor [218]. Although the reaction of CO_2 methanation is simple, the reaction mechanism is difficult to establish. Even for CO methanation, there is still no consensus on the kinetics and mechanism [219].

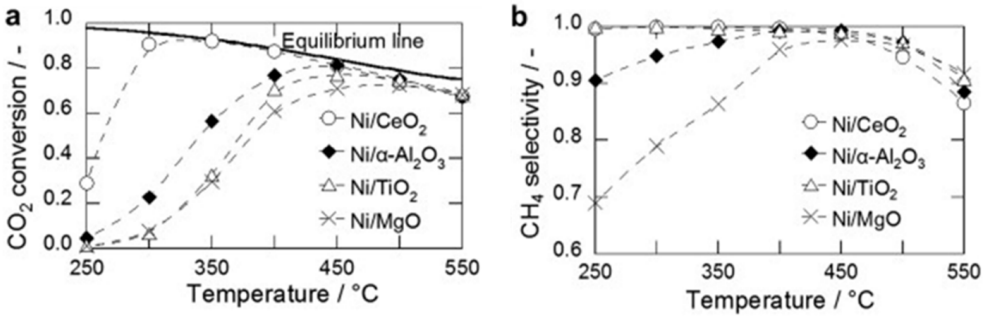


Figure 14. Effect of support materials on (**a**) CO_2 conversion and (**b**) CH_4 selectivity over Ni/CeO_2, Ni/α-Al_2O_3, Ni/TiO_2, and Ni/MgO. Reaction conditions: 20 vol% CO_2, 80 vol% H_2, GHSV = 10,000 h^{-1}. Reproduced with permission from [216], Elsevier, 2012.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4.2.2. Mineralization

The mineralization of CO_2 is not only an effective way of utilization but also can effectively fix CO_2. Both natural silicate ores and alkaline solid waste can be used for CO_2 mineralization. However, the use of natural ores for CO_2 mineralization is costly and challenging [220]. In contrast, the use of alkaline solid waste for mineralization has become an attractive approach. Because it has high reactivity and inherent alkalinity and is easy to obtain. Common alkaline solid wastes include steel slag, cement and concrete waste, etc. Accelerating CO_2 carbonization by using alkaline solid waste can not only capture CO_2 efficiently from industrial flue gas but also form various products, such as $CaCO_3$ and $MgCO_3$. As shown in Figure 15, $CaCO_3$ and $MgCO_3$ can be widely used in cosmetics, pharmaceuticals, construction, paper making and other industries. This can not only solve the problem of alkaline solid waste treatment but also make effective use of CO_2 [221]. Recently, the use of steel slag for CO_2 mineralization has aroused great research interest. Among many alkaline solid wastes, steel slag has the highest CO_2 storage potential [222]. Ukwattage et al. [223] studied the influence of CO_2 pressure, temperature and water–solid ratio on the CO_2 mineralization of steel slag. The authors found that the higher the CO_2 pressure, the faster the carbonization, and the more water in the reactor, the better the sealing effect. At the same time, the temperature has a dual effect, and about 50 °C is the optimal temperature for the reaction system. The National Academy of Sciences believes that mineral carbonization is one of the effective methods for CO_2 utilization, because of its large scale, energy saving and thermodynamic advantages. Through life cycle analysis (LCA), it was found that mineral carbonization can effectively reduce net CO_2 emissions [224]. The process of CO_2 mineralization requires grinding, heating and slurry stirring, which consumes a lot of energy. In the future, the energy in the exothermic reaction should be recovered to compensate for the energy consumption in the process of CO_2 mineralization, to make the CO_2 mineralization economical.

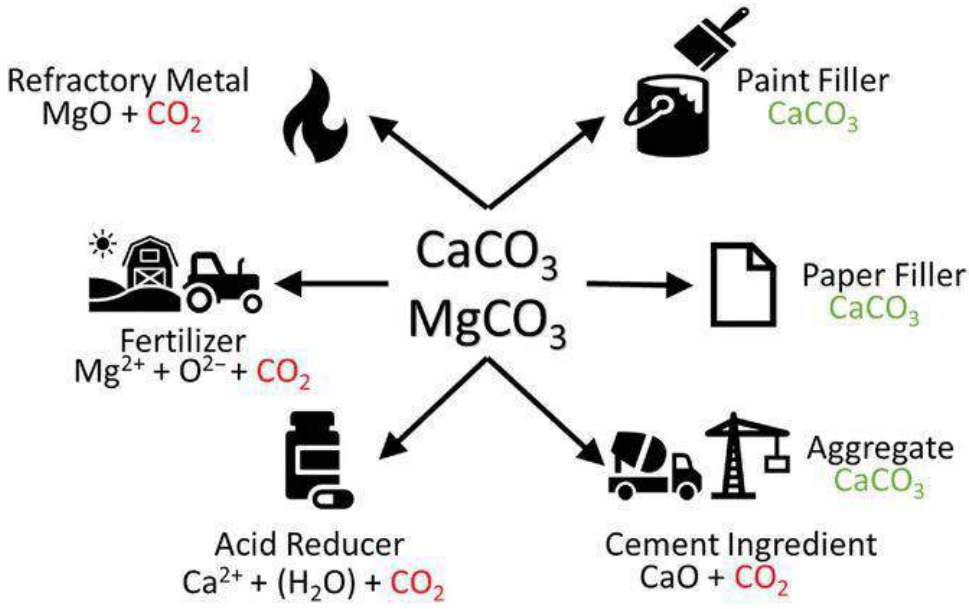


Figure 15. Current industrial uses of carbonate minerals and their final chemical form. From Reference [224].

4.3. Biological Utilization Technology

CO_2 mineralization and CO_2 biological utilization technology can not only effectively utilize CO_2, but also achieve CO_2 fixation. It mainly uses plants or autotrophic microorganisms to convert CO_2 into useful products under specific conditions. Among them, microalgae have attracted great attention. 1 kg algal biomass can fix about 1.83 kg CO_2 [11]. We have introduced the advantages of microalgae in Section 2. It can be used to capture CO_2

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

and grow in a CO_2-rich environment. The harvested algal biomass can be used to produce biofuels. It is considered a substitute for fossil energy and can alleviate the global energy crisis. Figure 16 shows the process required to convert microalgae into biofuel. Different methods can be used to convert microalgae into biofuel (such as biodiesel, bioethanol, etc.) [225]. Biomass can be selectively converted into different biofuels according to their quality and composition. For example, sugar-rich biomass is suitable for the production of bioethanol, and saturated lipid-rich biomass is suitable for the production of biodiesel [209]. However, from the current research results, it is uneconomical to use microalgae to produce biofuels. This is mainly because a large amount of energy is required in the process of extracting lipids from algae cells and transesterification. Algal culture is one of the focuses of research. Culture temperature, CO_2 concentration, salinity, light and pH value will affect the process of CO_2 fixation by microalgae [11,226]. Different microalgae species are suitable for different environments. ArunK. Vuppaladadiyam et al. [227] believed that the CO_2 fixation rate of microalgae was too low, and it was necessary to improve the CO_2 absorption rate or use cheap photobioreactors to compete with mature CCS technology. Otherwise, cultured microalgae are more suitable for conversion into biofuels or chemicals. Bioutilization technology also includes bioelectrochemical systems (BES) [228]. Its essence is to use microorganisms as catalysts to conduct synthesis reactions in the electrochemical cell. Compared with chemical catalysts, biocatalysts have higher specificity and versatility [229]. One possible application of the bioelectrochemical system is the electrochemical reduction of CO_2 to methane, but there are still many challenges [230]. In recent years, the absorption-microalgae composite CO_2 capture technology has attracted more attention, because it can overcome the key challenges of high regeneration energy consumption and low CO_2 concentration in the microalgae solution. Future research should focus on the combination of alkaline solution absorption and microalgae transformation synergistic mechanism [84].

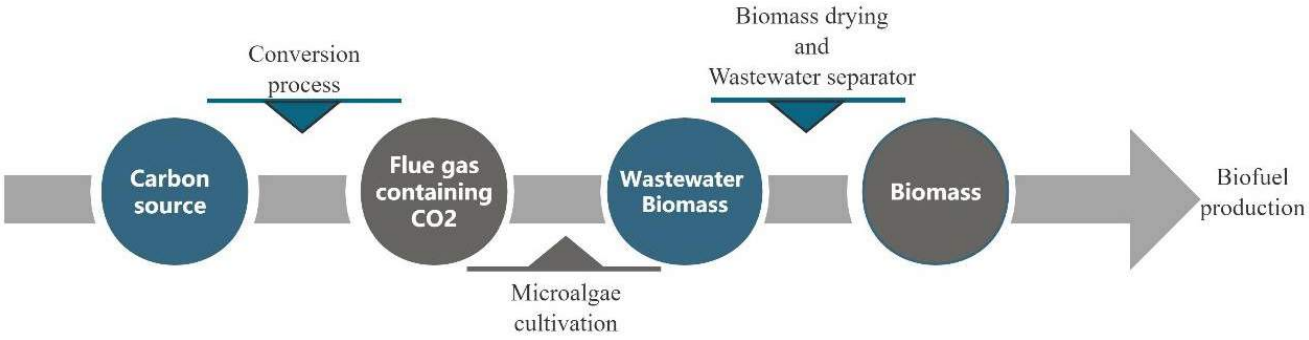


Figure 16. Biofuels from microalgae process. Adapted with permission from [136], Taylor & Francis, 2019.

4.4. Beverage and Food Processing

Food-grade CO_2 is mainly used to produce carbonated beverages, deoxidized water, dairy products and food preservation. Liquid CO_2 and dry ice are mainly used for the preservation of foods that need freeze-drying. The production of beer, soft drinks and sparkling wine will also consume a large amount of liquid CO_2 [11]. CO_2 can also be used as a solvent to extract hops, decaffeinate coffee and tea, and extract spices and essential oils from plant materials. Compared with traditional solvents, CO_2 as a solvent has many advantages, such as being non-toxic, highly stable, low cost, renewable, easy to prepare, etc. Moreover, the amount of CO_2 used as a solvent is less than that of a conventional solvent. [136] Conde-Hernandez et al. [231] compared three extraction methods of rosemary essential oil, steam distillation, hydro distillation and supercritical CO_2, and found that supercritical CO_2 extraction had higher antioxidant activity and oil yield. ZuKnik et al. [232] optimized some parameters (such as temperature, pressure, flow rate and extraction time) in the process of supercritical CO_2 extraction of lycopene to improve the yield of lycopene. Finally, CO_2 can also be used for sterilization. Traditional hot pasteurization will affect the nutritional value and color of food. More and more scientists have begun to study

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

non-thermal pasteurization technology, and high-pressure CO_2 (HPCD) is one of them. It can be carried out at a temperature lower than that of traditional heat treatment. The germicidal efficacy of HPCD has been extensively tested on various microorganisms, so this process can be applied to the food industry. However, the lack of research on its impact on food quality hinders its development [233].

5. CO_2 Storage

CO_2 storage technology is essential to mitigate global warming. It is the best option for reducing atmospheric CO_2 in the short to medium term. IPCC (2014) estimated that 5000~10,000 million tons of CO_2 must be captured and stored every year by the middle of this century. CO_2 storage can be simply divided into geological storage and marine storage.

5.1. Geological Storage

In Section 3, it was stated that CO_2 can be used to improve the recovery of oil, natural gas and coalbed methane, and injected CO_2 can be permanently stored there. In addition, depleted oil and gas reservoirs can also be directly used to store CO_2, but this will not produce economic benefits. The geological storage of CO_2 is the main storage method of CO_2 at present. As shown in Figure 17, geological storage sites mainly include depleted oil and gas field reservoirs, deep saltwater layers and non-exploitable coal seams. Depleted oil and gas reservoirs are considered to be the best storage sites for the following reasons: (i) some existing infrastructure can be utilized, including injection wells and pipelines, etc.; (ii) the oil and gas reservoir itself has good sealing property and can store CO_2 for a long time; (iii) CO_2 can help enhance oil recovery. Saltwater layer storage also has its unique advantages, such as more CO_2 stored, more economical storage process, wide distribution, etc., which is considered to have the largest CO_2 storage potential. The technologies involved in the storage process include a comprehensive survey, site selection, potential evaluation, drilling technology, injection technology, numerical simulation technology, monitoring technology, CO_2 escape plugging technology and safety risk assessment. The development of these technologies can better optimize injection strategies, evaluate reservoir capacity, predict CO_2 migration and diffusion, reduce uncertainty and manage leakage risks [234–236].

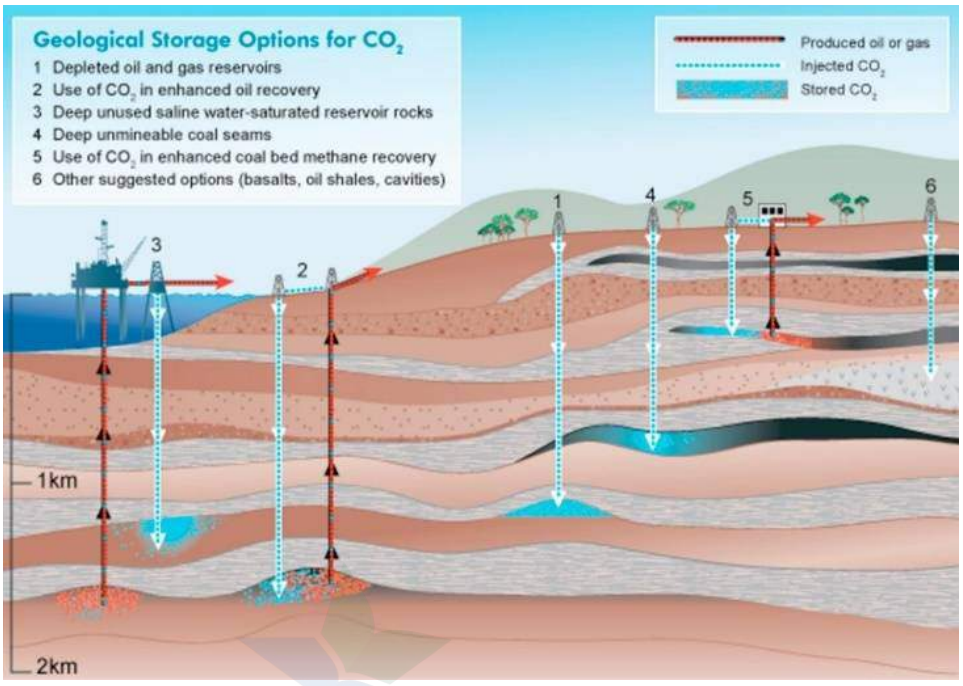


Figure 17. Some geological storage options for CO_2. Reproduced with permission from [237], Elsevier, 2017.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Before geological storage, the storage site must be carefully selected. A good storage site generally includes: sufficient porosity and thickness, tight and complete cap rock, good injectability and stable geological environment, etc. [238] During saline aquifer storage, the location of the aquifer is equally important to the storage process. Too shallow may cause CO_2 leakage. Too deep will increase the injection pressure of CO_2, thus increasing the cost. The chemical composition of aquifer water and formation rock also varies with the location of the aquifer. This will affect the chemical reaction of CO_2 in the aquifer and then affect the mineral structure. At present, the research on CO_2 geological storage mainly focuses on the storage mechanism, storage potential evaluation and storage numerical simulation, and there is less research on the selection of geological storage areas. This is because the selection of the storage site is not easy, and there are many factors to consider. Lu et al. [239] based on the site selection for CO_2 storage in the Ordos Basin of China, determined the favorable and candidate areas for CO_2 geological storage by comprehensively considering technology, safety, reservoir and other aspects. At the same time, the authors also put forward the site selection and sequencing method of CO_2 geological storage, which provides a reference for the selection of CO_2 geological storage in carbonate reservoirs. Hsu et al. [240] developed a multicriteria decision-making model with eight evaluation criteria to select CO_2 storage sites and applied the ANP method to this for the first time. This method can rank potential CO_2 storage sites and be used for pre-screening of CO_2 geological storage sites. Mi et al. [241] analyzed the factors affecting CO_2 storage based on the characteristics of the Junggar Basin in China and established an adaptability evaluation index system for CO_2 storage. At the same time, the adaptability of CO_2 geological storage in the Junggar basin is being evaluated by combining AHP and a fuzzy comprehensive evaluation method. Through the evaluation results, the location with the best suitability is determined.

There are also many mechanisms involved in CO_2 geological storage, and the effectiveness of the CO_2 storage mechanism determines the efficiency of geological storage [242]. The geological storage of CO_2 is affected by many factors, such as temperature, pressure, CO_2 injection rate, the salinity of formation water, mineral composition of formation rock, formation thickness, formation dip, contact angle, interfacial tension and porosity, etc. The higher the pressure, the higher the solubility of CO_2 in brine. This is mainly because the higher the pressure, the greater the thrust. The higher the temperature, the lower the solubility of CO_2 in the brine. This is mainly because the higher temperature provides the system with heat energy. When it overcomes the bond energy between CO_2 molecules and brine molecules, the solubility of CO_2 starts to decrease [243,244]. Wildenschild et al. [245] found that a lower CO_2 injection rate can store more CO_2. Jing et al. [246] found that the CO_2 storage is inversely proportional to the formation dip. At the same time, the larger the dip angle is, the more obvious the influence on CO_2 migration distance is. Because accelerating the dissolution of CO_2 in brine can reduce the risk of leakage, some scholars have proposed some new technologies to accelerate the dissolution of CO_2 [247]. Hassanzadeh et al. [248] proposed a method to accelerate the dissolution of CO_2 in brine. This method can increase the dissolution fraction of CO_2 in 200 years from 8% to 50% by injecting salt water into the top of CO_2.

As shown in Figure 18, when CO_2 is injected into the reservoir for the first time, the risk of leakage is very high. When storing CO_2, the main problem is to consider the potential leakage during injection and whether CO_2 will leak over time. Therefore, when CO_2 is stored for a long time, the caprock must have good sealing capacity. The low permeability of the caprock is critical to prevent CO_2 leakage [237]. When CO_2 leaks, CO_2 itself will not affect the quality of groundwater, but the dissolution of CO_2 will reduce the pH value of groundwater, thus enhancing the dissolution of minerals. Some minerals contain harmful trace elements, which may affect the quality of groundwater [249]. When storing CO_2 in the saltwater layer, the chemical reaction of CO_2 dissolution in the formation fluid and the interaction of CO_2 water rock should also be considered [250]. Jayasekara et al. [250] believed that one of the main problems of saline water reservoir storage was that the cap

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

rock degradation and change caused by geochemical reaction led to the activation of faults and fractures, which led to the reverse migration of injected CO_2 through the cap rock.

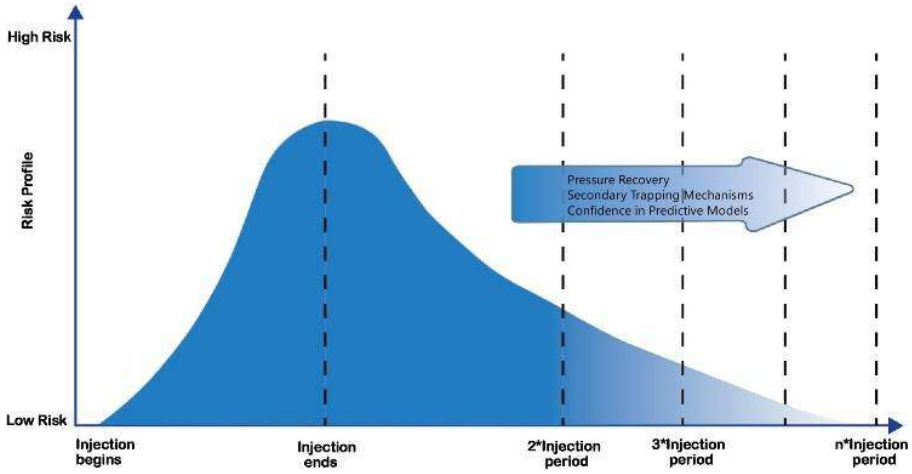


Figure 18. Conceptual risk profile of CO_2 storage in geological porous media. Reproduced with permission from [251], Elsevier, 2021.

Some monitoring technologies can be used to monitor and predict the potential migration path and escape point of CO_2, so as to prevent CO_2 leakage. Geophysical and geochemical methods are widely used in CO_2 leakage monitoring [252]. Among the geophysical methods, the geoelectric method is often used to monitor CO_2 migration, because the subsurface resistivity is affected by CO_2 [253]. Using 4D (delayed) seismic data is the most reliable method to determine the migration mode of CO_2 in the reservoir and can be used to track the evolution of CO_2 plumes [1,251]. Pressure monitoring during CO_2 injection and storage is a key tool. During the injection process, pressure monitoring combined with InSar technology can effectively monitor the leakage of CO_2 into the caprock [236]. Zeidouni et al. [254] proposed a leak detection and characterization method through pressure monitoring. They first gave the relationship between the pressure change of the upper aquifer and the leakage parameters. Then monitor the pressure of the upper aquifer through the monitoring well, and analyze the pressure response caused by the leakage to locate and characterize the leakage. At the same time, more accurate information can be obtained by increasing the number of monitoring wells. Zeidouni et al. [255] studied the feasibility of CO_2 leakage detection by monitoring temperature changes. The authors found that the temperature will increase when the brine leaks, while the temperature will decrease when the CO_2 leaks. Therefore, the leaking fluid can be distinguished by monitoring the temperature change. The strength of the temperature signal is affected by the leakage speed. Reducing the leakage speed will reduce the strength of the temperature signal. At the same time, the temperature change caused by the leakage only covers a small area around the leakage path, so temperature monitoring along the potential leakage path is most useful. Isotopes are also used for monitoring CO_2 leakage, which can detect low level CO_2 leakage [256]. Magnier et al. [257] found that carbon isotopes in some reservoirs are not enough to track CO_2 leakage on the surface, and they found that inert gas is more suitable for monitoring leakage. Remote sensing technology can also be used to monitor CO_2 leakage, commonly used to measure surface deformation, temperature anomaly and vegetation damage [258].

5.2. Ocean Storage

The ocean can absorb a large amount of CO_2 through the natural exchange between water and the atmosphere. The storage capacity of seawater is estimated to be 5000~10,000 GtC. However, the process is slow and limited to surface seawater, so some scholars have suggested that the CO_2 ocean storage process can be accelerated and the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ocean's ability to absorb CO_2 can be improved by directly injecting CO_2. Therefore, this section will focus on direct injection strategies that can be applied on an industrial scale. The way to implement ocean storage of CO_2 is shown in Figure 19. Usually, CO_2 is transported to the storage site by ship or pipeline and injected into the ocean. The phase state and density of CO_2 are different with different injection depths, and the storage effect is also different. Generally, with the increase of CO_2 injection depth, the retention of CO_2 increases. Above 500 m, CO_2 is gaseous and below it is liquid. The density of CO_2 above 3000 m is less than that of seawater, and the density of CO_2 below 3000 m is greater than that of seawater. Therefore, when CO_2 is injected above 3000 m, CO_2 will rise due to positive buoyancy, causing part of CO_2 to float to the surface water before dissolution and enter the atmosphere again [259]. When CO_2 is injected below 3000 m, CO_2 should be subject to negative buoyancy and sink, so a liquid CO_2 "lake" will be formed on the seabed, thereby minimizing the risk of CO_2 leakage. Although compared with geological storage, marine storage seems to be safer. However, most CO_2 will dissolve in the surrounding seawater before reaching the seabed, and the CO_2 "lake" may also be disturbed by the ocean current. In addition, due to the influence of chemical potential, the CO_2 "lake" will also continue to dissolve, which will change the CO_2 concentration and pH value of the seabed and affect the marine ecosystem [260]. And the more concentrated the emission of CO_2, the greater its potential impact [261]. Widdicombe et al. [262] studied the impact of seabed CO_2 leakage on macrobenthic animals. The authors found that CO_2 leakage will have a significant impact on seabed animals, but the impact may disappear soon. The seabed fauna community will quickly recover to its original state, depending on the species of fauna and the characteristics of the habitat. Some scholars proposed storing CO_2 in deep-sea sediments, where CO_2 is in a liquid state and its density is higher than the overlying interstitial fluid so that the injected CO_2 remains gravitationally stable. This overcomes the problem of CO_2 escaping due to its buoyancy when geologically storing CO_2 [263].

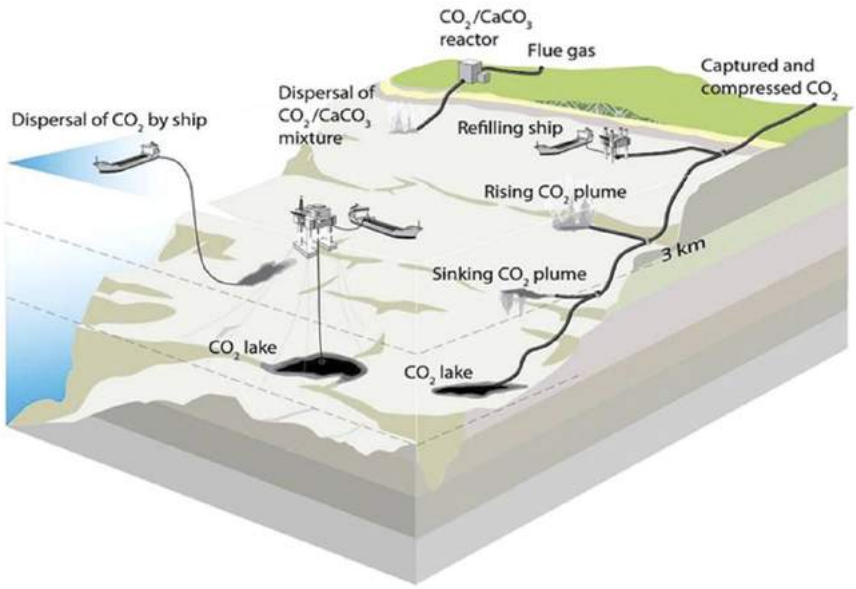


Figure 19. Strategies for ocean carbon sequestration.

Another CO_2 storage method is to store CO_2 through hydrate. Under the conditions of high pressure and low temperature in the deep sea, the interaction between CO_2 and seawater will be conducive to the formation of CO_2 hydrate. CO_2 molecules in CO_2 hydrate are locked in solid cages formed by water molecules, preventing CO_2 from dissolving into seawater. The formation and stability of CO_2 hydrate are affected by the depth and ocean thermal gradient. Figure 20 shows the phase equilibrium of CO_2 hydrate superimposed on the hydrothermal gradient of the ocean and the geothermal gradient of the seafloor. It can be seen from the figure that in seawater, CO_2 hydrate is formed and stable in the area

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

bounded by AB, while in sediment, the stable area is bounded by BC. The exact depth of these points is affected by the specific water and geological conditions at each location [260]. When CO_2 is injected into deep-sea sediments, the formation of CO_2 hydrate will reduce the effective porosity and permeability, thus blocking the flow of liquid CO_2 and acting as the second sealing cap above the injection site [2]. Li et al. [2] studied the formation mechanism of a self-sealing cap related to CO_2 hydrate and discussed the feasibility of storing CO_2 in deep-sea sediments. Through modeling, it is found that the critical time of CO_2 leakage has a strong correlation with reservoir properties and wellbore injection conditions. Qanbari et al. [264] found that the formation of CO_2 hydrate and the gravity stability of CO_2 can prevent the leakage of CO_2 in the upper part of marine sediments. If CO_2 is injected into the appropriate ocean depth and sediment depth, CO_2 can be reliably sealed in the sediment. As with geological storage, CO_2 monitoring is also required during ocean storage to prevent CO_2 leakage. Shitashima et al. [265] proposed a method for detecting and monitoring CO_2 leakage from the seabed. The steps of this method are summarized in Figure 21. The first is to detect CO_2 leaks using seafloor-based acoustic section tomographic scanning. Once a leak is detected, the pH/pCO_2 sensor and side scan sonar installed on the autonomous underwater vehicle (AUV) are used to map the leakage point. Finally, the remote underwater vehicle (ROV) or automatic elevator, or the Towing Multi Layer Monitoring System (TMLMS) are used to monitor the CO_2 diffusion behavior.

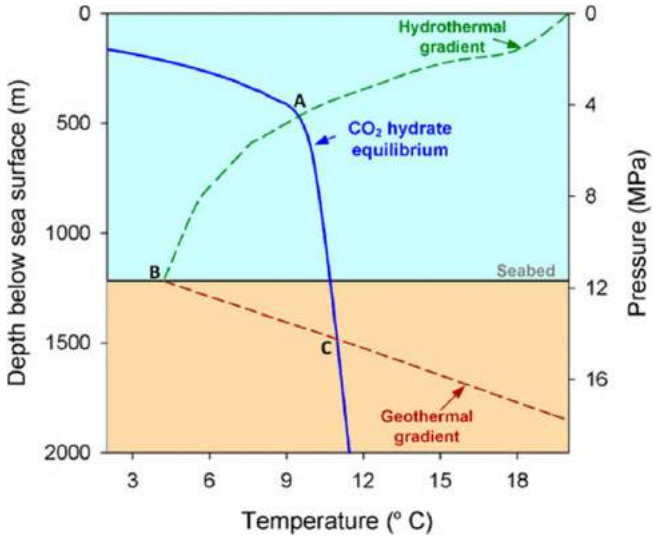


Figure 20. Hydrothermal gradient, geothermal gradient and CO_2 hydrate equilibrium. Reproduced with permission from [260], American Chemical Society, 2020.

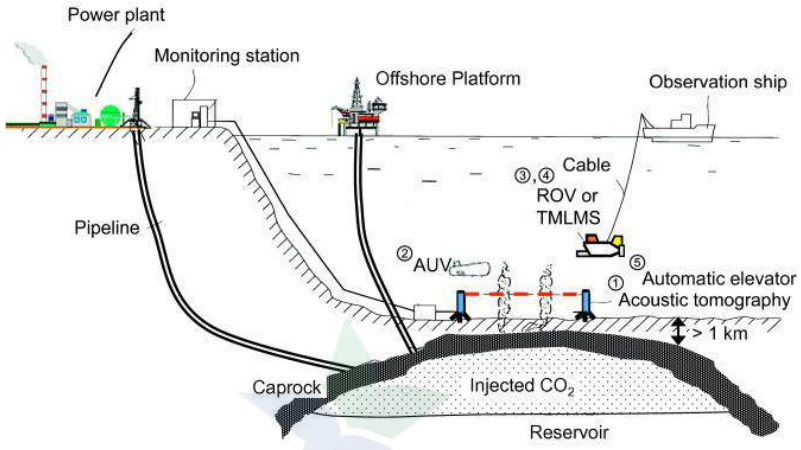


Figure 21. Strategy for detection and monitoring of CO_2 leakage in sub-seabed CCS. Reproduced with permission from [265], Elsevier, 2013.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

6. Outlook and Challenges

CiteSpace is a bibliometric software, which has been applied in different research fields in recent years. It can be used to analyze co-citation relationships, cooperative relationships, topic co-occurrence and future development trends. In this section, CiteSpace (V6.1) is used as the research tool and visual analysis is used to study 265 pieces of literature reviewed above. Through visual analysis, we can deeply understand the current research focus and future research direction in the field of CCUS.

6.1. Keyword Co-Occurrence and Cluster Analysis

Keywords are a high-level summary of the article and the core research content of the literature. Through the keyword co-occurrence map, we can analyze the current research hotspots and grasp the future research direction. The larger the node, the more frequently keywords appear. Therefore, it can be seen from Figure 22 that the current research focus in this field is CO_2 capture and storage. Among them, in CO_2 capture, the adsorption method is the research hotspot, while activated carbon is the research hotspot in the adsorption method. The main reason is that the price of activated carbon is low and the source is wide, which can significantly reduce the cost of carbon capture. Ionic liquids and metal–organic frameworks are also the current research hotspots, mainly because they can be functionalized by introducing functional groups and other methods to improve their CO_2 capture capacity. In CO_2 storage, the injection process has been studied more, because the risk of CO_2 leakage during the injection process is the highest. As for storage sites, the saline aquifers are the focus of current research, mainly due to their large storage potential, wide distribution and fewer restrictions. CO_2 utilization has not formed such a large node as storage and capture, because there are many CO_2 utilization routes, and there are no particularly advantageous utilization routes, all of which have more or fewer disadvantages. At present, the research focuses on the catalyst for CO_2 chemical conversion and the production of biofuels. Copper-based catalysts have attracted more attention. It is widely used in CO_2 catalytic hydrogenation to methanol. Methanol can be used to supplement or partly replace petroleum fuels, so methanol from CO_2 has broad application prospects and is of great significance to the utilization of CO_2. Using microalgae and other microorganisms to convert CO_2 into biofuels is also a research hotspot. It can also be used to replace traditional petroleum fuels, and these biofuels may be carbon negative.

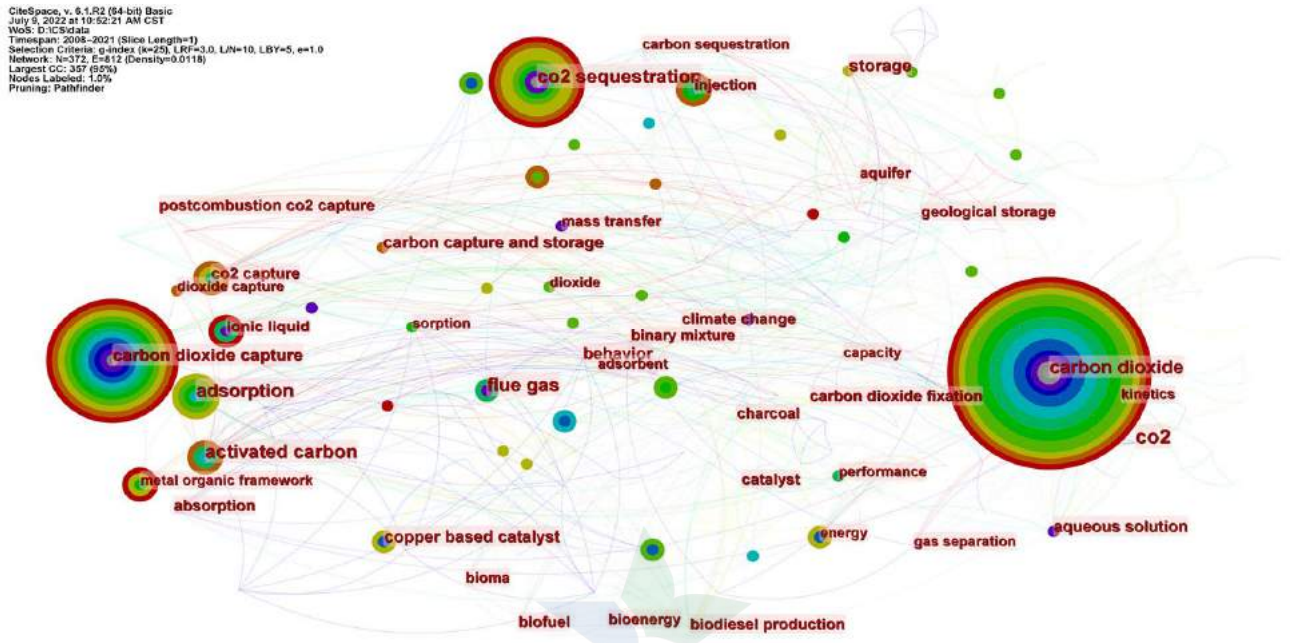


Figure 22. Keyword co-occurrence map.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Based on the keyword map, CiteSpace is used for clustering analysis, and the clustering map shown in Figure 23 is obtained. It can be seen from Figure 23 that the cluster module value Q = 0.7714 > 0.3, and the cluster average contour value S = 0.8951 > 0.5, indicating that the cluster is reasonable and the cluster structure is significant. Cluster analysis generated a total of 13 categories. Cluster 0 # is an ionic liquid, which is a new "green solvent" and is widely used in the field of gas absorption. At present, the research focus in this field is to connect ionic liquids with specific functional groups to obtain functional ionic liquids, so as to improve their CO_2 capture capacity. Of course, reducing the production price of ionic liquids is also the future research direction. Cluster 1 #, 7 #, 11 # and 14 # are all about CO_2 storage. The main reason is that CO_2 storage technology is one of the most effective technologies to achieve the goal of carbon neutralization, and it can store a large amount of CO_2. On the other hand, when CO_2 is sequestered, it can also be used for oil displacement, and coalbed methane displacement, generating additional economic benefits. Therefore, it has attracted extensive attention from all countries in the world. Cluster 2 # assessment is also related to CO_2 storage. Before CO_2 storage, the reservoir capacity needs to be evaluated to ensure that the reservoir has the capacity to store CO_2 on a large scale. It is also necessary to evaluate the integrity of the caprock to prevent CO_2 leakage through the caprock. The hydrogeological environment and geological structure of the storage area also need to be assessed to ensure long-term storage of CO_2. Cluster 9 # is a carbon credit, which is an important tool to slow down global warming. Carbon credit trading takes carbon emission allowances as a scarce resource and has commodity attributes for public trading, which is the core economic means to achieve carbon emission reduction. But the current carbon credits lack a unified standard, hindering globally coordinated action on climate issues. At the same time, in addition to the influence of market factors, policy factors are more likely to affect the carbon trading market. Therefore, it is necessary to establish a globally unified carbon emissions trading system, establish a sound carbon emissions trading market supervision system, and accelerate the construction of a mature carbon trading market. Cluster 10 # is mineral carbonization, which is similar to CO_2 flooding. It can not only effectively fix CO_2, but also may generate additional benefits. Mineralization of alkaline solid waste is the future research direction, mainly because of its low cost, and it can also play a certain role in the utilization of solid waste to achieve a win-win situation. It can also be seen from the side that CO_2 storage, which can generate economic benefits, is the focus of global scholars. Cluster 12 # is a nanoparticle. The main application of nanoparticles is the solid adsorption technology of CO_2. Porous organic polymers (POPs), metal–organic frameworks (MOFs), mesoporous materials, etc. belong to the category of nanomaterials. Nanomaterials have large chemical activity and surface energy and are easy to combine with foreign atoms to form stable structures. As an adsorbent, it has the following advantages: super adsorption capacity, Wide application range of pH, and high selectivity. Therefore, nanomaterials are the development focus of solid adsorption technology in the future.

6.2. Analysis of Cooperation Networks between Countries and Institutions

From Figure 24, it can be seen that the countries with the largest number of publications are China (77), the United States (50), Australia (43), Malaysia (19), the United Kingdom (18), India (15), Japan (15), South Korea (13), Canada (13), Iran (9) and Germany (9). In addition to Australia and Malaysia, the carbon emissions of the remaining nine countries are among the top ten in the world. This shows that these big carbon-emitting countries have all noticed the impact of greenhouse gases (especially CO_2) on the Earth's environment. At the same time, these countries have also taken action to support some institutions and scholars to study how to reduce the CO_2 content in the atmosphere. The number of papers published by China, the United States and Australia is far ahead of other countries, indicating that these three countries have more research on CCUS. As can be seen from Figure 24, China has more cooperation with Australia and the United States, while other countries have less cooperation. On the whole, there is little cooperation between countries at present, and

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

international cooperation needs to be strengthened in the future to jointly tackle global warming. It can be seen from Figure 25 that the institutions with more documents (only those with more than four documents) mainly include: Monash Univ (20), Chinese Acad Sci (13), Univ Melbourne (6), Univ Sains Malaysia (5), China Univ Petr East China (4), Carnegie Mellon Univ (4), Cranfield Univ (4), Kunming Univ Sci & Technol (4), Chongqing Univ (4), Dalian Univ Technol (4), Curtin Univ (4). These institutions are all universities, and mainly universities from Australia and China. Among them, Monash University in Australia and the Chinese Academy of Sciences in China are far ahead of other universities in terms of the number of papers issued, which shows that these two universities are at the forefront of CCUS research. Monash University has more cooperation with the Malaysian University of Science and other universities such as Carnegie Mellon University, Cranfield University and other American and European universities, while the Chinese Academy of Sciences has less cooperation with other universities. In general, the overall cooperation density is low, and all universities and institutions should actively cooperate to jointly cope with global warming.

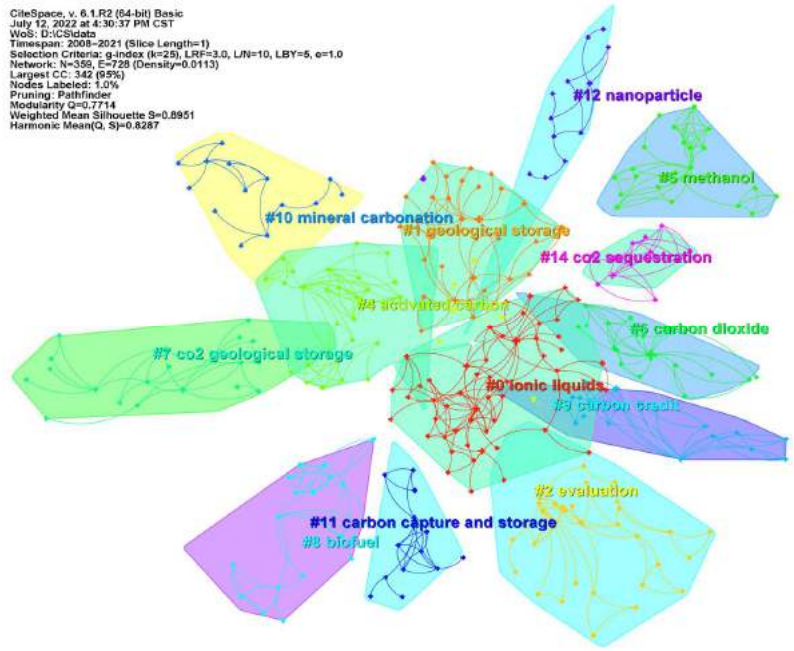


Figure 23. Keyword clustering map.

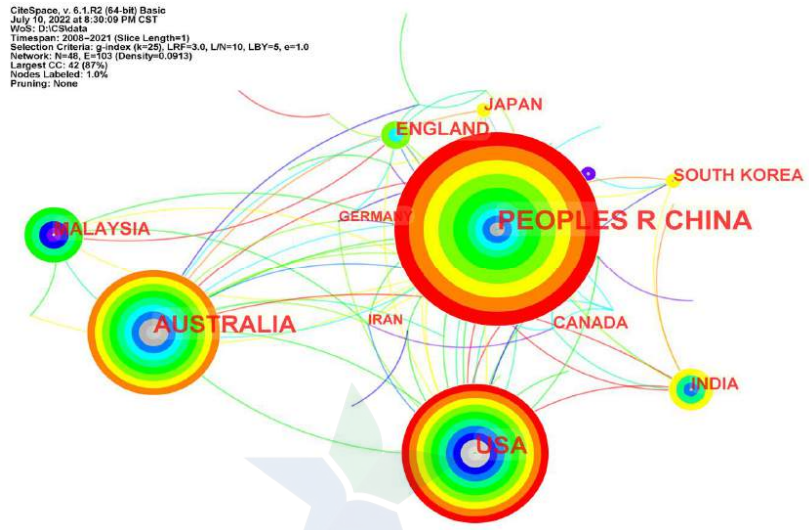


Figure 24. National co-occurrence atlas.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

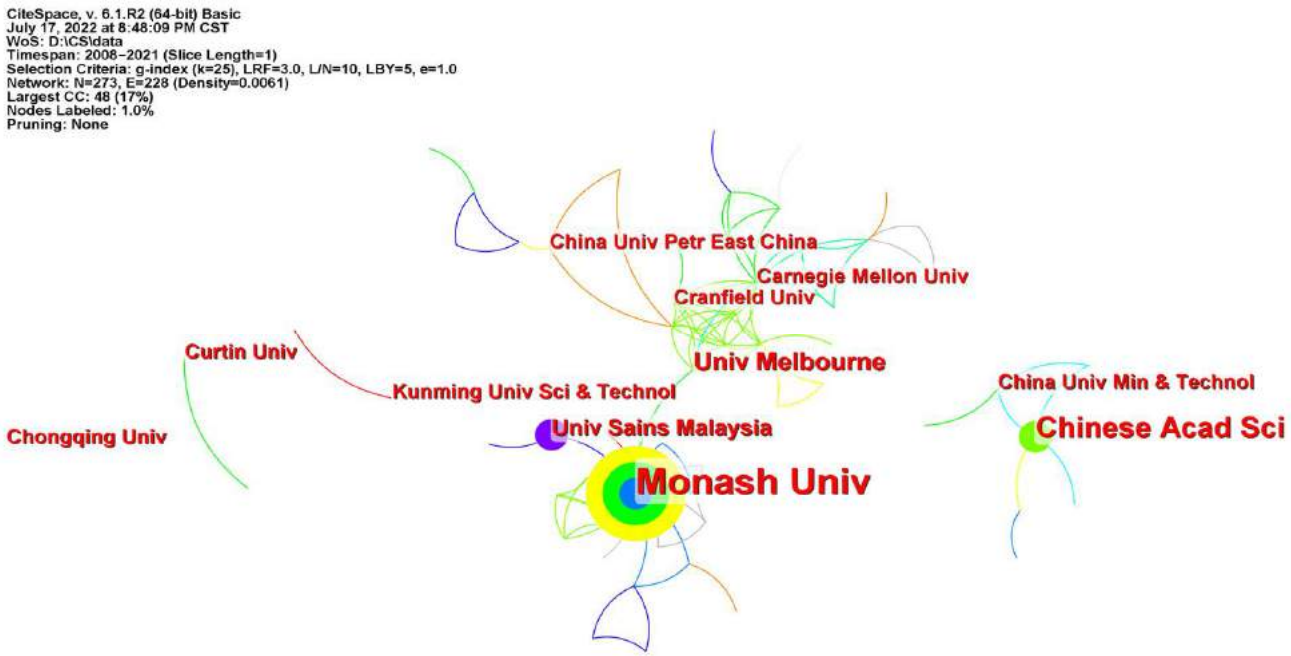


Figure 25. Organization co-occurrence map.

6.3. Keyword Highlighting Analysis

It can be seen from Figure 26 that from 2012 to 2016, the mass transfer process of CO_2 is a research hotspot, and the capture and storage of CO_2 involve the mass transfer of CO_2. The research on the mass transfer process can help capture and store CO_2 better. The research hotspot from 2013 to 2014 is hydrogen production, mainly because catalytic hydrogenation of CO_2 is the most potential technology in CO_2 chemical conversion, but the source of hydrogen is a problem. Only by using renewable energy to produce clean hydrogen, can it really play a role in the utilization of CO_2. The research hotspot in 2014–2015 is simulation. Using software to simulate CO_2 transport and storage processes can help CCUS technology develop faster. The research hotspot in 2015–2017 is transformation. Through a chemical reaction, mineralization and biological utilization, CO_2 can be transformed into useful products to reduce the CO_2 content in the atmosphere. The research hotspot in 2016–2017 is water, and saline water layer has received extensive attention due to its huge storage potential. The research hotspot in 2016–2018 is a CH_4 model for making it from CO_2 that can not only reduce the CO_2 content in the atmosphere but also solve the global energy crisis, which can be said to be killing two birds with one stone. At present, the main problem is the transformation cost and efficiency. The model mainly refers to the decision-making model, which is used for the selection of CO_2 storage sites. Because the selection of a CO_2 storage site is affected by many factors, and each factor is crisscrossed, it is difficult to make the optimal choice only by subjective inference and experience. Therefore, a decision model is established to select the storage site of CO_2. In recent years, the research focus in the CCUS field is CO_2 storage and supercritical CO_2. As mentioned earlier, CO_2 storage is an indispensable part of achieving the goal of carbon neutrality. Supercritical CO_2 has both gaseous and liquid properties, which makes it widely used. Therefore, it is also the current research hotspot.

6.4. Challenge

Based on the above overview of CCUS technology, the current challenges faced by CCUS technology are as follows:

(1) Technology

At present, CCUS technology has some disadvantages, such as high energy consumption of traditional chemical absorption technology, evaporation and oxidative degradation

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

of absorbent, which increase the operation cost. The CO_2 selectivity of physical absorption technology is weak. New capture technologies such as ionic liquids are expensive and complicated to manufacture. The process of solid adsorption technology is complicated, and it is difficult for a single set of equipment to ensure the long-term operation of the process, with high investment. Low-temperature separation technology has high energy consumption, and microalgae, chemical chain combustion and electrochemical technology are difficult to achieve long-term stable operation. At the same time, the flue gas contains a lot of impurities, which will affect the efficiency of CO_2 capture. These impurities will also affect CO_2 pipeline transportation and threaten the integrity of the pipeline. At present, there is little research in this area, which needs further in-depth study. In CO_2-enhanced energy production, the miscibility of CO_2 and CH_4 will reduce the recovery of CH_4 and increase the exploitation cost. CO_2 will also affect the surface structure of shale and coal, resulting in a decrease in CO_2 adsorption capacity and permeability. In the chemical conversion process of CO_2, due to the thermodynamic stability and kinetic inertia of CO_2, the conversion process is very difficult. Although many CO_2 conversion routes have been developed, most of them only consider the possibility of reaction and do not consider economic factors. The main problem of CO_2 catalytic hydrogenation is cheap and clean H_2. Photocatalysis and electrocatalysis are currently facing challenges such as low productivity, difficult product separation and poor catalyst stability. In CO_2 storage, the main problem is CO_2 leakage. Whether in the injection process or long-term storage process, CO_2 leakage is the first problem to be considered. The unpredictable leakage risk restricts the development of CO_2 storage technology. To sum up, we should strengthen the research and development of CCUS technology, improve the feasibility of the technology, and realize large-scale commercial promotion and application as soon as possible.

Top 10 Keywords with the Strongest Citation Bursts

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2008 – 2021
co2	2008	3.65	**2008**	2012	
mass transfer	2008	2.2	**2012**	2016	
hydrogen production	2008	2.52	**2013**	2014	
simulation	2008	2.94	**2014**	2015	
conversion	2008	2.56	**2015**	2017	
water	2008	2.55	**2016**	2017	
ch4	2008	2.51	**2016**	2018	
model	2008	2.4	**2016**	2018	
co2 sequestration	2008	3.58	**2017**	2021	
supercritical co2	2008	2.89	**2019**	2021	

Figure 26. Keyword highlighting.

(2) Economy

Economic problems are an important factor restricting the development of CCUS technology. The capture, transportation, utilization and storage of CO_2 are faced with high costs. Except for large CO_2_EOR projects, other CCUS projects have difficulty achieving profitability. Long-term high-cost investment and low-profit returns make investors lack investment motivation, which restricts the commercialization of CCUS. Countries should establish special funds for CCUS, introduce economic incentives and preferential tax policies, and help enterprises reduce CCUS operating costs. Without government support, current CCUS projects find it difficult to achieve profitability, which seriously affects the enthusiasm of enterprises to carry out CCUS demonstration projects.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

(3) Policy

At present, most countries in the world have not issued policies, laws, regulations, technical specifications and standard systems on CCUS. They are important links in the industrialization development of CCUS, which also restricts the development of CCUS technology. At the same time, the policies that have been issued are not targeted, and CCUS needs more specific support policies. Therefore, countries all over the world should improve and optimize the CCUS legal and regulatory system as soon as possible, formulate a scientific and reasonable standard system for the construction, operation, supervision and termination of CCUS projects, and standardize CCUS activities. There should be a multi-industry cooperation mechanism to promote the development of the whole industry chain of CCUS. Establish a carbon emission trading market, incorporate CCUS into the carbon emission trading system, accelerate the establishment of carbon emission reduction methodology for CCUS projects, and provide a theoretical basis for calculating the CO_2 emission reduction of CCUS projects. In addition, with the energy crisis caused by the conflict between Russia and Ukraine, many countries have weakened the implementation of the carbon neutral target, or even abandoned the carbon neutral target, which also restricts the development of CCUS technology. Governments should deliver on their commitment to CCUS and play a key role in facilitating its deployment. At the same time, an international unified regulatory framework should be established to encourage the private sector to actively participate in and invest in CCUS projects, which will accelerate the commercialization of CCUS technology. In the future, CO_2 may become a resource needed by various economic sectors, which will help to achieve climate goals.

The development of CCUS technology will not only face the above challenges, but it may also bring environmental problems. For example, leakage risks are prone to occur during CO_2 transportation and storage, which will pollute the soil and damage local water quality, and even cause harm to local people. At the same time, this will affect the public acceptance of CCUS technology and hinder its development.

7. Conclusions

In order to achieve the goal of CO_2 emission reduction, CCUS technology has become a research hotspot. This paper summarizes various technologies and problems related to CCUS, and draws the following conclusions:

(1) With the emergence of new solvents such as solvent mixed absorption technology and ionic liquid absorption technology, solvent absorption technology will still be the first choice for large-scale CO_2 capture in the future. Solid adsorption technology is currently a research hotspot, especially metal–organic frameworks, whose functional characteristics make them have great development potential for the future. The development of mixed-matrix membranes, gas-absorbing membranes, and facilitative membranes has improved the permeability and selectivity of membrane separation technologies. Low-temperature separation technology, microalgae, electrochemical looping combustion technology and electrochemical technology have made some important progress in recent years, but there is still a long way to go before large-scale commercial use.

(2) Pipeline transportation is the most economical way to transport large amounts of CO_2. For long-distance pipeline transportation, dense phase transportation and supercritical transportation are more economical. In the pipeline design process, the temperature and pressure changes along the line should be considered to prevent phase changes. At the same time, it is also important to consider the impact of impurities in CO_2 on pipeline operation, which will not only affect the phase characteristics and physical parameters of CO_2 but also threaten the integrity of the pipeline. At present, the relevant knowledge system of CO_2 pipeline transportation is not perfect and needs further research.

(3) In enhanced energy production technologies, studying the adsorption behavior of CO_2 is the key to enhancing recovery and increasing storage capacity. At the same time, attention should be paid to the influence of CO_2 on the reservoir to prevent the reduction of the permeability of the reservoir. In the chemical conversion of CO_2, catalytic hydrogenation

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

of CO_2 is the most promising technology, but cheap and clean H_2 is currently the main problem. Coupling electrocatalytic technology with renewable energy is an important development direction for the future. Catalysts are required for almost all CO_2 chemical conversions, and catalyst activity and selectivity can be enhanced by doping and alloying with foreign atoms. CO_2 mineralization requires a large amount of energy, and the energy in the exothermic reaction should be recovered to make the mineralization economical.

(4) In CO_2 storage, geological storage is currently the main method. The selection of a storage site is the first step of geological storage, but there are few studies on this aspect at present. The storage mechanism is the theoretical basis of geological storage and determines the efficiency of geological storage. Preventing CO_2 leakage is an issue that must be considered in geological storage, and CO_2 leakage may pollute groundwater. At the same time, the impact of geochemical reactions on the caprock cannot be ignored. At present, the monitoring technology of CO_2 storage is relatively mature and has been applied in different projects. In ocean storage, the CO_2 injection depth is different, and the storage effect is also different. Due to factors such as storage costs and the international law of the sea, ocean storage has not yet entered the stage of practical application.

Finally, the research status, research hotspots and cooperation networks of CCUS are summarized using CiteSpace software. To sum up, CCUS technology is developing rapidly, which is a favorable choice to deal with climate change. Although CCUS technology currently faces some technical challenges, high cost is the key factor hindering the development of CCUS technology, which limits the large-scale deployment of CCUS technology. Government fiscal policy is a key means to promote the development of CCUS technology. The government should promote the rapid development of related industries through direct investment. At the same time, in order to improve public awareness of the environmental impact, public education and publicity on CCUS technology should be strengthened.

Author Contributions: Introduction: E.L.; Review of CO_2 capture and CO_2 transport: E.L.; Review of CO_2 utilization: X.L.; Review of CO_2 storage: D.W.; Outlook and challenges: E.L., X.L. and D.W. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported by Sinopec's scientific research project (Grant No. 34550139-22-FW2022-0008).

Data Availability Statement: Data are contained within the article.

Conflicts of Interest: The authors declare that they have no known competing financial interest or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

1. Leung, D.Y.C.; Caramanna, G.; Maroto-Valer, M.M. An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2014**, *39*, 426–443. [CrossRef]
2. Li, Q.; Wu, Z.S.; Li, X.C. Prediction of CO_2 leakage during sequestration into marine sedimentary strata. *Energy Convers. Manag.* **2009**, *50*, 503–509. [CrossRef]
3. Liu, D.Q.; Li, Y.L.; Yang, S.; Agarwal, R.K. CO_2 sequestration with enhanced shale gas recovery. *Energy Sources Part A Recover. Util. Environ. Eff.* **2021**, *43*, 3227–3237. [CrossRef]
4. Zhan, J.; Chen, Z.X.; Zhang, Y.; Zheng, Z.G.; Deng, Q. Will the future of shale reservoirs lie in CO_2 geological sequestration? *Sci. China Technol. Sci.* **2020**, *63*, 1154–1163. [CrossRef]
5. Ganesh, I. Conversion of carbon dioxide into methanol—A potential liquid fuel: Fundamental challenges and opportunities (a review). *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2014**, *31*, 221–257. [CrossRef]
6. Yao, J.; Han, H.D.; Yang, Y.; Song, Y.M.; Li, G.H. A Review of Recent Progress of Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) in China. *Appl. Sci.* **2023**, *13*, 1169. [CrossRef]
7. Hong, W.Y. A techno-economic review on carbon capture, utilisation and storage systems for achieving a net-zero CO_2 emissions future. *Carbon Capture Sci. Technol.* **2022**, *3*, 100044. [CrossRef]
8. Liu, G.Z.; Cai, B.F.; Li, Q.; Zhang, X.; Ouyang, T. China's pathways of CO_2 capture, utilization and storage under carbon neutrality vision 2060. *Carbon Manag.* **2022**, *13*, 435–449. [CrossRef]
9. Chen, S.Y.; Liu, J.F.; Zhang, Q.; Teng, F.; McLellan, B.C. A critical review on deployment planning and risk analysis of carbon capture, utilization, and storage (CCUS) toward carbon neutrality. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2022**, *167*, 112537. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

10. Shen, M.H.; Tong, L.G.; Yin, S.W.; Liu, C.P.; Wang, L.; Feng, W.J.; Ding, Y.L. Cryogenic technology progress for CO_2 capture under carbon neutrality goals: A review. *Sep. Purif. Technol.* **2022**, *299*, 121734. [CrossRef]
11. Zhang, Z.E.; Pan, S.Y.; Li, H.; Cai, J.C.; Olabi, A.G.; Anthony, E.J.; Manovic, V. Recent advances in carbon dioxide utilization. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2020**, *125*, 109799. [CrossRef]
12. Theo, W.L.; Lim, J.S.; Hashim, H.; Mustaffa, A.A.; Ho, W.S. Review of pre-combustion capture and ionic liquid in carbon capture and storage. *Appl. Energy* **2016**, *183*, 1633–1663. [CrossRef]
13. Mukherjee, A.; Okolie, J.A.; Abdelrasoul, A.; Niu, C.; Dalai, A.K. Review of post-combustion carbon dioxide capture technologies using activated carbon. *J. Environ. Sci.* **2019**, *83*, 46–63. [CrossRef] [PubMed]
14. Kunze, C.; Spliethoff, H. Assessment of oxy-fuel, pre- and post-combustion-based carbon capture for future IGCC plants. *Appl. Energy* **2012**, *94*, 109–116. [CrossRef]
15. Omoregbe, O.; Mustapha, A.N.; Steinberger-Wilckens, R.; El-Kharouf, A.; Onyeaka, H. Carbon capture technologies for climate change mitigation: A bibliometric analysis of the scientific discourse during 1998–2018. *Energy Rep.* **2020**, *6*, 1200–1212. [CrossRef]
16. Nanda, S.; Reddy, S.N.; Mitra, S.K.; Kozinski, J.A. The progressive routes for carbon capture and sequestration. *Energy Sci. Eng.* **2016**, *4*, 99–122. [CrossRef]
17. Al-Mamoori, A.; Krishnamurthy, A.; Rownaghi, A.A.; Rezaei, F. Carbon Capture and Utilization Update. *Energy Technol.* **2017**, *5*, 834–849. [CrossRef]
18. Hayyan, M.; Hashim, M.A.; Hayyan, A.; Al-Saadi, M.A.; AlNashef, I.M.; Mirghani, M.E.S.; Saheed, O.K. Are deep eutectic solvents benign or toxic? *Chemosphere* **2013**, *90*, 2193–2195. [CrossRef]
19. Liang, Z.W.; Rongwong, W.; Liu, H.L.; Fu, K.Y.; Gao, H.X.; Cao, F.; Zhang, R.; Sema, T.; Henni, A.; Sumon, K.; et al. Recent progress and new developments in post-combustion carbon-capture technology with amine based solvents. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2015**, *40*, 26–54. [CrossRef]
20. Yu, C.H.; Huang, C.H.; Tan, C.S. A Review of CO_2 Capture by Absorption and Adsorption. *Aerosol Air Qual. Res.* **2012**, *12*, 745–769. [CrossRef]
21. Mumford, K.A.; Wu, Y.; Smith, K.H.; Stevens, G.W. Review of solvent based carbon-dioxide capture technologies. *Front. Chem. Sci. Eng.* **2015**, *9*, 125–141. [CrossRef]
22. Budzianowski, W.M. Single solvents, solvent blends, and advanced solvent systems in CO_2 capture by absorption: A review. *Int. J. Glob. Warm.* **2015**, *7*, 184–225. [CrossRef]
23. Weaver, K.D.; Kim, H.J.; Sun, J.Z.; MacFarlane, D.R.; Elliott, G.D. Cyto-toxicity and biocompatibility of a family of choline phosphate ionic liquids designed for pharmaceutical applications. *Green Chem.* **2010**, *12*, 507–513. [CrossRef]
24. Wagle, D.V.; Zhao, H.; Baker, G.A. Deep Eutectic Solvents: Sustainable Media for Nanoscale and Functional Materials. *Acc. Chem. Res.* **2014**, *47*, 2299–2308. [CrossRef]
25. Carriazo, D.; Serrano, M.C.; Gutierrez, M.C.; Ferrer, M.L.; del Monte, F. Deep-eutectic solvents playing multiple roles in the synthesis of polymers and related materials. *Chem. Soc. Rev.* **2012**, *41*, 4996–5014. [CrossRef]
26. Lian, S.H.; Song, C.F.; Liu, Q.L.; Duan, E.H.; Ren, H.W.; Kitamura, Y. Recent advances in ionic liquids-based hybrid processes for CO_2 capture and utilization. *J. Environ. Sci.* **2021**, *99*, 281–295. [CrossRef] [PubMed]
27. Sarmad, S.; Mikkola, J.P.; Ji, X.Y. Carbon Dioxide Capture with Ionic Liquids and Deep Eutectic Solvents: A New Generation of Sorbents. *ChemSusChem* **2017**, *10*, 324–352. [CrossRef]
28. Xu, Y.J. CO_2 absorption behavior of azole-based protic ionic liquids: Influence of the alkalinity and physicochemical properties. *J. CO_2 Util.* **2017**, *19*, 1–8. [CrossRef]
29. Aghaie, M.; Rezaei, N.; Zendehboudi, S. A systematic review on CO_2 capture with ionic liquids: Current status and future prospects. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2018**, *96*, 502–525. [CrossRef]
30. Krishnan, A.; Gopinath, K.P.; Vo, D.V.N.; Malolan, R.; Nagarajan, V.M.; Arun, J. Ionic liquids, deep eutectic solvents and liquid polymers as green solvents in carbon capture technologies: A review. *Environ. Chem. Lett.* **2020**, *18*, 2031–2054. [CrossRef]
31. Shiflett, M.B.; Yokozeki, A. Separation of CO_2 and H2S using room-temperature ionic liquid [bmim][PF6]. *Fluid Phase Equilibria* **2010**, *294*, 105–113. [CrossRef]
32. Ramdin, M.; de Loos, T.W.; Vlugt, T.J.H. State-of-the-Art of CO_2 Capture with Ionic Liquids. *Ind. Eng. Chem. Res.* **2012**, *51*, 8149–8177. [CrossRef]
33. Creamer, A.E.; Gao, B. Carbon-Based Adsorbents for Postcombustion CO_2 Capture: A Critical Review. *Environ. Sci. Technol.* **2016**, *50*, 7276–7289. [CrossRef] [PubMed]
34. Ahmed, R.; Liu, G.J.; Yousaf, B.; Abbas, Q.; Ullah, H.; Ali, M.U. Recent advances in carbon-based renewable adsorbent for selective carbon dioxide capture and separation—A review. *J. Clean. Prod.* **2020**, *242*, 118409. [CrossRef]
35. Wang, Q.A.; Luo, J.Z.; Zhong, Z.Y.; Borgna, A. CO_2 capture by solid adsorbents and their applications: Current status and new trends. *Energy Environ. Sci.* **2011**, *4*, 42–55. [CrossRef]
36. Olajire, A.A. CO_2 capture and separation technologies for end-of-pipe applications—A review. *Energy* **2010**, *35*, 2610–2628. [CrossRef]
37. Baruah, D.; Baruah, D.C. Modeling of biomass gasification: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2014**, *39*, 806–815. [CrossRef]
38. Laird, D.A.; Brown, R.C.; Amonette, J.E.; Lehmann, J. Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar. *Biofuels Bioprod. Biorefin.* **2009**, *3*, 547–562. [CrossRef]
39. Guizani, C.; Haddad, K.; Jeguirim, M.; Colin, B.; Limousy, L. Combustion characteristics and kinetics of torrefied olive pomace. *Energy* **2016**, *107*, 453–463. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

40. Rousset, P.; Macedo, L.; Commandre, J.M.; Moreira, A. Biomass torrefaction under different oxygen concentrations and its effect on the composition of the solid by-product. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **2012**, *96*, 86–91. [CrossRef]
41. Sabouni, R.; Kazemian, H.; Rohani, S. Carbon dioxide capturing technologies: A review focusing on metal organic framework materials (MOFs). *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2014**, *21*, 5427–5449. [CrossRef]
42. Choi, S.; Drese, J.H.; Jones, C.W. Adsorbent Materials for Carbon Dioxide Capture from Large Anthropogenic Point Sources. *ChemSusChem* **2009**, *2*, 796–854. [CrossRef]
43. Boyjoo, Y.; Cheng, Y.; Zhong, H.; Tian, H.; Pan, J.; Pareek, V.K.; Jiang, S.P.; Lamonier, J.F.; Jaroniec, M.; Liu, J. From waste Coca Cola (R) to activated carbons with impressive capabilities for CO_2 adsorption and supercapacitors. *Carbon* **2017**, *116*, 490–499. [CrossRef]
44. Alabadi, A.; Razzaque, S.; Yang, Y.W.; Chen, S.; Tan, B. Highly porous activated carbon materials from carbonized biomass with high CO_2 capturing capacity. *Chem. Eng. J.* **2015**, *281*, 606–612. [CrossRef]
45. Nunell, G.V.; Fernandez, M.E.; Bonelli, P.R.; Cukierman, A.L. Conversion of biomass from an invasive species into activated carbons for removal of nitrate from wastewater. *Biomass Bioenergy* **2012**, *44*, 87–95. [CrossRef]
46. Rashidi, N.A.; Yusup, S. An overview of activated carbons utilization for the post-combustion carbon dioxide capture. *J. CO_2 Util.* **2016**, *13*, 1–16. [CrossRef]
47. Yaumi, A.L.; Abu Bakar, M.Z.; Hameed, B.H. Recent advances in functionalized composite solid materials for carbon dioxide capture. *Energy* **2017**, *124*, 461–480. [CrossRef]
48. Agrafioti, E.; Bouras, G.; Kalderis, D.; Diamadopoulos, E. Biochar production by sewage sludge pyrolysis. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **2013**, *101*, 72–78. [CrossRef]
49. Al Bahri, M.; Calvo, L.; Gilarranz, M.A.; Rodriguez, J.J. Activated carbon from grape seeds upon chemical activation with phosphoric acid: Application to the adsorption of diuron from water. *Chem. Eng. J.* **2012**, *203*, 348–356. [CrossRef]
50. Li, P.; Zeng, H.C. Hierarchical Nanocomposite by the Integration of Reduced Graphene Oxide and Amorphous Carbon with Ultrafine MgO Nanocrystallites for Enhanced CO_2 Capture. *Environ. Sci. Technol.* **2017**, *51*, 12998–13007. [CrossRef]
51. Low, J.X.; Yu, J.G.; Ho, W.K. Graphene-Based Photocatalysts for CO_2 Reduction to Solar Fuel. *J. Phys. Chem. Lett.* **2015**, *6*, 4244–4251. [CrossRef] [PubMed]
52. Novacek, M.; Jankovsky, O.; Luxa, J.; Sedmidubsky, D.; Pumera, M.; Fila, V.; Lhotka, M.; Klimova, K.; Matejkova, S.; Sofer, Z. Tuning of graphene oxide composition by multiple oxidations for carbon dioxide storage and capture of toxic metals. *J. Mater. Chem. A* **2017**, *5*, 2739–2748. [CrossRef]
53. Nasrollahzadeh, M.; Atarod, M.; Jaleh, B.; Gandomirouzbahani, M. In situ green synthesis of Ag nanoparticles on graphene oxide/TiO_2 nanocomposite and their catalytic activity for the reduction of 4-nitrophenol, congo red and methylene blue. *Ceram. Int.* **2016**, *42*, 8587–8596. [CrossRef]
54. Szczesniak, B.; Choma, J.; Jaroniec, M. Gas adsorption properties of graphene-based materials. *Adv. Colloid Interface Sci.* **2017**, *243*, 46–59. [CrossRef]
55. Mishra, A.K.; Ramaprabhu, S. Nanostructured polyaniline decorated graphene sheets for reversible CO_2 capture. *J. Mater. Chem.* **2012**, *22*, 3708–3712. [CrossRef]
56. Ding, M.L.; Flaig, R.W.; Jiang, H.L.; Yaghi, O.M. Carbon capture and conversion using metal-organic frameworks and MOF-based materials. *Chem. Soc. Rev.* **2019**, *48*, 2783–2828. [CrossRef]
57. Pei, X.K.; Chen, Y.F.; Li, S.Q.; Zhang, S.H.; Feng, X.; Zhou, J.W.; Wang, B. Metal-Organic Frameworks Derived Porous Carbons: Syntheses, Porosity and Gas Sorption Properties. *Chin. J. Chem.* **2016**, *34*, 157–174. [CrossRef]
58. Zhang, Z.J.; Zhao, Y.G.; Gong, Q.H.; Li, Z.; Li, J. MOFs for CO_2 capture and separation from flue gas mixtures: The effect of multifunctional sites on their adsorption capacity and selectivity. *Chem. Commun.* **2013**, *49*, 653–661. [CrossRef] [PubMed]
59. Pardakhti, M.; Jafari, T.; Tobin, Z.; Dutta, B.; Moharreri, E.; Shemshaki, N.S.; Suib, S.; Srivastava, R. Trends in Solid Adsorbent Materials Development for CO_2 Capture. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2019**, *11*, 34533–34559. [CrossRef]
60. Singh, G.; Lee, J.; Karakoti, A.; Bahadur, R.; Yi, J.B.; Zhao, D.Y.; AlBahily, K.; Vinu, A. Emerging trends in porous materials for $CO_{(2)}$capture and conversion. *Chem. Soc. Rev.* **2020**, *49*, 4360–4404. [CrossRef]
61. Reddy, M.S.B.; Ponnamma, D.; Sadasivuni, K.K.; Kumar, B.; Abdullah, A.M. Carbon dioxide adsorption based on porous materials. *RSC Adv.* **2021**, *11*, 12658–12681. [CrossRef] [PubMed]
62. Li, W.; Wu, Z.X.; Wang, J.X.; Elzatahry, A.A.; Zhao, D.Y. A Perspective on Mesoporous TiO_2 Materials. *Chem. Mater.* **2014**, *26*, 287–298. [CrossRef]
63. Feist, B.J.; Hill, J.M. CO_2 and H_2S Adsorption on gamma-Al_2O_3-Supported Lanthanum Oxide. *Energy Fuels* **2015**, *29*, 6049–6056. [CrossRef]
64. Song, C.X.; Zhao, J.; Li, H.H.; Luo, S.Z.; Tang, Y.B.; Wang, D.B. Design, controlled synthesis, and properties of 2D CeO_2/NiO heterostructure assemblies. *CrystEngComm* **2017**, *19*, 7339–7346. [CrossRef]
65. Siagiana, U.W.R.; Raksajati, A.; Himma, N.F.; Khoiruddin, K.; Wenten, I.G. Membrane-based carbon capture technologies: Membrane gas separation vs. membrane contactor. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* **2019**, *67*, 172–195. [CrossRef]
66. Norahim, N.; Yaisanga, P.; Faungnawakij, K.; Charinpanitkul, T.; Klaysom, C. Recent Membrane Developments for CO_2 Separation and Capture. *Chem. Eng. Technol.* **2018**, *41*, 211–223. [CrossRef]
67. Sanni, E.S.; Sadiku, E.R.; Okoro, E.E. Novel Systems and Membrane Technologies for Carbon Capture. *Int. J. Chem. Eng.* **2021**, *2021*, 6642906. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

68. Zhang, Z. Comparisons of various absorbent effects on carbon dioxide capture in membrane gas absorption (MGA) process. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* **2016**, *31*, 589–595. [CrossRef]
69. Zhang, Y.; Sunarso, J.; Liu, S.M.; Wang, R. Current status and development of membranes for CO_2/CH_4 separation: A review. *Int. J. Greenh. Gas Control.* **2013**, *12*, 84–107. [CrossRef]
70. Ahmad, A.L.; Ramli, W.K.W. Hydrophobic PVDF membrane via two-stage soft coagulation bath system for Membrane Gas Absorption of CO_2. *Sep. Purif. Technol.* **2013**, *103*, 230–240. [CrossRef]
71. Ahmad, A.L.; Ramli, W.K.W.; Fernando, W.J.N.; Daud, W.R.W. Effect of ethanol concentration in water coagulation bath on pore geometry of PVDF membrane for Membrane Gas Absorption application in CO_2 removal. *Sep. Purif. Technol.* **2012**, *88*, 11–18. [CrossRef]
72. Lv, Y.X.; Yu, X.H.; Jia, J.J.; Tu, S.T.; Yan, J.Y.; Dahlquist, E. Fabrication and characterization of superhydrophobic polypropylene hollow fiber membranes for carbon dioxide absorption. *Appl. Energy* **2012**, *90*, 167–174. [CrossRef]
73. Khalilpour, R.; Mumford, K.; Zhai, H.B.; Abbas, A.; Stevens, G.; Rubin, E.S. Membrane-based carbon capture from flue gas: A review. *J. Clean. Prod.* **2015**, *103*, 286–300. [CrossRef]
74. Albo, J.; Tsuru, T. Thin Ionic Liquid Membranes Based on Inorganic Supports with Different Pore Sizes. *Ind. Eng. Chem. Res.* **2014**, *53*, 8045–8056. [CrossRef]
75. Santos, E.; Albo, J.; Daniel, C.I.; Portugal, C.A.M.; Crespo, J.G.; Irabien, A. Permeability modulation of Supported Magnetic Ionic Liquid Membranes (SMILMs) by an external magnetic field. *J. Membr. Sci.* **2013**, *430*, 56–61. [CrossRef]
76. Zunita, M.; Hastuti, R.; Alamsyah, A.; Khoiruddin, K.; Wenten, I.G. Ionic Liquid Membrane for Carbon Capture and Separation. *Sep. Purif. Rev.* **2021**, *51*, 261–280. [CrossRef]
77. Zhao, Y.N.; Ho, W.S.W. Steric hindrance effect on amine demonstrated in solid polymer membranes for CO_2 transport. *J. Membr. Sci.* **2012**, *415*, 132–138. [CrossRef]
78. Dai, Z.D.; Deng, L.Y. Membrane absorption using ionic liquid for pre-combustion CO_2 capture at elevated pressure and temperature. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2016**, *54*, 59–69. [CrossRef]
79. Sreenivasulu, B.; Gayatri, D.V.; Sreedhar, I.; Raghavan, K.V. A journey into the process and engineering aspects of carbon capture technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2015**, *41*, 1324–1350. [CrossRef]
80. Belaissaoui, B.; Le Moullec, Y.; Willson, D.; Favre, E. Hybrid membrane cryogenic process for post-combustion CO_2 capture. *J. Membr. Sci.* **2012**, *415*, 424–434. [CrossRef]
81. Xu, J.X.; Lin, W.S. A CO_2 cryogenic capture system for flue gas of an LNG-fired power plant. *Int. J. Hydrogen Energy* **2017**, *42*, 18674–18680. [CrossRef]
82. Song, C.F.; Liu, Q.L.; Deng, S.; Li, H.L.; Kitamura, Y. Cryogenic-based CO_2 capture technologies: State-of-the-art developments and current challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2019**, *101*, 265–278. [CrossRef]
83. Sayre, R. Microalgae: The Potential for Carbon Capture. *Bioscience* **2010**, *60*, 722–727. [CrossRef]
84. Song, C.F.; Liu, Q.L.; Qi, Y.; Chen, G.Y.; Song, Y.J.; Kansha, Y.; Kitamura, Y. Absorption-microalgae hybrid CO_2 capture and biotransformation strategy-A review. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2019**, *88*, 109–117. [CrossRef]
85. Thomas, D.M.; Mechery, J.; Paulose, S.V. Carbon dioxide capture strategies from flue gas using microalgae: A review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2016**, *23*, 16926–16940. [CrossRef]
86. Douskova, I.; Doucha, J.; Livansky, K.; Machat, J.; Novak, P.; Umysova, D.; Zachleder, V.; Vitova, M. Simultaneous flue gas bioremediation and reduction of microalgal biomass production costs. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **2009**, *82*, 179–185. [CrossRef]
87. Zhou, W.G.; Wang, J.H.; Chen, P.; Ji, C.C.; Kang, Q.Y.; Lu, B.; Li, K.; Liu, J.; Ruan, R. Bio-mitigation of carbon dioxide using microalgal systems: Advances and perspectives. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *76*, 1163–1175. [CrossRef]
88. Galinsky, N.L.; Huang, Y.; Shafiefarhood, A.; Li, F.X. Iron Oxide with Facilitated O_2^- Transport for Facile Fuel Oxidation and CO_2 Capture in a Chemical Looping Scheme. *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2013**, *1*, 364–373. [CrossRef]
89. Lisi, L.; Mancino, G.; Cimino, S. Chemical looping oxygen transfer properties of Cu-doped lanthanum oxysulphate. *Int. J. Hydrogen Energy* **2015**, *40*, 2047–2054. [CrossRef]
90. Sajen, S.; Singh, S.K.; Mungse, P.; Rayalu, S.; Watanabe, K.; Saravanan, G.; Labhasetwar, N. Mechanically Stable Mixed Metal Oxide of Cu and Mn as Oxygen Carrier for Chemical Looping Syngas Combustion. *Energy Fuels* **2016**, *30*, 7596–7603. [CrossRef]
91. Adanez, J.; Gayan, P.; Adanez-Rubio, I.; Cuadrat, A.; Mendiara, T.; Abad, A.; Garcia-Labiano, F.; de Diego, L.F. Use of Chemical-Looping processes for coal combustion with CO_2 capture. *Energy Procedia* **2013**, *37*, 540–549. [CrossRef]
92. Hu, J.W.; Galvita, V.V.; Poelman, H.; Marin, G.B. Advanced Chemical Looping Materials for CO_2 Utilization: A Review. *Materials* **2018**, *11*, 1187. [CrossRef] [PubMed]
93. Alalwan, H.A.; Alminshid, A.H. CO_2 capturing methods: Chemical looping combustion (CLC) as a promising technique. *Sci. Total Environ.* **2021**, *788*, 147850. [CrossRef] [PubMed]
94. Sharifian, R.; Wagterveld, R.M.; Digdaya, I.A.; Xiang, C.; Vermaas, D.A. Electrochemical carbon dioxide capture to close the carbon cycle. *Energy Environ. Sci.* **2021**, *14*, 781–814. [CrossRef]
95. Muroyama, A.P.; Patru, A.; Gubler, L. Review-CO(2)Separation and Transport via Electrochemical Methods. *J. Electrochem. Soc.* **2020**, *167*, 133504. [CrossRef]
96. Wang, F.; Deng, S.; Zhang, H.C.; Wang, J.T.; Zhao, J.P.; Miao, H.; Yuan, J.L.; Yan, J.Y. A comprehensive review on high-temperature fuel cells with carbon capture. *Appl. Energy* **2020**, *275*, 115342. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

97. Zhang, P.; Tong, J.J.; Huang, K.; Zhu, X.F.; Yang, W.S. The current status of high temperature electrochemistry-based CO_2 transport membranes and reactors for direct CO_2 capture and conversion. *Prog. Energy Combust. Sci.* **2021**, *82*, 100888. [CrossRef]
98. Bae, H.; Park, J.S.; Senthilkumar, S.T.; Hwang, S.M.; Kim, Y. Hybrid seawater desalination-carbon capture using modified seawater battery system. *J. Power Sources* **2019**, *410*, 99–105. [CrossRef]
99. Liu, E.B.; Peng, Y.; Peng, S.B.; Yu, B.; Chen, Q.K. Research on low carbon emission optimization operation technology of natural gas pipeline under multi-energy structure. *Pet. Sci.* **2022**, *19*, 3046–3058. [CrossRef]
100. Liu, E.B.; Peng, Y.; Ji, Y.Q.; Azimi, M.; Shi, L.M. Energy Consumption Optimization Model of Large Parallel Natural Gas Pipeline Network: Using Compressors with Multiple Operating Modes. *Energy Fuels* **2022**, *37*, 774–784. [CrossRef]
101. Lu, H.F.; Ma, X.; Huang, K.; Fu, L.D.; Azimi, M. Carbon dioxide transport via pipelines: A systematic review. *J. Clean. Prod.* **2020**, *266*, 121994. [CrossRef]
102. Xiang, Y.; Wang, Z.; Yang, X.X.; Li, Z.; Ni, W.D. The upper limit of moisture content for supercritical CO_2 pipeline transport. *J. Supercrit. Fluids* **2012**, *67*, 14–21. [CrossRef]
103. Zhang, Z.X.; Wang, G.X.; Massarotto, P.; Rudolph, V. Optimization of pipeline transport for CO_2 sequestration. *Energy Convers. Manag.* **2006**, *47*, 702–715. [CrossRef]
104. Lu, W.; Hu, H.; Qi, G.S. Effect of Pipe Diameter and Inlet Parameters on Liquid CO_2 Flow in Transportation by Pipeline with Large Height Difference. *Processes* **2019**, *7*, 756. [CrossRef]
105. Drescher, M.; Fahmi, A.; Aursand, P.; Hammer, M.; Lund, H.; Stang, J.; Austegard, A. Towards a thorough Validation of Simulation Tools for CO_2 Pipeline Transport. *Energy Procedia* **2017**, *114*, 6730–6740. [CrossRef]
106. Peletiri, S.P.; Rahmanian, N.; Mujtaba, I.M. CO_2 Pipeline Design: A Review. *Energies* **2018**, *11*, 2184. [CrossRef]
107. Chen, L.; Zhang, X.R. Simulation of Heat Transfer and System Behavior in a Supercritical CO_2 Based Thermosyphon: Effect of Pipe Diameter. *J. Heat Transf.* **2011**, *133*, 122505. [CrossRef]
108. Mohammadi, M.; Hourfar, F.; Elkamel, A.; Leonenko, Y. Economic Optimization Design of CO_2 Pipeline Transportation with Booster Stations. *Ind. Eng. Chem. Res.* **2019**, *58*, 16730–16742. [CrossRef]
109. Teh, C.; Barifcani, A.; Pack, D.; Tade, M.O. The importance of ground temperature to a liquid carbon dioxide pipeline. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2015**, *39*, 463–469. [CrossRef]
110. Wang, Z.; Weihs, G.A.F.; Neal, P.R.; Wiley, D.E. Effects of pipeline distance, injectivity and capacity on CO_2 pipeline and storage site selection. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2016**, *51*, 95–105. [CrossRef]
111. Witkowski, A.; Rusin, A.; Majkut, M.; Rulik, S.; Stolecka, K. Comprehensive analysis of pipeline transportation systems for CO_2 sequestration. Thermodynamics and safety problems. *Energy Convers. Manag.* **2013**, *76*, 665–673. [CrossRef]
112. Onyebuchi, V.E.; Kolios, A.; Hanak, D.P.; Biliyok, C.; Manovic, V. A systematic review of key challenges of CO_2 transport via pipelines. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2018**, *81*, 2563–2583. [CrossRef]
113. Lee, W.; Yun, R. Prediction of heat transfer coefficient and compressor power consumption for CO_2 with impurities under pipeline transporting condition. *J. Mech. Sci. Technol.* **2018**, *32*, 2339–2346. [CrossRef]
114. Baik, W.; Lee, W.; Yun, R. Heat transfer and pressure drop characteristics of CO_2 mixtures in a pipeline under the seawater condition. *Int. J. Heat Mass Transf.* **2019**, *136*, 627–634. [CrossRef]
115. Vitali, M.; Zuliani, C.; Corvaro, F.; Marchetti, B.; Terenzi, A.; Tallone, F. Risks and Safety of CO_2 Transport via Pipeline: A Review of Risk Analysis and Modeling Approaches for Accidental Releases. *Energies* **2021**, *14*, 4601. [CrossRef]
116. Liu, E.-B.; Tang, H.; Zhang, Y.-H.; Li, D.-J.; Kou, B.; Liu, N.; Azimi, M. Experiment and numerical simulation of distribution law of water-based corrosion inhibitor in natural gas gathering and transportation pipeline. *Pet. Sci.* 2023; *in press*.
117. Kather, A.; Kownatzki, S. Assessment of the different parameters affecting the CO_2 purity from coal fired oxyfuel process. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2011**, *5*, S204–S209. [CrossRef]
118. Peletiri, S.P.; Mujtaba, I.M.; Rahmanian, N. Process simulation of impurity impacts on CO_2 fluids flowing in pipelines. *J. Clean. Prod.* **2019**, *240*, 118145. [CrossRef]
119. Bilio, M.; Brown, S.; Fairweather, M.; Mahgerefteh, H. CO_2 Pipelines Material and Safety Considerations. In *Hazards XXI: Process Safety and Environmental Protection in a Changing World*; Institution of Chemical Engineers: Rugby, UK, 2009; pp. 423–429.
120. Zhao, Q.; Li, Y.X. The influence of impurities on the transportation safety of an anthropogenic CO_2 pipeline. *Process. Saf. Environ. Prot.* **2014**, *92*, 80–92. [CrossRef]
121. Wetenhall, B.; Race, J.M.; Downie, M.J. The Effect of CO_2 Purity on the Development of Pipeline Networks for Carbon Capture and Storage Schemes. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2014**, *30*, 197–211. [CrossRef]
122. Tang, S.; Zhu, C.Y.; Cui, G.; Xing, X.; Mu, J.; Li, Z.L. Analysis of internal corrosion of supercritical CO_2 pipeline. *Corros. Rev.* **2021**, *39*, 219–241. [CrossRef]
123. Cui, G.; Yang, Z.Q.; Liu, J.G.; Li, Z.L. A comprehensive review of metal corrosion in a supercritical CO_2 environment. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2019**, *90*, 102814. [CrossRef]
124. Sim, S.; Bocher, F.; Cole, I.S.; Chen, X.B.; Birbilis, N. Investigating the Effect of Water Content in Supercritical CO_2 as Relevant to the Corrosion of Carbon Capture and Storage Pipelines. *Corrosion* **2014**, *70*, 185–195. [CrossRef]
125. Cao, Q.; Yan, X.Q.; Guo, X.L.; Zhu, H.L.; Liu, S.R.; Yu, J.L. Temperature evolution and heat transfer during the release of CO_2 from a large-scale pipeline. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2018**, *74*, 40–48. [CrossRef]
126. Herzog, N.; Gorenz, P.; Egbers, C. CFD modeling of high-pressurized CO_2 released from onshore pipeline leakages. *Environ. Earth Sci.* **2013**, *70*, 3749–3759. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

127. Joshi, P.; Bikkina, P.; Wang, Q.S. Consequence analysis of accidental release of supercritical carbon dioxide from high pressure pipelines. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2016**, *55*, 166–176. [CrossRef]
128. Xie, Q.Y.; Tu, R.; Jiang, X.; Li, K.; Zhou, X.J. The leakage behavior of supercritical CO_2 flow in an experimental pipeline system. *Appl. Energy* **2014**, *130*, 574–580. [CrossRef]
129. Jung, J.Y.; Huh, C.; Kang, S.G.; Seo, Y.; Chang, D. CO_2 transport strategy and its cost estimation for the offshore CCS in Korea. *Appl. Energy* **2013**, *111*, 1054–1060. [CrossRef]
130. Decarre, S.; Berthiaud, J.; Butin, N.; Guillaume-Combecave, J.L. CO_2 maritime transportation. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2010**, *4*, 857–864. [CrossRef]
131. Roussanaly, S.; Han, D.; Skaugen, G.; Gundersen, T. At what Pressure Shall CO_2 Be Transported by Ship? An in-Depth Cost Comparison of 7 and 15 Barg Shipping. *Energies* **2021**, *14*, 5635. [CrossRef]
132. Al Baroudi, H.; Awoyomi, A.; Patchigolla, K.; Jonnalagadda, K.; Anthony, E.J. A review of large-scale CO_2 shipping and marine emissions management for carbon capture, utilisation and storage. *Appl. Energy* **2021**, *287*, 116510. [CrossRef]
133. Osman, A.I.; Hefny, M.; Maksoud, M.I.A.A.; Elgarahy, A.M.; Rooney, D.W. Recent advances in carbon capture storage and utilisation technologies: A review. *Environ. Chem. Lett.* **2021**, *19*, 797–849. [CrossRef]
134. Burkart, M.D.; Hazari, N.; Tway, C.L.; Zeitler, E.L. Opportunities and Challenges for Catalysis in Carbon Dioxide Utilization. *ACS Catal.* **2019**, *9*, 7937–7956. [CrossRef]
135. Hepburn, C.; Adlen, E.; Beddington, J.; Carter, E.A.; Fuss, S.; Mac Dowell, N.; Minx, J.C.; Smith, P.; Williams, C.K. The technological and economic prospects for CO_2 utilization and removal. *Nature* **2019**, *575*, 87–97. [CrossRef]
136. Baena-Moreno, F.M.; Rodriguez-Galan, M.; Vega, F.; Alonso-Farinas, B.; Arenas, L.F.V.; Navarrete, B. Carbon capture and utilization technologies: A literature review and recent advances. *Energy Sources Part A Recovery Util. Environ. Eff.* **2019**, *41*, 1403–1433. [CrossRef]
137. Bhatia, S.K.; Bhatia, R.K.; Jeon, J.M.; Kumar, G.; Yang, Y.H. Carbon dioxide capture and bioenergy production using biological system—A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2019**, *110*, 143–158. [CrossRef]
138. Mavar, K.N.; Gaurina-Medimurec, N.; Hrncevic, L. Significance of Enhanced Oil Recovery in Carbon Dioxide Emission Reduction. *Sustainability* **2021**, *13*, 1800. [CrossRef]
139. Stewart, R.J.; Johnson, G.; Heinemann, N.; Wilkinson, M.; Haszeldine, R.S. Low carbon oil production: Enhanced oil recovery with CO_2 from North Sea residual oil zones. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2018**, *75*, 235–242. [CrossRef]
140. Wang, K.L.; Wang, G.; Lu, C.J. Research Progress in Carbon Dioxide Storage and Enhanced Oil Recovery. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2018**, *113*, 012054. [CrossRef]
141. Cao, M.; Gu, Y.G. Oil recovery mechanisms and asphaltene precipitation phenomenon in immiscible and miscible CO_2 flooding processes. *Fuel* **2013**, *109*, 157–166. [CrossRef]
142. Bikkina, P.; Wan, J.M.; Kim, Y.; Kneafsey, T.J.; Tokunaga, T.K. Influence of wettability and permeability heterogeneity on miscible CO_2 flooding efficiency. *Fuel* **2016**, *166*, 219–226. [CrossRef]
143. Hamidi, H.; Haddad, A.S.; Mohammadian, E.; Rafati, R.; Azdarpour, A.; Ghahri, P.; Ombewa, P.; Neuert, T.; Zink, A. Ultrasound-assisted CO_2 flooding to improve oil recovery. *Ultrason. Sonochem.* **2017**, *35*, 243–250. [CrossRef]
144. Polak, S.; Grimstad, A.A. Reservoir simulation study of $CO(_2)$ storage and $CO(_2)$-EGR in the Atzbach-Schwanenstadt gas field in Austria. *Energy Procedia* **2009**, *1*, 2961–2968. [CrossRef]
145. Honari, A.; Bijeljic, B.; Johns, M.L.; May, E.F. Enhanced gas recovery with CO_2 sequestration: The effect of medium heterogeneity on the dispersion of supercritical CO_2-CH_4. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2015**, *39*, 39–50. [CrossRef]
146. Hussen, C.; Amin, R.; Madden, G.; Evans, B. Reservoir simulation for enhanced gas recovery: An economic evaluation. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* **2012**, *5*, 42–50. [CrossRef]
147. Qi, R.R.; Ning, Z.F.; Wang, Q.; Zeng, Y.; Huang, L.; Zhang, S.; Du, H.M. Sorption of Methane, Carbon Dioxide, and Their Mixtures on Shales from Sichuan Basin, China. *Energy Fuels* **2018**, *32*, 2926–2940. [CrossRef]
148. Huo, P.L.; Zhang, D.F.; Yang, Z.; Li, W.; Zhang, J.; Jia, S.Q. CO_2 geological sequestration: Displacement behavior of shale gas methane by carbon dioxide injection. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2017**, *66*, 48–59. [CrossRef]
149. Eliebid, M.; Mahmoud, M.; Shawabkeh, R.; Elkatatny, S.; Hussein, I.A. Effect of CO_2 adsorption on enhanced natural gas recovery and sequestration in carbonate reservoirs. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* **2018**, *55*, 575–584. [CrossRef]
150. Zhou, J.P.; Xie, S.; Jiang, Y.D.; Xian, X.F.; Liu, Q.L.; Lu, Z.H.; Lyu, Q. Influence of Supercritical CO_2 Exposure on CH_4 and CO_2 Adsorption Behaviors of Shale: Implications for CO_2 Sequestration. *Energy Fuels* **2018**, *32*, 6073–6089. [CrossRef]
151. Jiang, Y.D.; Luo, Y.H.; Lu, Y.Y.; Qin, C.; Liu, H. Effects of supercritical CO_2 treatment time, pressure, and temperature on microstructure of shale. *Energy* **2016**, *97*, 173–181. [CrossRef]
152. Song, R.; Cui, M.M. Molecular simulation on competitive adsorption mechanism of CH_4/CO_2 on shale kerogen. *Arab. J. Geosci.* **2018**, *11*, 403. [CrossRef]
153. Chen, T.Y.; Feng, X.T.; Pan, Z.J. Experimental study on kinetic swelling of organic-rich shale in CO_2, CH_4 and N-$_2$. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* **2018**, *55*, 406–417. [CrossRef]
154. Chen, T.Y.; Feng, X.T.; Pan, Z.J. Experimental study of swelling of organic rich shale in methane. *Int. J. Coal Geol.* **2015**, *150*, 64–73. [CrossRef]
155. Lu, Y.Y.; Ao, X.; Tang, J.R.; Jia, Y.Z.; Zhang, X.W.; Chen, Y.T. Swelling of shale in supercritical carbon dioxide. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* **2016**, *30*, 268–275. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

156. Yuan, S.Y.; Ma, D.S.; Li, J.S.; Zhou, T.Y.; Ji, Z.M.; Han, H.S. Progress and prospects of carbon dioxide capture, EOR-utilization and storage industrialization. *Pet. Explor. Dev.* **2022**, *49*, 955–962. [CrossRef]
157. Zhang, X.G.; Ranjith, P.G.; Perera, M.S.A.; Ranathunga, A.S.; Haque, K. Gas Transportation and Enhanced Coalbed Methane Recovery Processes in Deep Coal Seams: A Review. *Energy Fuels* **2016**, *30*, 8832–8849. [CrossRef]
158. Pan, Z.J.; Ye, J.P.; Zhou, F.B.; Tan, Y.L.; Connell, L.D.; Fan, J.J. CO_2 storage in coal to enhance coalbed methane recovery: A review of field experiments in China. *Int. Geol. Rev.* **2018**, *60*, 754–776. [CrossRef]
159. Hu, Z.C.; Li, C.; Zhang, D.F. Interactions of dynamic supercritical CO_2 fluid with different rank moisture-equilibrated coals: Implications for CO_2 sequestration in coal seams. *Chin. J. Chem. Eng.* **2021**, *35*, 288–301. [CrossRef]
160. Zhang, X.G.; Ranjith, P.G. Experimental investigation of effects of CO_2 injection on enhanced methane recovery in coal seam reservoirs. *J. CO_2 Util.* **2019**, *33*, 394–404. [CrossRef]
161. Hou, Y.D.; Huang, S.P.; Han, J.; Liu, X.B.; Han, L.F.; Fu, C.F. Numerical Simulation of the Effect of Injected CO_2 Temperature and Pressure on CO_2-Enhanced Coalbed Methane. *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 1385.
162. Perera, M.S.A. Influences of CO_2 Injection into Deep Coal Seams: A Review. *Energy Fuels* **2017**, *31*, 10324–10334. [CrossRef]
163. Ranathunga, A.S.; Perera, M.S.A.; Ranjith, P.G. Deep coal seams as a greener energy source: A review. *J. Geophys. Eng.* **2014**, *11*, 063001. [CrossRef]
164. Perera, M.S.A. A Comprehensive Overview of CO_2 Flow Behaviour in Deep Coal Seams. *Energies* **2018**, *11*, 063001. [CrossRef]
165. Yang, R.; Liu, S.L.; Wang, H.T.; Lun, Z.M.; Zhou, X.; Zhao, C.P.; Min, C.G.; Zhang, H.; Xu, Y.; Zhang, D.F. Influence of H_2O on Adsorbed CH_4 on Coal Displaced by CO_2 Injection: Implication for CO_2 Sequestration in Coal Seam with Enhanced CH_4 Recovery (CO_2-ECBM). *Ind. Eng. Chem. Res.* **2021**, *60*, 15817–15833. [CrossRef]
166. Mazumder, S.; Wolf, K.H. Differential swelling and permeability change of coal in response to CO_2 injection for ECBM. *Int. J. Coal Geol.* **2008**, *74*, 123–138. [CrossRef]
167. Lee, H.H.; Kim, H.J.; Shi, Y.; Keffer, D.; Lee, C.H. Competitive adsorption of CO_2/CH_4 mixture on dry and wet coal from subcritical to supercritical conditions. *Chem. Eng. J.* **2013**, *230*, 93–101. [CrossRef]
168. Charriere, D.; Pokryszka, Z.; Behra, P. Effect of pressure and temperature on diffusion of CO_2 and CH_4 into coal from the Lorraine basin (France). *Int. J. Coal Geol.* **2010**, *81*, 373–380. [CrossRef]
169. Perera, M.S.A.; Ranjith, P.G.; Airey, D.W.; Choi, S.K. Sub- and super-critical carbon dioxide flow behavior in naturally fractured black coal: An experimental study. *Fuel* **2011**, *90*, 3390–3397. [CrossRef]
170. Fan, Z.L.; Fan, G.W.; Zhang, D.S.; Zhang, L.; Zhang, S.; Liang, S.S.; Yu, W. Optimal injection timing and gas mixture proportion for enhancing coalbed methane recovery. *Energy* **2021**, *222*, 119880. [CrossRef]
171. Fan, C.J.; Elsworth, D.; Li, S.; Chen, Z.W.; Luo, M.K.; Song, Y.; Zhang, H.H. Modelling and optimization of enhanced coalbed methane recovery using CO_2/N-$_2$ mixtures. *Fuel* **2019**, *253*, 1114–1129. [CrossRef]
172. Talapatra, A.; Halder, S.; Chowdhury, A.I. Enhancing coal bed methane recovery: Using injection of nitrogen and carbon dioxide mixture. *Pet. Sci. Technol.* **2021**, *39*, 49–62. [CrossRef]
173. Perera, M.S.A.; Ranjith, P.G.; Choi, S.K.; Airey, D. The effects of sub-critical and super-critical carbon dioxide adsorption-induced coal matrix swelling on the permeability of naturally fractured black coal. *Energy* **2011**, *36*, 6442–6450. [CrossRef]
174. Ranathunga, A.S.; Perera, M.S.A.; Ranjith, P.G.; Wei, C.H. An experimental investigation of applicability of CO_2 enhanced coal bed methane recovery to low rank coal. *Fuel* **2017**, *189*, 391–399. [CrossRef]
175. Liu, F.; Kang, Y.; Hu, Y.; Chen, H.; Wang, X.; Pan, H.; Xie, J. Comparative investigation on the heat extraction performance of an enhanced geothermal system with N_2O, CO_2 and H_2O as working fluids. *Appl. Therm. Eng.* **2022**, *200*, 117594. [CrossRef]
176. Luo, F.; Xu, R.N.; Jiang, P.X. Numerical investigation of fluid flow and heat transfer in a doublet enhanced geothermal system with CO_2 as the working fluid (CO_2-EGS). *Energy* **2014**, *64*, 307–322. [CrossRef]
177. Wang, C.L.; Cheng, W.L.; Nian, Y.L.; Yang, L.; Han, B.B.; Liu, M.H. Simulation of heat extraction from CO_2-based enhanced geothermal systems considering CO_2 sequestration. *Energy* **2018**, *142*, 157–167. [CrossRef]
178. Isaka, B.L.A.; Ranjith, P.G.; Rathnaweera, T.D. The use of super-critical carbon dioxide as the working fluid in enhanced geothermal systems (EGSs): A review study. *Sustain. Energy Technol. Assess.* **2019**, *36*, 100547.
179. Abanades, J.C.; Rubin, E.S.; Mazzotti, M.; Herzog, H.J. On the climate change mitigation potential of CO_2 conversion to fuels. *Energy Environ. Sci.* **2017**, *10*, 2491–2499. [CrossRef]
180. Bao, J.; Yang, G.H.; Yoneyama, Y.; Tsubaki, N. Significant Advances in C1 Catalysis: Highly Efficient Catalysts and Catalytic Reactions. *ACS Catal.* **2019**, *9*, 3026–3053. [CrossRef]
181. Otto, A.; Grube, T.; Schiebahn, S.; Stolten, D. Closing the loop: Captured CO_2 as a feedstock in the chemical industry. *Energy Environ. Sci.* **2015**, *8*, 3283–3297. [CrossRef]
182. Kondratenko, E.V.; Mul, G.; Baltrusaitis, J.; Larrazabal, G.O.; Perez-Ramirez, J. Status and perspectives of CO_2 conversion into fuels and chemicals by catalytic, photocatalytic and electrocatalytic processes. *Energy Environ. Sci.* **2013**, *6*, 3112–3135. [CrossRef]
183. Shah, S.S.; Aziz, M.A.; Yamani, Z.H. Recent Progress in Carbonaceous and Redox-active Nanoarchitectures for Hybrid Supercapacitors: Performance Evaluation, Challenges, and Future Prospects. *Chem. Rec.* **2022**, *22*, e202200018. [CrossRef]
184. Hussin, F.; Aroua, M.K. Recent advances in low-temperature electrochemical conversion of carbon dioxide. *Rev. Chem. Eng.* **2021**, *37*, 863–884. [CrossRef]
185. Park, S.; Wijaya, D.T.; Na, J.; Lee, C.W. Towards the Large-Scale Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide. *Catalysts* **2021**, *11*, 253. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

186. Feng, G.; Chen, W.; Wang, B.; Song, Y.; Li, G.; Fang, J.; Wei, W.; Sun, Y. Oxygenates from the electrochemical reduction of carbon dioxide. *Chem. Asian J.* **2018**, *13*, 1992–2008. [CrossRef]
187. Ampelli, C.; Perathoner, S.; Centi, G. CO_2 utilization: An enabling element to move to a resource- and energy-efficient chemical and fuel production. *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* **2015**, *373*, 20140177. [CrossRef] [PubMed]
188. Zangeneh, F.T.; Sahebdelfar, S.; Ravanchi, M.T. Conversion of carbon dioxide to valuable petrochemicals: An approach to clean development mechanism. *J. Nat. Gas Chem.* **2011**, *20*, 219–231. [CrossRef]
189. Poliakoff, M.; Leitner, W.; Streng, E.S. The Twelve Principles of CO_2 Chemistry. *Faraday Discuss.* **2015**, *183*, 9–17. [CrossRef] [PubMed]
190. Aziz, A.; Shah, S.S.; Mazumder, M.A.J.; Oyama, M.; Al-Betar, A.R. Carbon Nanofiber and Poly [2-(methacryloyloxy) ethyl] Trimethylammonium Chloride Composite as a New Benchmark Carbon-based Electrocatalyst for Sulfide Oxidation. *Chem.-Asian J.* **2021**, *16*, 1570–1583. [CrossRef] [PubMed]
191. Wang, W.; Wang, S.P.; Ma, X.B.; Gong, J.L. Recent advances in catalytic hydrogenation of carbon dioxide. *Chem. Soc. Rev.* **2011**, *40*, 3703–3727. [CrossRef]
192. Yaashikaa, P.R.; Kumar, P.S.; Varjani, S.J.; Saravanan, A. A review on photochemical, biochemical and electrochemical transformation of CO_2 into value-added products. *J. CO_2 Util.* **2019**, *33*, 131–147. [CrossRef]
193. Abdullah, H.; Khan, M.M.R.; Ong, H.R.; Yaakob, Z. Modified TiO2 photocatalyst for CO_2 photocatalytic reduction: An overview. *J. CO_2 Util.* **2017**, *22*, 15–32. [CrossRef]
194. Su, T.M.; Qin, Z.Z.; Ji, H.B.; Jiang, Y.X.; Huang, G. Recent advances in the photocatalytic reduction of carbon dioxide. *Environ. Chem. Lett.* **2016**, *14*, 99–112. [CrossRef]
195. Tahir, M.; Amin, N.A.S. Photo-induced CO_2 reduction by hydrogen for selective CO evolution in a dynamic monolith photoreactor loaded with Ag-modified TiO2 nanocatalyst. *Int. J. Hydrogen Energy* **2017**, *42*, 15507–15522. [CrossRef]
196. Egawa, C. Methane dry reforming reaction on Ru(001) surfaces. *J. Catal.* **2018**, *358*, 35–42. [CrossRef]
197. Abdullah, B.; Ghani, N.A.A.; Vo, D.V.N. Recent advances in dry reforming of methane over Ni-based catalysts. *J. Clean. Prod.* **2017**, *162*, 170–185. [CrossRef]
198. Aramouni, N.A.K.; Touma, J.G.; Abu Tarboush, B.; Zeaiter, J.; Ahmad, M.N. Catalyst design for dry reforming of methane: Analysis review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2018**, *82*, 2570–2585. [CrossRef]
199. Ayodele, B.V.; Khan, M.R.; Cheng, C.K. Syngas production from CO_2 reforming of methane over ceria supported cobalt catalyst: Effects of reactants partial pressure. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* **2015**, *27*, 1016–1023. [CrossRef]
200. Rad, S.J.H.; Haghighi, M.; Eslami, A.A.; Rahmani, F.; Rahemi, N. Sol-gel vs. impregnation preparation of MgO and CeO_2 doped Ni/Al_2O_3 nanocatalysts used in dry reforming of methane: Effect of process conditions, synthesis method and support composition. *Int. J. Hydrogen Energy* **2016**, *41*, 5335–5350.
201. Zhang, X.B.; Zhang, G.H.; Song, C.S.; Guo, X.W. Catalytic Conversion of Carbon Dioxide to Methanol: Current Status and Future Perspective. *Front. Energy Res.* **2021**, *8*, 621119. [CrossRef]
202. Razali, N.A.M.; Lee, K.T.; Bhatia, S.; Mohamed, A.R. Heterogeneous catalysts for production of chemicals using carbon dioxide as raw material: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2012**, *16*, 4951–4964. [CrossRef]
203. Arena, F.; Italiano, G.; Barbera, K.; Bordiga, S.; Bonura, G.; Spadaro, L.; Frusteri, F. Solid-state interactions, adsorption sites and functionality of Cu-ZnO/ZrO_2 catalysts in the CO_2 hydrogenation to CH_3OH. *Appl. Catal. A Gen.* **2008**, *350*, 16–23. [CrossRef]
204. Kattel, S.; Ramirez, P.J.; Chen, J.G.; Rodriguez, J.A.; Liu, P. Catalysis Active sites for CO_2 hydrogenation to methanol on Cu/ZnO catalysts. *Science* **2017**, *355*, 1296–1299. [CrossRef] [PubMed]
205. Arena, F.; Mezzatesta, G.; Zafarana, G.; Trunfio, G.; Frusteri, F.; Spadaro, L. How oxide carriers control the catalytic functionality of the Cu-ZnO system in the hydrogenation of CO_2 to methanol. *Catal. Today* **2013**, *210*, 39–46. [CrossRef]
206. Din, I.U.; Shaharun, M.S.; Alotaibi, M.A.; Alharthi, A.I.; Naeem, A. Recent developments on heterogeneous catalytic CO_2 reduction to methanol. *J. CO_2 Util.* **2019**, *34*, 20–33. [CrossRef]
207. Guil-Lopez, R.; Mota, N.; Llorente, J.; Millan, E.; Pawelec, B.; Fierro, J.L.G.; Navarro, R.M. Methanol Synthesis from CO_2: A Review of the Latest Developments in Heterogeneous Catalysis. *Materials* **2019**, *12*, 3902. [CrossRef]
208. Jadhav, S.G.; Vaidya, P.D.; Bhanage, B.M.; Joshi, J.B. Catalytic carbon dioxide hydrogenation to methanol: A review of recent studies. *Chem. Eng. Res. Des.* **2014**, *92*, 2557–2567. [CrossRef]
209. Rafiee, A.; Khalilpour, K.R.; Milani, D.; Panahi, M. Trends in CO_2 conversion and utilization: A review from process systems perspective. *J. Environ. Chem. Eng.* **2018**, *6*, 5771–5794. [CrossRef]
210. Chen, W.H.; Lin, B.J.; Lee, H.M.; Huang, M.H. One-step synthesis of dimethyl ether from the gas mixture containing CO_2 with high space velocity. *Appl. Energy* **2012**, *98*, 92–101. [CrossRef]
211. Samimi, F.; Bayat, M.; Rahimpour, M.R.; Keshavarz, P. Mathematical modeling and optimization of DME synthesis in two spherical reactors connected in series. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* **2014**, *17*, 33–41. [CrossRef]
212. Mondal, U.; Yadav, G.D. Perspective of dimethyl ether as fuel: Part I. Catalysis. *J. CO_2 Util.* **2019**, *32*, 299–320. [CrossRef]
213. Chen, W.H.; Hsu, C.L.; Wang, X.D. Thermodynamic approach and comparison of two-step and single step DME (dimethyl ether) syntheses with carbon dioxide utilization. *Energy* **2016**, *109*, 326–340. [CrossRef]
214. Zhang, Y.S.; Zhang, S.J.; Benson, T. A conceptual design by integrating dimethyl ether (DME) production with tri-reforming process for CO_2 emission reduction. *Fuel Process. Technol.* **2015**, *131*, 7–13. [CrossRef]
215. Sahebdelfar, S.; Ravanchi, M.T. Carbon dioxide utilization for methane production: A thermodynamic analysis. *J. Pet. Sci. Eng.* **2015**, *134*, 14–22. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

216. Tada, S.; Shimizu, T.; Kameyama, H.; Haneda, T.; Kikuchi, R. Ni/CeO_2 catalysts with high CO_2 methanation activity and high CH_4 selectivity at low temperatures. *Int. J. Hydrogen Energy* **2012**, *37*, 5527–5531. [CrossRef]
217. Graca, I.; Gonzalez, L.V.; Bacariza, M.C.; Fernandes, A.; Henriques, C.; Lopes, J.M.; Ribeiro, M.F. CO_2 hydrogenation into CH_4 on NiHNaUSY zeolites. *Appl. Catal. B Environ.* **2014**, *147*, 101–110. [CrossRef]
218. Tsiotsias, A.I.; Charisiou, N.D.; Yentekakis, I.V.; Goula, M.A. The Role of Alkali and Alkaline Earth Metals in the $CO_{(2)}$Methanation Reaction and the Combined Capture and Methanation of CO_2. *Catalysts* **2020**, *10*, 812. [CrossRef]
219. Aziz, M.A.A.; Jalil, A.A.; Triwahyono, S.; Ahmad, A. CO_2 methanation over heterogeneous catalysts: Recent progress and future prospects. *Green Chem.* **2015**, *17*, 2647–2663. [CrossRef]
220. La Plante, E.C.; Mehdipour, I.; Shortt, I.; Yang, K.; Simonetti, D.; Bauchy, M.; Sant, G.N. Controls on CO_2 Mineralization Using Natural and Industrial Alkaline Solids under Ambient Conditions. *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2021**, *9*, 10727–10739. [CrossRef]
221. Pan, S.Y.; Chen, Y.H.; Fan, L.S.; Kim, H.; Gao, X.; Ling, T.C.; Chiang, P.C.; Pei, S.L.; Gu, G.W. CO_2 mineralization and utilization by alkaline solid wastes for potential carbon reduction. *Nat. Sustain.* **2020**, *3*, 399–405. [CrossRef]
222. Ragipani, R.; Bhattacharya, S.; Suresh, A.K. A review on steel slag valorisation via mineral carbonation. *React. Chem. Eng.* **2021**, *6*, 1152–1178. [CrossRef]
223. Ukwattage, N.L.; Ranjith, P.G.; Li, X. Steel-making slag for mineral sequestration of carbon dioxide by accelerated carbonation. *Measurement* **2017**, *97*, 15–22. [CrossRef]
224. Woodall, C.M.; McQueen, N.; Pilorge, H.; Wilcox, J. Utilization of mineral carbonation products: Current state and potential. *Greenh. Gases Sci. Technol.* **2019**, *9*, 1096–1113. [CrossRef]
225. Li, P.; Pan, S.Y.; Pei, S.; Lin, Y.P.J.; Chiang, P.C. Challenges and Perspectives on Carbon Fixation and Utilization Technologies: An Overview. *Aerosol Air Qual. Res.* **2016**, *16*, 1327–1344. [CrossRef]
226. Huang, C.H.; Tan, C.S. A Review: CO_2 Utilization. *Aerosol Air Qual. Res.* **2014**, *14*, 480–499. [CrossRef]
227. Vuppaladadiyam, A.K.; Yao, J.G.; Florin, N.; George, A.; Wang, X.X.; Labeeuw, L.; Jiang, Y.L.; Davis, R.W.; Abbas, A.; Ralph, P.; et al. Impact of Flue Gas Compounds on Microalgae and Mechanisms for Carbon Assimilation and Utilization. *ChemSusChem* **2018**, *11*, 334–355. [CrossRef]
228. Aresta, M.; Dibenedetto, A.; Quaranta, E. State of the art and perspectives in catalytic processes for CO_2 conversion into chemicals and fuels: The distinctive contribution of chemical catalysis and biotechnology. *J. Catal.* **2016**, *343*, 2–45. [CrossRef]
229. Rabaey, K.; Rozendal, R.A. Microbial electrosynthesis—Revisiting the electrical route for microbial production. *Nat. Rev. Microbiol.* **2010**, *8*, 706–716. [CrossRef] [PubMed]
230. Zhang, Z.Y.; Song, Y.; Zheng, S.J.; Zhen, G.Y.; Lu, X.Q.; Takuro, K.; Xu, K.Q.; Bakonyi, P. Electro-conversion of carbon dioxide (CO_2) to low-carbon methane by bioelectromethanogenesis process in microbial electrolysis cells: The current status and future perspective. *Bioresour. Technol.* **2019**, *279*, 339–349. [CrossRef]
231. Conde-Hernandez, L.A.; Espinosa-Victoria, J.R.; Trejo, A.; Guerrero-Beltran, J.A. CO_2-supercritical extraction, hydrodistillation and steam distillation of essential oil of rosemary (Rosmarinus officinalis). *J. Food Eng.* **2017**, *200*, 81–86. [CrossRef]
232. Zuknik, M.H.; Norulaini, N.A.N.; Omar, A.K.M. Supercritical carbon dioxide extraction of lycopene: A review. *J. Food Eng.* **2012**, *112*, 253–262. [CrossRef]
233. Yu, T.H.; Niu, L.Y.; Iwahashi, H. High-Pressure Carbon Dioxide Used for Pasteurization in Food Industry. *Food Eng. Rev.* **2020**, *12*, 364–380. [CrossRef]
234. Ma, Z.Y.; Ranjith, P.G. Review of application of molecular dynamics simulations in geological sequestration of carbon dioxide. *Fuel* **2019**, *255*, 115644. [CrossRef]
235. Lubon, K. Influence of Injection Well Location on CO_2 Geological Storage Efficiency. *Energies* **2021**, *14*, 8604. [CrossRef]
236. Bui, M.; Adjiman, C.S.; Bardow, A.; Anthony, E.J.; Boston, A.; Brown, S.; Fennell, P.S.; Fuss, S.; Galindo, A.; Hackett, L.A.; et al. Carbon capture and storage (CCS): The way forward. *Energy Environ. Sci.* **2018**, *11*, 1062–1176. [CrossRef]
237. Aminu, M.D.; Nabavi, S.A.; Rochelle, C.A.; Manovic, V. A review of developments in carbon dioxide storage. *Appl. Energy* **2017**, *208*, 1389–1419. [CrossRef]
238. Solomon, S.; Carpenter, M.; Flach, T.A. Intermediate storage of carbon dioxide in geological formations: A technical perspective. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2008**, *2*, 502–510. [CrossRef]
239. Lu, P.; Hao, Y.Y.; Bai, Y.; Liu, W.G.; Chen, X.; Zheng, H.A.; Liu, J.; Chen, Y.Z.; Gao, J.P. Optimal selection of favorable areas for CO_2 geological storage in the Majiagou Formation in the Ordos Basin. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2021**, *109*, 103360. [CrossRef]
240. Hsu, C.W.; Chen, L.T.; Hu, A.H.; Chang, Y.M. Site selection for carbon dioxide geological storage using analytic network process. *Sep. Purif. Technol.* **2012**, *94*, 146–153. [CrossRef]
241. Mi, Z.X.; Wang, F.G.; Yang, Y.Z.; Wang, F.; Hu, T.; Tian, H.L. Evaluation of the potentiality and suitability for CO_2 geological storage in the Junggar Basin, northwestern China. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2018**, *78*, 62–72. [CrossRef]
242. Jiang, X. A review of physical modelling and numerical simulation of long-term geological storage of CO_2. *Appl. Energy* **2011**, *88*, 3557–3566. [CrossRef]
243. De Silva, G.P.D.; Ranjith, P.G.; Perera, M.S.A. Geochemical aspects of CO_2 sequestration in deep saline aquifers: A review. *Fuel* **2015**, *155*, 128–143. [CrossRef]
244. Kumar, S.; Foroozesh, J.; Edlmann, K.; Rezk, M.G.; Lim, C.Y. A comprehensive review of value-added CO_2 sequestration in subsurface saline aquifers. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* **2020**, *81*, 103437. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

245. Wildenschild, D.; Armstrong, R.T.; Herring, A.L.; Young, I.M.; Carey, J.W. Exploring capillary trapping efficiency as a function of interfacial tension, viscosity, and flow rate. *Energy Procedia* **2011**, *4*, 4945–4952. [CrossRef]
246. Jing, J.; Yang, Y.L.; Tang, Z.H. Effects of formation dip angle and salinity on the safety of CO_2 geological storage—A case study of Shiclianfeng strata with low porosity and low permeability in the Ordos Basin, China. *J. Clean. Prod.* **2019**, *226*, 874–891. [CrossRef]
247. De Silva, P.N.K.; Ranjith, P.G. A study of methodologies for CO_2 storage capacity estimation of saline aquifers. *Fuel* **2012**, *93*, 13–27. [CrossRef]
248. Hassanzadeh, H.; Pooladi-Darvish, M.; Keith, D.W. Accelerating CO_2 dissolution in saline aquifers for geological storage Mechanistic and sensitivity studies. *Energy Fuels* **2009**, *23*, 3328–3336. [CrossRef]
249. Zhu, Q.L.; Li, X.C.; Jiang, Z.B.; Wei, N. Impacts of CO_2 leakage into shallow formations on groundwater chemistry. *Fuel Process. Technol.* **2015**, *135*, 162–167. [CrossRef]
250. Jayasekara, D.W.; Ranjith, P.G.; Wanniarachchi, W.A.M.; Rathnaweera, T.D. Understanding the chemico-mineralogical changes of caprock sealing in deep saline CO_2 sequestration environments: A review study. *J. Supercrit. Fluids* **2020**, *161*, 104819. [CrossRef]
251. Gholami, R.; Raza, A.; Iglauer, S. Leakage risk assessment of a CO_2 storage site: A review. *Earth-Sci. Rev.* **2021**, *223*, 103849. [CrossRef]
252. Lee, K.K.; Lee, S.H.; Yun, S.T.; Jeen, S.W. Shallow groundwater system monitoring on controlled CO_2 release sites: A review on field experimental methods and efforts for CO_2 leakage detection. *Geosci. J.* **2016**, *20*, 569–583. [CrossRef]
253. Caesary, D.; Song, S.Y.; Yu, H.; Kim, B.; Nam, M.J. A review on CO_2 leakage detection in shallow subsurface using geophysical surveys. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2020**, *102*, 103165. [CrossRef]
254. Zeidouni, M.; Pooladi-Darvish, M.; Keith, D.W. Leakage Detection and Characterization through Pressure Monitoring. *Energy Procedia* **2011**, *4*, 3534–3541. [CrossRef]
255. Zeidouni, M.; Nicot, J.P.; Hovorka, S.D. Monitoring above-zone temperature variations associated with CO_2 and brine leakage from a storage aquifer. *Environ. Earth Sci.* **2014**, *72*, 1733–1747. [CrossRef]
256. Moni, C.; Rasse, D.P. Detection of simulated leaks from geologically stored CO_2 with C-13 monitoring. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2014**, *26*, 61–68. [CrossRef]
257. Magnier, C.; Rouchon, V.; Bandeira, C.; Goncalves, R.; Miller, D.; Dino, R. Surface and Subsurface Geochemical Monitoring of an EOR-CO_2 Field: Buracica, Brazil. *Oil Gas Sci. Technol.* **2012**, *67*, 355–372. [CrossRef]
258. Mortezaei, K.; Amirlatifi, A.; Ghazanfari, E.; Vahedifard, F. Potential CO_2 leakage from geological storage sites: Advances and challenges. *Environ. Geotech.* **2021**, *8*, 3–27. [CrossRef]
259. Adams, E.E.; Caldeira, K. Ocean Storage of CO_2. *Elements* **2008**, *4*, 319–324. [CrossRef]
260. Zheng, J.J.; Chong, Z.R.; Qureshi, M.F.; Linga, P. Carbon Dioxide Sequestration via Gas Hydrates: A Potential Pathway toward Decarbonization. *Energy Fuels* **2020**, *34*, 10529–10546. [CrossRef]
261. Sheps, K.M.; Max, M.D.; Osegovic, J.P.; Tatro, S.R.; Brazel, L.A. A case for deep-ocean CO_2 sequestration. *Energy Procedia* **2009**, *1*, 4961–4968. [CrossRef]
262. Widdicombe, S.; McNeill, C.L.; Stahl, H.; Taylor, P.; Queiros, A.M.; Nunes, J.; Tait, K. Impact of sub-seabed CO_2 leakage on macrobenthic community structure and diversity. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2015**, *38*, 182–192. [CrossRef]
263. House, K.Z.; Schrag, D.P.; Harvey, C.F.; Lackner, K.S. Permanent carbon dioxide storage in deep-sea sediments. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2006**, *103*, 12291–12295. [CrossRef] [PubMed]
264. Qanbari, F.; Pooladi-Darvish, M.; Tabatabaie, S.H.; Gerami, S. CO_2 disposal as hydrate in ocean sediments. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* **2012**, *8*, 139–149. [CrossRef]
265. Shitashima, K.; Maeda, Y.; Ohsumi, T. Development of detection and monitoring techniques of CO_2 leakage from seafloor in sub-seabed CO_2 storage. *Appl. Geochem.* **2013**, *30*, 114–124. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sustainability

MDPI

Article

An Artificial-Intelligence-Based Renewable Energy Prediction Program for Demand-Side Management in Smart Grids

Vinothini Arumugham [1,*], Hayder M. A. Ghanimi [2], Denis A. Pustokhin [3], Irina V. Pustokhina [4], Vidya Sagar Ponnam [5], Meshal Alharbi [6], Parkavi Krishnamoorthy [1] and Sudhakar Sengan [7]

1 School of Computer Science and Engineering, Vellore Institute of Technology, Chennai 600127, Tamil Nadu, India
2 Biomedical Engineering Department, College of Engineering, University of Warith Al-Anbiyaa, Karbala 56001, Iraq
3 Department of Logistics, State University of Management, 109542 Moscow, Russia
4 Department of Entrepreneurship and Logistics, Plekhanov Russian University of Economics, 117997 Moscow, Russia
5 Department of Computer Science and Engineering, Koneru Lakshmaiah Education Foundation, Vaddeswaram 522302, Andhra Pradesh, India
6 Department of Computer Science, College of Computer Engineering and Sciences, Prince Sattam bin Abdulaziz University, Alkharj 11942, Saudi Arabia
7 Department of Computer Science and Engineering, PSN College of Engineering and Technology, Tirunelveli 627152, Tamil Nadu, India; sudhasengan@gmail.com
* Correspondence: vinothini.a@vit.ac.in

Abstract: Technology advancements have enabled the capture of Renewable Energy Sources (RES) on a massive scale. Smart Grids (SGs) that combine conventional and RES are predicted as a sustainable method of power generation. Moreover, environmental conditions impact all RES, causing changes in the amount of electricity produced by these sources. Furthermore, availability is dependent on daily or annual cycles. Although smart meters allow real-time demand prediction, precise models that predict the electricity produced by RES are also required. Prediction Models (PMs) accurately guarantee grid stability, efficient scheduling, and energy management. For example, the SG must be smoothly transformed into the conventional energy source for that time and guarantee that the electricity generated meets the predicted demand if the model predicts a period of Renewable Energy (RE) loss. The literature also suggests scheduling methods for demand-supply matching and different learning-based PMs for sources of RE using open data sources. This paper developed a model that accurately replicates a microgrid, predicts demand and supply, seamlessly schedules power delivery to meet demand, and gives actionable insights into the SG system's operation. Furthermore, this work develops the Demand Response Program (DRP) using improved incentive-based payment as cost suggestion packages. The test results are valued in different cases for optimizing operating costs through the multi-objective ant colony optimization algorithm (MOACO) with and without the input of the DRP.

Keywords: renewable energy; distributed energy resources; micro-grid system; deep learning; demand response programs; smart grid

check for updates

Citation: Arumugham, V.; Ghanimi, H.M.A.; Pustokhin, D.A.; Pustokhina, I.V.; Ponnam, V.S.; Alharbi, M.; Krishnamoorthy, P.; Sengan, S. An Artificial-Intelligence-Based Renewable Energy Prediction Program for Demand-Side Management in Smart Grids. *Sustainability* **2023**, *15*, 5453. https://doi.org/10.3390/su15065453

Academic Editor: Thanikanti Sudhakar Babu

Received: 14 February 2023
Revised: 16 March 2023
Accepted: 17 March 2023
Published: 20 March 2023

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Because of increased awareness of Energy Consumption (EC) and production worldwide, the market share of renewable sources has been increasing. Renewable Energy Sources (RES) are predicted to outperform fossil fuels in monthly power generation. There is a departure from the industry's restraint and unsustainable resources, and consumers and energy providers have developed using 23% green power. However, the infrastructure operations are complicated, and utility companies and consumers are challenged due to the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

inconsistency of market demand and supply of extensive energy that RES and utility companies and consumers can meet. The energy company applied Smart Grid (SG) technology to stabilise the Green Energy Supply (GES) and make RE trustworthy and future-proof.

A traditional Distribution System (DS) supports the energy flow from suppliers to users. Energy transmission and distribution with SGs are performed using a SG as a one-way electrical interconnection system integrated with massive production points as the only energy source at multiple locations. The industries require multiple extra production points combined with the increased volume of smaller RE generation plants. The new paradigm could not be continued by the conventional method, which depends on the operator-enabled power system, and highly flexible operation management is allowed because a SG solution replaces it.

Future SG-based DSs will also be able to meet the increased use of renewable Wave Swell Energy (WSE) sources that behave in a standard method that repeats itself. The operation's security may be endangered due to this [1]. There is a need for Advanced Measuring Infrastructure (AMI) [2] to guarantee the cost-efficient and secure operation of these systems and to use cutting-edge design for Distributed Energy Resources (DER) [3,4]. AMI provides smart meters, which have the features of remote control, monitoring, and readability, by creating bidirectional telecommunication between electricity companies and customers, embracing data collection and transmission by energy providers, information analysis and processing, and implementing EC management to ensure system reliability and balance supply and demand [5,6]. Since the environmental impact is reduced, the market situation, reliability, and service should be enhanced. An SG will incorporate information and Communications Technology (ICT) into each component, such as electricity generation, EC, and delivery. An SG makes the seamless integration of unreliable RES and the potential for efficient power distribution and delivery highly possible. The scale of SG adoption is the basis for efficiently incorporating RE into the energy sector, supporting technologies such as smart meters and the Internet of Things (IoT), and big data will drive it forward. While deploying RE systems, control is a complex aspect. For super-performance and reliable operations, WSE is required. By implementing digitally enabled SGs, such as the IoT, consumers and energy suppliers will be provided with advanced tools for monitoring and regulating SG performance. It is performed by controlling multiple devices at production points and households.

Vast IoT infrastructures are supported by adopting SG devices and facilitating leveraging skills for digital risk protection. There is more adaptability of the network to oversupplies or electricity shortages that the RES has in common with a conventional model integrated with grid-connected devices. The resource computer and the smart devices are connected, and the essential information is collected to cope with electricity usage and help stabilize the whole grid. Utility companies advance their operations by carefully analysing the data collected in the SG network. Data associated with operational device status, quality of power, self-test, smart meter, and consumption level are collected by advanced metering infrastructure.

Few data are considered for real-time processing due to edge computing and 5G adoption. Profound knowledge of performance skills, enhanced performance, and consumer behaviour is enhanced using big data. Energy providers enhance SG optimization and more customer engagement, along with data analytics. RES especially encourages the application of big data and predictive analytics. Because of it is unpredictability, sustainable electricity demands reasonable efforts due to its instability to incorporate it into the energy network based on homogeneous fuel. The suppliers can project energy generation and EC rates, mitigate risks, and make constructive decisions based on the processed data.

With the help of big data analytics, utility companies can improve the efficiency of SG based on how they use real-time data or how well they collected data in the past—continuous monitoring systems and improved energy production and distribution work to address the current challenges simultaneously. For the SG, it is predicted that the latest hike in variable wind and generation of SP will boost more Renewable Energy (RE)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

shares in the future in the cumulative generation portfolio, and challenges related to SG management make the task of predicting WP essential for the SG. The relevant balancing actions are getting more complicated, leading to greater variable WSE penetration.

The existing applicable methods' inventory, including data from the meteorological department and power system, and disseminating this data, which requires the communication structure, are essential. The obtaining of accurate information that requires PMs, such as software and data, and the need for infrastructure to generate and communicate this information are included in the proposed model.

The unsureness in the behaviour of WSE is one of the significant demerits in RES management. Network operators always use energy storage local services to control manufacture shortages and balance EC and production before using WSE and the rest of the REs in the power system. Now, storage and finding a solution for solving this unsureness are more mandatory than ever with the emergence of WSE and the absence of certainty in production capabilities. Demand Response Program (DRP) usage is one of these solutions [7].

Recently, by conducting studies to implement better Demand-Side Management Programs (DSMP) and roles, a balance has been formed between EC and RE generation. A WSR-based SG is managed using a DRP [8]. To ignore the use of the pollution emission function to model the micro-grid management, the resolution for the proposed model is made through the Particle Swam Optimization (PSO) algorithm. To mitigate the cost of functioning and emissions, in [9], the evaluation of multi-objective operation planning in a SG distribution with WSR was performed as a probabilistic model; in Wind Power (WP) and Solar Power (SP), the variations are modelled with the help of Probability Density Functions (PDFs). This reference does not consider the corresponding generation of SP and WP modelling. On the other hand, there is an omission from the pollution function's definition for elements such as Sulphur Dioxide (SO2) or Nitrogen Oxides (NOx) and for problem-solving the three-constraint method is used. Reference [10] discussed the same type of issue, which was solved using the scenario tree method; the researchers in this study ignored the SP modelling.

In the Mesh Adaptive Direct Search Method (MSDSM), the generation of RE that causes uncertainty was ignored [11]. A single objective function changes a multi-objective function, and a method called Mixed Integer Programming (MILP) is used to resolve the recommended method. To increase social welfare, [12] studied the DSMP in an SG's application, assuming the generation of WP, i.e., a WPP and the improbability it caused. The authors do not consider the benefits of SP generation, and the incentive-based DRP, which motivates customers to participate, is not used in this research. In [13], the Monte-Carlo-Method-Based Stochastic Planning Approach (MCMBSPA) was suggested to model the wind and Demand Response (DR) stochastic behaviour in an energy market after considering the WP's impact as operational storage.

To develop the DRP, the authors of [14] used incentive-based payments as cost-suggested packages. The simulation results are reviewed in three separate instances to optimize operating costs and productions with and without DR. Users in an SG-connected microgrid with energy storage used an independent and distributive DSMP based on Bayesian Game Theory (BGT) designed by [15]. Each user's EC of shiftable loads is modelled as a noncooperative III-players game with partial data in which all users compete compared with the storage element and all other microgrid users.

A new method [16] has been developed for reducing residual demand to improve the mix and spatial distribution of WP and PV capacity in Europe. Micro-Grid Energy Management (MGEM) is described as mixed-integer linear programming [17] and presents a new multi-objective solution and DRP. DR is included in the optimization challenge to prove its impact on energy dispatch and their technological and commercial benefits.

A stochastic optimization framework for DR with dynamic pricing and Plug-in Electric Vehicles (PEVs) is by [18]. This paper proposes a stochastic optimization framework for demand response that considers dynamic pricing and PEVs. The limitations of this work

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

are that it does not consider uncertainties in the energy stock market and the PEV charging behaviour. The proposed model in [19] is a dynamic Zonal Congestion Management (ZCM) model based on the DRP. The model uses power tracing techniques and sensitivity analysis to determine the congestion control zones based on an introduced Congestion Index (CI) that considers both the effectiveness of congestion alleviation and the responsibility for congestion creation. The proposed model does not consider integrating RE sources, which can impact congestion management in the long run as the distribution of RE in the energy mix increases.

Further, the model assumes that the system operator has perfect information about the power system, which may not always be true in practice. Inaccurate information can lead to ineffective congestion management.

An "Integrated Energy Management System (EMS) for Microgrids of building prosumers" was proposed by [20]. A microgrid EMS for building prosumers is the proposed design. It reduces microgrid operation costs for buildings, RES, ESS, and PEVs. However, the proposed EMS does not consider uncertainties in the energy market, such as fluctuating energy costs and unpredictable weather patterns that affect RE generation. Although the proposed optimization problem is designed to minimize a microgrids' operation cost, it is unclear whether it can be scaled to larger microgrids or distribution networks. An optimal EMS for microgrids considering ESS, DR, and RE generation was proposed by [21]. The paper proposes a scenario-based EMS model for microgrids (MGs) in stand-alone mode that utilizes ESSs and demand-side flexibility to ensure autonomous power supply while maintaining stability. The potential limitation of this study is that it assumes perfect information, which may not be realistic in real-world scenarios. The study focuses on reducing network energy losses but does not consider other principal factors, such as environmental impacts or economic feasibility.

This paper optimizes the smart grid's WP, SP prediction, and DRP to minimize energy costs and emissions. WP and SP prediction were tested using cutting-edge Deep Learning (DL) models. Further, the proposed DRP is implemented to base the DRP method on an incentive, as the participation of consumers in these programs is deemed voluntary. To provide DR packages, such as cost and storage, for commercial, industrial, and residential consumers based on their situations, consumers select one of the presented packages and contribute to a DRP. The Water Surface Pressure Gradient (WSPG) is modelled using Rayleigh and the beta Probability Density Function (PDF) proposed in this paper. Considering the fuzzy-mechanism-based Pareto criterion in integration with nonlinear sorting, the Multi-Objective Ant Colony Optimization (MOACO) method is used to optimize the DRP.

The paper is structured as follows: Section 2 presents the predictions of SP and WP generation, Section 3 presents the MOACO-based DRP model, Section 4 presents the result and discussion, and Section 5 concludes the work.

2. RES Prediction

2.1. Solar Power Prediction (SPP)

The model is initialized by integrating Numerical Weather Predictions (NWP) to start with an ideal stage. Weather satellites and ground weather stations provide these weather predictions. Because of huge-scale forces, the predicted weather modifications, such as SP, speed, and clouds, can be assessed using standard operational NWP models at national centres. However, the prediction of WP or SP resources, adapted to the WP or SP plant's particular application and the WP or SP plant's location, is permitted by personalized NWP. A chance to assimilate exclusive local observations at the neighbouring power plant is provided. NWP models vary in the model grid's resolution and spatial model domain. The model grid's conventional spatial resolutions of 50 km for the global and approximately 2 km for the region are integrated with the global PM, i.e., globally and regionally, with an area-restricted MESO scale to operate. Well-designed global PMs forecast large-scale synoptic weather patterns. However, with less than 10 km of horizontal resolution, the regional models' current role is overtaken by the persistent hike in computer power.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

NWP approaches have been introduced based on the application and related time scale. The short-term time scale, from minutes up to a few hours, has adequate time series models that use on-site measurements. The ground-based sky imagers are used to acquire high spatial and temporal resolution that enables intra-hour prediction. Cloud motion vectors from satellite-image-based forecasts show a reliable performance for the next 30 min to the next 6 h. Photovoltaic (PV)-SG requires a prediction of up to 2 days. The NWP models are the basis of this prediction.

This section provides the basic ideas and information needed to understand and make solar power predictions. Primary factors such as SP monitoring, performance assessment metrics, and solar PMs that need general inputs are used to measure the performance of predictions.

2.1.1. Components and Applications of Irradiance

With a difference of less than 0.1% per year [22], there is 1.36 kWm^2 of extraterrestrial SP at the top of the atmosphere. How good a variable value depends on the local weather and where it is in ground-level SP. Global Horizontal Irradiance (GHI) is the absolute solar power that hits a horizontal ground surface. The GHI's are classified as Diffuse Irradiance and Direct Normal Irradiance (DNI), where the energy from the ground level usually comes from the solar beam and contains a small volume of circumsolar energy [23]. Diffuse Horizontal Irradiance (DFI) energy propagates through the atmosphere. Equation (1)

$$\mathrm{HI} = \mathrm{DNIcos}(\theta_z) + \mathrm{DIF} \quad (1)$$

The association between DNI, GHI, and DFI is where the solar zenith angle is θ_z and the solar elevation angle $\theta_e(\theta_z + \theta_e) = 90^\circ$ is the balancing angle. DNI develops more sensitivity towards atmospheric cloud covers and aerosol concentrations when compared with GHI. For example, the DNI is dropped by moving clouds in a few seconds from hundreds of W m^2 to 0 [24].

There is a considerable correlation between operational PV generation and GH. As a result, the increasing development of PV capacity has motivated future research on GHI resourcing and prediction. Alternatively, the real-time tracking of the SP results only in using DNI components by the Concentrated Solar Power (CSP) technologies. Thus, a powerful desire for researching and predicting DNI resourcing is stimulated by the latest increase in the development of global CSP systems.

The future power result, or SP, is the result of the solar PMs. This is the difference in the value of the PMs between models and choosing the values needed to make a PM. The following are the inputs commonly used in intra-hour solar prediction applications: local weather data, sky image features, and historical and current energy data.

2.1.2. Measured Irradiance Data

Solar PMs' endogenous inputs and training targets represent clear-sky indices and irradiance measurements. The literature uses temporal resolutions of 1 to 5 min combined with lagged 30 to 60 min data for intra-hour forecast horizons. However, this is not enough for the solar ramps' accurate prediction (caused by evolving clouds) to be performed by solar PM containing just endogenous inputs [25]. To the PM, there is a necessity for exogenous inputs to be predicted since they are important for plant management, operations of rapid distribution, and enabling inverter control by the solar ramp [26]. The accuracy that SP expects in predicting solar ramp measures is enhanced by exogenous inputs such as cloud cover information and weather data provided by sky images [27].

2.1.3. Meteorological Data

Table 1 contains the meteorological variables commonly used for deploying the intra-hour solar prediction. The meteorological data are received from the weather stations of neighbouring or local NWPs. In situ observations are chosen because they have a high temporal resolution. In the absence of in situ observations, high-resolution time series

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

of NWP data from NWP are interpolated as global inputs [28]. Data normalization, a commonly used and effective method, improves the sturdiness and standardisation of data-driven models [29]. Data are normalized by increasing the certainty of NWP data, improving data stability, and simplifying object-to-data mapping. The Min–Max scaling score normalization method is frequently used to normalize the meteorological data in the solar prediction domain. The definition of Min–Max feature scaling normalization is as follows: Equation (2):

$$X_{\text{normalized}} = \frac{X - X_{\text{min}}}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}} \quad (2)$$

where a weather variable's value is X, set the data at the MIN and MAX as X_{min}, X_{max}. The definition of the standard value of normalization is as follows: Equation (3)

$$X_{\text{normalized}} = \frac{X - \mu}{\sigma}, \quad (3)$$

where X's mean and standard deviations are 'm' and 's'.

Table 1. Input variables for prediction applications.

Class	Variables
SP	GHI, DNI, DIF, open-sky indices, spectrum energy, and neighbour energy.
Weather Data	Conditions such as pressure, temperature, humidity, Wind Speed (WS), wind direction, rainfall, aerosol optical depth, and cloud cover
Features of Sky Images	Cloud movement vector, cloud cover ratio, image features.
Other	Solar zenith, azimuth, local time, solar time

2.1.4. Local Sky Imaging Data

The use of cloud indices provided by NWPs every 6 to 12 h is permitted for intra-day and day-ahead solar prediction. However, to be used for intra-hour solar prediction, this is not sufficient [30]. So, sky imagers—the local sensing systems—provide information related to ground-detected clouds in integration with greater temporal and spatial resolution. Relevant studies obtain summarized statical features from sky images as exogenous inputs because millions of pixels are checked in a high-resolution sky image. Feature Extraction (FE) is performed using statistical RGB analysis or cloud detection methods. A complete sky image (FE) is presented in [31]. However, these image-based FE methods that minimise installation and transfer costs are usually performed manually.

2.1.5. Mathematical Modelling

The prediction problem is as follows: a time of historical climate data is given $\{x_1; x_2 \ldots x_n\}$ and the number of weather inputs is represented by "n". The following is a mapping function "f" between future solar PV and historical weather data defined to forecast day-ahead solar PV by Equation (4).

$$\hat{y} = f(x_1, x_2 \ldots, x_n) \quad (4)$$

The solar PV-PM with n = 6 weather inputs' is shown in Figure 1.

As PV panels become more affordable, utilities are increasingly installing high potentials at Solar Power Plants (SPPs); later, the output power is regulated via an inverter to satisfy the guidelines of maximum capacity, commonly referred to as curtailment. However, especially during the winter, the day's maximum power output mismatches with the sun's position due to curtailment. As a result, in our work, the target values do not match the precise amount of energy generated by PV panels, which are more closely related to the sun's location throughout the year. However, the target values include the power outputs

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

of a regulated SPP that fails to track the sun's position very precisely. This work assessed the optimal power generation curve daily for the inverter effect. We defined "ideally" as the volume of SPP electricity output generated in exceptionally sunny weather with no cloud cover but with curtailment.

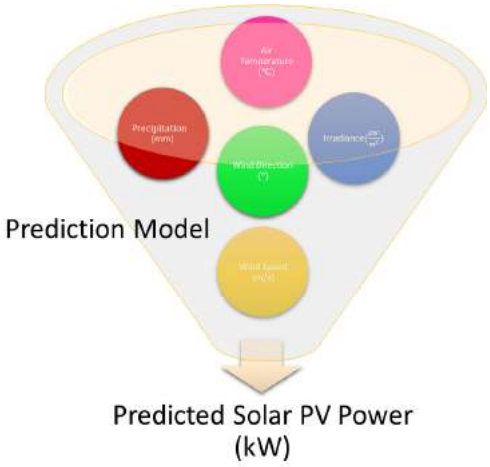


Figure 1. Solar PV-PM.

Due to the extensive data, the true daily pattern is difficult to observe. On the other hand, the greatest values of the blue "lines" represent the highest daily power generation, which varies seasonally and monthly. Additionally, the red cosine of the sun's zenith angle showed that maximum power outages would not occur daily. The monthly optimum condition of the day is defined in this work, i.e., the output of the optimum day's power was determined for each month based on a historical day's sample, wherein a set of circumstances contained the energy output.

SPP per day and hour can be the value of the daily sum and the monthly maximum sum $s^{d,m} = \sum_h P_h^{(d,m)}$. A similar quantity for daily_max $S^m = Max^{(s^{d,m})}$ and monthly daily_max is computed as: $m^{d,m} = Max(P_h^{(d,m)}$ and $M^m = Max\left(m^{d,m}\right)$.

Algorithm 1 depicts the algorithm for selecting ideal days from historical data. To summarize, optimal days would have a daily sum and high output of more than enough compared with all previous days in that month. In addition, the optimum day will possess a smooth bell curve with no abrupt decrease in power production. Figure 2 depicts an ideal and a non-ideal day.

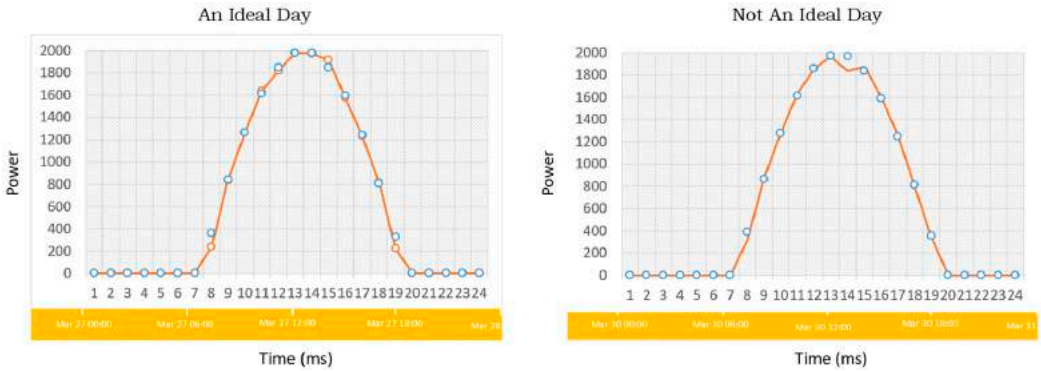


Figure 2. Illustration of an optimum day chosen on the left and a non-ideal day on the right (with a minor decrease at noon).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Algorithm 1 Ideal Days Selection Algorithm	
Step 1:	Initialize $m \leftarrow 0,\ d \leftarrow 0, h \leftarrow 5$;
Step 2:	While $d \leq d_m$ Do
Step 3:	While $m \leq 12$ do:
Step 4:	$I := S^m \times 0.9$;
Step 5:	$J := M^m \times 0.95$;
Step 6:	If $s^{d.m} < I$ Then
Step 7:	Ideal:= False;
Step 8:	Else If $m^{d.m} < J$ Then
Step 9:	Ideal:= False;
Step 10:	Else
Step 11:	While $h \leq 19$ do:
Step 12:	$P := avg\left(p_{h-1}^{d,m}, p_{h+1}^{d,m}\right) \times 0.9$;
Step 13:	If $p_{h-1}^{d,m} < P$ Then
Step 14:	Ideal:= False;
Step 15:	Break;
Step 16:	Else If $\left(p_{h-1}^{d,m} - P\right) < -200$ Then
Step 17:	Ideal:= False;
Step 18:	Break;
Step 19:	Else
Step 20:	Ideal:= True;
Step 21:	End If;
Step 22:	End Do;
Step 23:	End If;
Step 24:	End Do;
Step 24:	End Do;
Step 25:	End

This work computes the "distance" or "similarity" between the actual and ideal power outputs. To summarize the method, for every training day, similarity metrics are determined. Next, the cumulative summary statistics of such a day's weather are used for training a Support Vector Regression (SVR) model, which tends to forecast the similarity metrics at the time of forecast. The hourly SP output is then predicted using the predictable similarity metrics and hourly weather data.

2.1.6. Deep Learning Models

The weather condition's temporal evolution is distributed, and its impact on SP output is investigated using the Temporal Convolutional Network (TCN)-based DL method proposed in this study. Each day has a set time, ranging from 5 a.m. to 8 p.m. for 16 h. On an hourly basis, the target SP output is measured, so each day contains 16 target values. Several methods exist for extending the network's connectivity in the time dimension, which investigates the weather data's spatiotemporal dimensions daily.

On the temporal dimension, connectivity is accomplished in phases. Figure 2 shows three temporal connection patterns evaluated: a single hour, a daily, and a hybrid model. With a weather-grid-data-based 4D tensor, the single-hour model solely considers inter-hour

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

temporal connectedness. The daily model with NWP data assumes a 4D tensor containing NWP data for the previous 16 h and an output equivalent to 16 hourly solar outputs.

- Single-Hour Model

The winning models and the tested networks are like the winning models in the ImageNet challenge: AlexNet and ResNet. This model deployed the TCN combined with the Volumetric Convolution Neural Network (VCNN) layer instead of the spatial convolution layer. On a multi-dimensional input tensor built with different weather inputs, a 4D convolution is applied by a volumetric convolution layer followed by TCN. The spatial dimensions in spatial convolution are where convolutions are exclusively applied. A 3D filter is convoluted to perform convolutions from the spatial and temporal dimensions in 4D-CNNs to extract spatial–temporal relation information automatically. The VCNN and TCN-based Neural Networks (NN) are depicted in Figure 3a–c. Throughout the temporal and spatial dimensions, the derived features are accessible to heterogeneous channels containing information about the weather using VCNN. As a result, it can recognise cloud movement patterns, which influence SP outputs.

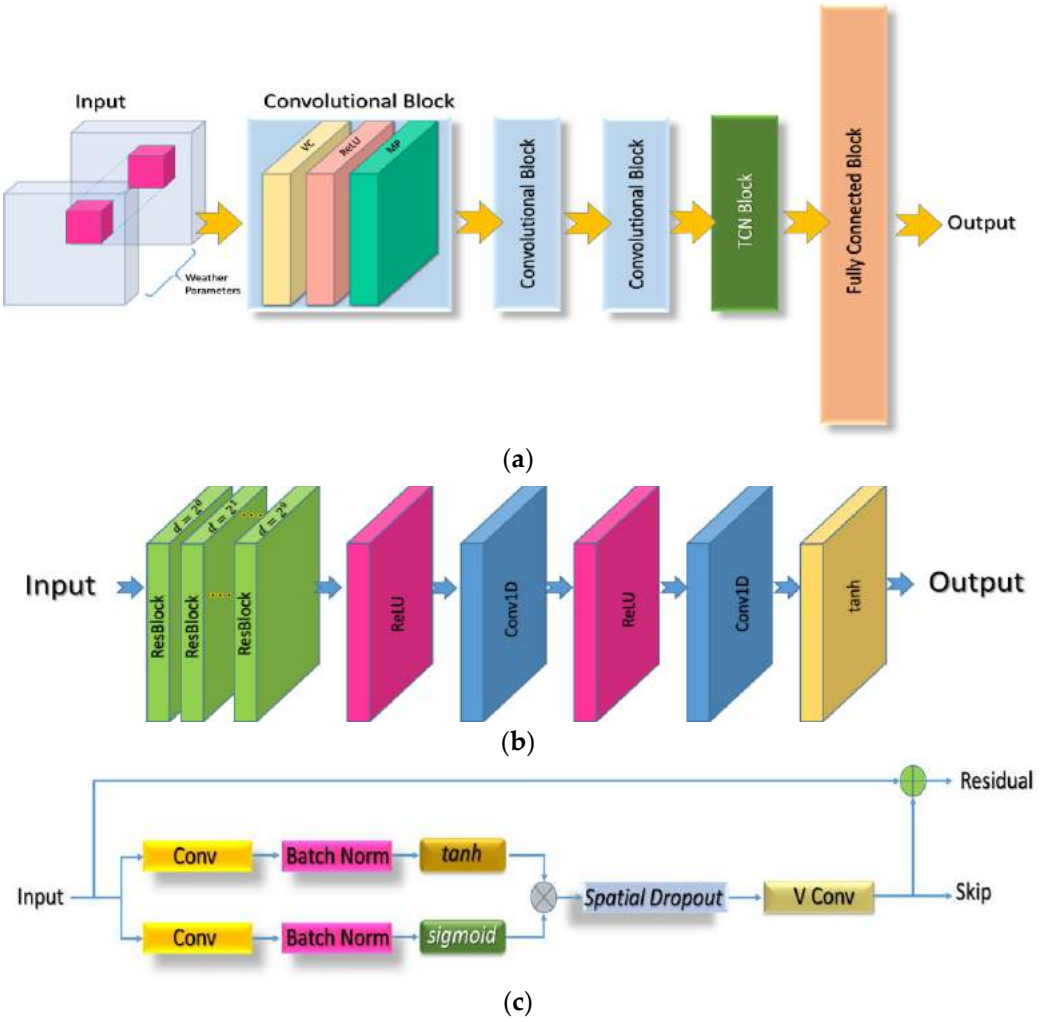


Figure 3. (**a**) VCNN and TCN-based Neural Network. (**b**) TCN Block Architecture. (**c**) ResBlock Architecture.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

The formal name for a unit's value at location (t, x, y) is inside the feature map (i, j) with a layer v_{ij}^{txy}, Equation (5).

$$v_{ij}^{txy} = \text{ReLU}\left(b_{ij} + \sum_m \sum_{r=0}^{R_i-1} \sum_{p=0}^{P_i-1} \sum_{q=0}^{Q_i-1} w_{ijm}^{rpq} v_{(i-1)m}^{(t+r)(x+p)(y=q)}\right) \quad (5)$$

where the Rectified Linear Unit is ReLU, which allows only definite outputs to be transmitted over the network, the bias of this feature map is b_{ij}, over the features from the *(i-1)* layer, 'm' indexes for the feature, the weight for value at the filter's point r, p, q is W_{ijm}^{rpq}, the time, height, and filter size are R, P, Q. With more massive convolution strides, the output layer is generally smaller, Equations (6)–(8).

$$R_{i+1} = \lfloor (R + 2 \times padT - R_i)/dT + 1 \rfloor \quad (6)$$

$$P_{i+1} = \lfloor (P + 2 \times padX - P_i)/dX + 1 \rfloor \quad (7)$$

$$Q_{i+1} = \lfloor (Q + 2 \times padY - Q_i)/dY + 1 \rfloor \quad (8)$$

(1) *Model Shorthand Notation:* A shorthand notation is used were

- A volumetric convolutional layer with spatially sized $R \times P \times Q$ filters as $VC(l, R, P, Q; dr, dp, dq)$, implied by stride $VC\ (dr, dp, dq)$;
- As implied by stride $VC(dr, dp, dq)$, a volumetric max pooling with spatial size $R \times P \times Q$ is specified $MP(R, P, Q; dr, dp, dq)$;
- The temporal convolutional layer has 'n' output nodes and is $TC(n)$;
- $FC(n)$ denotes the fully connected layers of 'n' output nodes.

(2) *Single-Hour Network Model:* Through the shorthand notation, the whole framework for the network-constructed single-hour model is Equation (9).

$$\begin{gathered} VC(128,2,11,11;1,4,4) \to MP(1,3,3;1,2,2) \to VC(384,2,5,5;1,1,1) \to MP(1,3,3;1,2,2) \to \\ VC(768,2,3,3;1,1,1) \to VC(576,1,3,3;1,1,1) \to VC(576,1,3,3;1,1,1) \to MP(1,3,3;1,2,2) \to TC(1000) \to FC(1). \end{gathered} \quad (9)$$

It is of value noting that a ReLU layer follows each volumetric convolution layer. The layer output of the last FC layer contains merely a number because our objective is a regression problem.

- TCN

The proposed TCN block model is depicted in Figure 3b. TCNs often use fundamental convolutions in which the current and previous factors determine the output at a time "t". Zero paddings are used to achieve this. To replicate the future knowledge utilization by bidirectional RNNs, this work generates the convolutions inside the TCN block in a non-casual way. In this method, apply $d = \{2^0, 2^1, \ldots, 2^9\}$ dilation rates integrated with 10 residual blocks (ResBlocks). The ResBlock uses 256 filters of size 3 and a dilation rate of d incorporated 1-D dilated convolutions, as shown in Figure 2c. Unlike the ResBlock algorithm presented in [32], batch normalization is used after dilation convolutions. If necessary, the *tanh* and sigmoid activations embrace the normalized activations. Before the last convolutional layer, which has 256 filters of size 1, a spatial dropout with a 0.5 dropout rate is used. The output activations would be an end connection, and the original input is to generate the residual connection. The sum of all skip connections is given a ReLU activation. Ultimately, two convolution layers, each possessing a 128-sized filter, are fed with the output activations. When using TCNs, a more extensive set of variables and Multiply-and-Accumulate (MAC) operations are frequently required. However, then, the well-developed hardware accelerators have made it possible to realize such systems while lowering energy costs and the requirement of silicon area and memory space [33]. Because of the Convolutional Neural Network (CNN) accelerator's structure, the accelerators try to accept three types of data reuse.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

(i) By design, the convolutional reuse allows using the same filter map activations and filter weights across the panel.
(ii) The activation of the input feature map is used again because the same input feature map is hard to understand with different filters.
(iii) The same filter weights are used on all input feature maps during batch processing.

Accelerating RNNs confronts two major tasks: For starters, because of its recurrent nature, including serial processing, it cannot exploit parallels '*m*' properly. The second issue is that computations are data dependent. As a result, a customized accelerator is created that is tuned to the computation model.

2.2. Wind Power Forecasting (WPF)

When creating a PM, spatial scales are considered. Grid balancing requirements, on the other hand, must consider the availability of WP from all Wind Power Plants (WPPs), including utilities within their service region. Mutual information, as the name implies, denotes data distributed through two variables. The degree of improbability of all other variables to be assessed and predicted is called data entropy, which measures such a degree of dimensionless statistics when one of these variables remains less.

NWP factors f_i with WP as P have mutual information as I, as Equations (10) and (11)

$$I(f_i, P) = \sum_{t,t' \in T} p\left(f_i = f_i(t), P = P\left(t'\right)\right) \log \frac{p(f_i = f_i(t), P = P(t'))}{p(f_i = f_i(t))p(P = P(t'))} \quad (10)$$

$$I\left(f_i, f_j\right) = \sum_{t,t' \in T} p\left(f_i = f_i(t), f_j = f_j\left(t'\right)\right) \log \frac{p\left(f_i = f_i(t), f_j = f_j(t')\right)}{p(f_i = f_i(t))p\left(f_j = f_j(t')\right)} \quad (11)$$

The difference in probability between WP and P is $p(.)$. The Mutual Information (I) among the *i*th NWP factor and WP and the "*I*" between the (*i,j*) factors of NWP are represented by $I(f_i,\ P)$ and $I\left(f_i,\ f_j\right)$. $I = 0$ if the two variables are independent. If the randomness of the two variables is the same '*I*', their entropy is equal.

Minimum Redundancy and Maximum Relevance (mRMR)-Based Feature Selection

The mRMR algorithm [34] seeks to find an ideal set of SP-NWP factors that maximizes SP-NWP's relevance to a response variable P. It reduces WP-NWP, which stands for SP-NWP redundancy, wherein SP-NWP and WP-NWP are defined by mutual information I: Equations (12) and (13)

$$V_{S_{MWP}} = \frac{1}{\left|S_{NWp}\right|} \sum_{f_i \in S_{MWP}} I(f_i, P) \quad (12)$$

$$W_{S_{MWP}} = \frac{1}{\left|S_{NWP}\right|^2} \sum_{f_i \cdot f_j \in S_{MWP}} I\left(f_i, f_j\right) \quad (13)$$

Whereas SP-NWP is the number of factors within WP-NWP, a subset of the SP-NWP factors, WP-NWP is the number of factors in the NWP factors. For the mRMR Feature Selection (FS) method to work with temporal data, the data needs to be flattened into one matrix ahead of time. This could lead to the loss of crucial information within temporal data. This study uses the Modified Minimum Redundancy and Maximum Relevance (M-mRMR) method, which keeps the notion of the mRMR by maximizing the objective function, incorporating relevance and redundancy, yet adapts to control multivariate temporal data without flattening.

The temporal dataset with N cases is $D = \{X_i,\ c_i\}_{i=1,\ldots,N}$. G pragmatic NWP variables are assessed at T time; for example, I is represented by $X_i \in R^{G \times T}$. The case "I" is represented by the class as $c_i \in \{1, \ldots, K\}$. Call the $N \times T$ matrix of NWP data for the jth factor $g_j \in R^{N \times T}$, $j = 1, \ldots, G$. This work constantly computes the F-statistic to

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

represent the relevance of an NWP factor g_i and then combines these inputs using a suitable aggregation operator, in this case, the arithmetic mean (Algorithm 2).

Algorithm 2 M-mRMR	
Step 1:	Initialize $S_{All} := \{1, 2, \ldots, G\}$, $S := \varnothing$, $S_\alpha := \varnothing$;
Step 2:	While $g_j \in \mathbb{M}^{N \times T}$ Do:
Step 3:	The F-statistic values: $F\left(g_j, c\right) = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} F(g_j^{(t)}, c)$;
Step 4:	End Do;
Step 5:	$\mathbb{R} := Roundoff(\alpha G)$;
Step 6:	while $i < \mathbb{R}$ do:
Step 7:	$S_\alpha := S_\alpha \cup \underset{j \in S_{All}/S_\alpha}{Argmax} F\left(g_j, c\right)$;
Step 8:	End Do;
Step 9:	$S := \underset{j \in S_{All}}{Argmax} F\left(g_j, c\right)$;
Step 10:	For $len(S) < m$ Do:
Step 11:	While $k \in S_\alpha / S$ Do:
Step 12:	$S' := S \cup k$;
Step 13:	$V_{S_{MWP}} = \frac{1}{\left\lvert S_{NWP} \right\rvert} \sum_{f_i \in S_{MWP}} I(f_i, P)$;
Step 14:	$W_{S_{MWP}} = \frac{1}{\lvert S_{NWP} \rvert^2} \sum_{f_i \cdot f_j \in S_{MWP}} I\left(f_i, f_j\right)$;
Step 15:	End While;
Step 16:	$S := S \cup \underset{k}{argmax} \frac{V_F(g_k)}{W_{dtw}(g_k)}$;
Step 17:	End For;
Step 18:	Return S;

The top six weather factors are chosen as NWP factors because they have a strong link to power and are unlike other NWP elements.

This study employs CNN and physics-constrained LSTM as PMs, and the OWAWA operator is used to weigh the two models. CNNs, which are a popular Image Recognition Method (IRM), work well for dynamic methods that predict features. Because the LSTM is good at learning over time, it is reasonably accurately learning how to map NWP components to WP. Finally, using the OWAWA operator, a combination PM for short-term WPF is constructed.

- The Ordered Weighted Averaging—Weighted Average (OWAWA) Operator

The class of average aggregation functions includes Ordered Weighted Averaging (OWA) functions. They differ from weighted means, considering how the weights are related to the magnitude of the inputs rather than the specific inputs. For example, all inputs are comparable, and the relevance of each input is defined by its value.

OWAWA's operator is a new model that combines the OWA and weighted average operators into a single formula. Its key benefit is that it may unite both ideas while considering their relative relevance in the aggregate process. The following is a list of possible definitions.

An OWAWA operator of length 'n' is a mapping $OWAWA : R^n \to R$ that has an associated weighting 'W' with $w_j \in [0, 1]$; $\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$, Equation (14):

$$OWAWA(a_1, a_2, \ldots, a_n) = \sum_{j=1}^{n} \widehat{v}_j b_j \tag{14}$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

where b_j is the jth greatest of the a_i and each argument of the a_i has an associated weight (WA) v_j with $\sum_{j=1}^{n} v_j = 1$ and $v_j \in [0, 1]$, $\hat{v}_j = \beta w_j + (1 - \beta)v_j$ with $\beta \in [0, 1]$, where v_j is the weight (WA) v_i ordered according to b_j, that is, the jth greatest of the a_i. This work receives the OWA operator if $\beta = 1$ and the WA if $\beta = 0$. The OWAWA operator achieves features such as those of traditional aggregation operators. It is worth noting that this work distinguishes between ordered layers and extends them using mixture operators, among other things.

This method has become common recently and merges two WPF methods in this study. Traditional combination PMs have different weighted average coefficients, so each PM's weighted average coefficient is stable throughout time points within that sample interval. The same PM may behave differently over time, with maximum prediction accuracy at one point and less prediction accuracy at another. A new integrated short-term WFM must be presented based on an OWA operator. Each PM is weighted in the combined model based on their prediction accuracy at each point in time. To some extent, the collective model avoids the problem of less prediction accuracy receiving more weight, whereas the method with maximum accuracy sometimes receives more weight.

- Physics-Constrained LSTM Model (PC-LSTM)

The PC-LSTM is designed using domain knowledge, and PV physical principles address the problems of modern Machine Learning (ML) algorithms, which are used on large amounts of data without taking physical laws into account (Figure 4). In creating the PC-LSTM, three types of restrictions (marked *as Cons. #1*, *#2*, *#3*) are used. The Data Filtering Module (DFM) is the initial module, and it divides the incoming data into distinct periods based on a flag variable. It filters training data to avoid physically improper forecasts, such as positive energy production at night, during training and testing. The PC-LSTM is based on global data or a basic concept of PV.

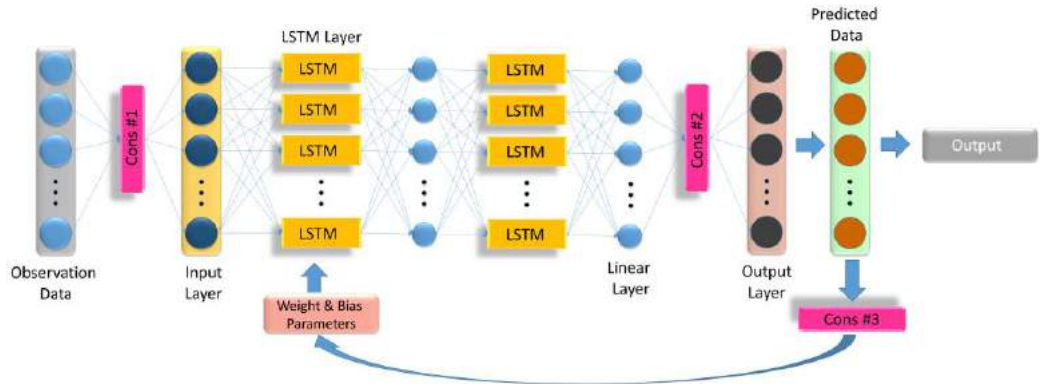


Figure 4. PC-LSTM architecture with three constraints.

PV panels near the ground surface gather solar energy, which is crucial for power generation. As a result, it is critical to mark periods with positive SP on the ground. Using hourly Surface Energy (SE) values, the DFM does this automatically. During training, the model only uses data from the marked periods. In the prediction step, on the other hand, the resulting PV output will be computed correspondingly for periods when SE is predicted to be '0'. The efficiency of the PC-LSTM is increased to some extent by using fewer data points for model training. The Clipping Module (CM) is the second constraint included in the PC-LSTM; it is used to keep the model's output within a tolerable range during training and testing. Using natural science to analyse PV avoids physical obstacles such as negative power generation. The model output should be positive because PV should be physically greater than '0'. As a result, the PC-LSTM output, y_i, should satisfy the constraint in Equation (15).

$$\hat{y}_i := ReLU(NN(x_i; \theta)) \quad (15)$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

A rectified linear unit function is *ReLU*(•). When '*-ve*', the *ReLU* function returns '0'; when '+*ve*', it returns the input value.

- OWAWA-CNN-LSTM Forecasting Model

In this paper, the PC-LSTM and CNN-PM are applied. The generated value inside the OWAWA operator is the RMSE for such two models in different test cases (Figure 5). The formulation could remain unchanged from Equations (16)–(18):

$$P_t^{\mathrm{wf}} = \mathrm{OWAWA}A_W\left(\left\langle e_{\mathrm{PCLSTM},t}, P_{\mathrm{PCLSTM},t}\right\rangle, \left(e_{\mathrm{CNN},t}, P_{\mathrm{CNN},t}\right\rangle\right) = \sum_{j=1}^{2} w_j P'_{j,t} \quad (16)$$

$$e_{\text{PC-LSTM},t} = \left|\frac{P_{\text{PC-LSTM},t} - P_t}{P_t}\right| \quad (17)$$

$$e_{\mathrm{CNN},t} = \left|\frac{P_{\mathrm{CNN},t} - P_t}{P_t}\right| \quad (18)$$

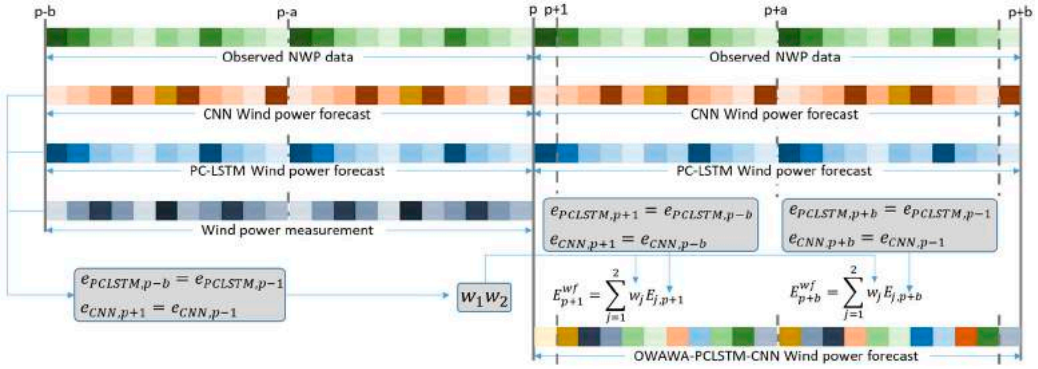


Figure 5. The OWAWA-CNN-PCLSTM integrated WPF model.

Pt is the measured WP at the time '*t*', as megawatts (MW). P_t^{wf} performs an OWAWA combined effectively with the WPF for point of time '*t*'. The WPF computed by the PCLSTM is $P_{\text{PC-LSTM},t}$, whereas the CNN model's computation of WPF is $P_{\mathrm{CNN},t}$. $e_{\mathrm{PCLSTM},t}$ and $e_{\mathrm{CNN},t}$, are the flaws of these two PMs at point of time '*t*'. $P'_{j,t}$ is the outcome of the WFM with the *j*th major error at point '*t*'. Solving the optimal control problem yields the weight values, w_j. $\mathrm{Min}S(W) = \sum_{t=1}^{N}\left(P_t - P_t^{wf}\right)^2$, Equation (19)

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^{2} w_j = 1 \\ w_j \geq 0, j = 1,2 \end{cases} \quad (19)$$

As a principle for determining the weight constants, the size of squared errors (S/W) among Pt others P_t^{wf} is used.

The accuracy of other PMs, otherwise analysts, changes slightly the next day, as per [35]. The two models perform similarly when the weather is the same. The error dispersion of the two models differs when the current and predicted days have different weather classifications. As a result, the nearest day with the same weather type was selected instead of the previous day. The historical errors $e_{\mathrm{PCLSTM},t}$ and $e_{\mathrm{CNN},t}$ and values $P_{\text{PC-LSTM},t}$,$P_{\mathrm{CNN},t}$ for an adjacent day are identified beneath each weather type.

3. Modelling MOACO-Based DRP

Residential, industrial, and commercial electricity customers are studied in this section, and the continuity equation demonstrates the modelling for their behaviour. Constraints

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

show that each consumer's total energy reduction per hour should be less than or equivalent to the highest number of its offerings, e.g., Equations (20)–(22)

$$RP(r,t) = RC(r,t) \cdot \zeta_{r,t}\ , RC(r,t) \leq RC_t^{max} \tag{20}$$

$$CP(c,t) = CC(c,t) \cdot \zeta_{c,t}\ , CC(c,t) \leq CC_t^{max} \tag{21}$$

$$IP(i,t) = IC(i,t) \cdot \zeta_{i,t}\ , IC(i,t) \leq IC_t^{max} \tag{22}$$

where the residential, profitable, and business consumers counts are 'r', 'c', and 'i'; in period 't', the proposal of energy load minimization by all consumers is $RC(r,t)$, in period 't', $CC(c,t)$, and $IC(i,t)$ are the load reduction proposed by all consumers. In time 't', the proposal of maximum load minimization by all consumers is $RC_t^{\max}$, CC_t^{max}, and IC_t^{max}; the $RP(r,t)$, $CP(c,t)$, and $IP(i,t)$ are denoted by $\zeta_{r,t}$, $\zeta_{c,t}$, and $\zeta_{i,t}$. For the proposed load reductions, the cost of load minimization for residential, marketable, and business users in period 't' is reproduced.

3.1. Objective Functions

Price-and incentive-based DRP are the two types, with each group divided into subgroups depending on the consumer's engagement in modifying their purchasing habits. Because incentive-based liability programmers deal with price signals and are therefore optional, assessing the DRP based upon incentive payments and modelling that on enabling retailers' packages, given the lower quantity of requests, is shown in Figure 6.

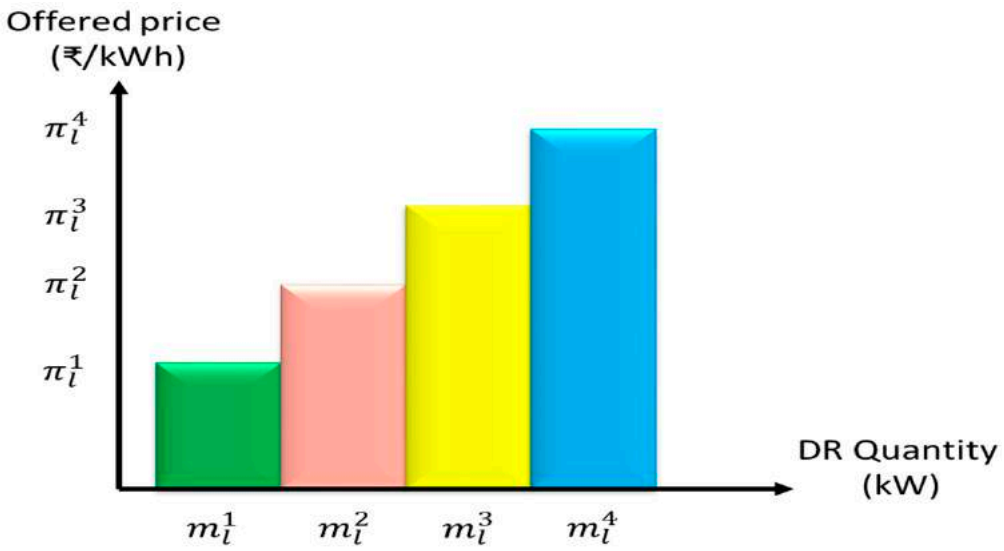


Figure 6. The Package of DRP's Offers.

With scattered producing resources such as WP and SP, this study will use a Multi-Objective Stochastic Model (MOSM) to assess operation costs and emission levels. Furthermore, DRPs based on incentive-based payment will minimize the uncertainty caused by the unpredictability of WP and SP resource behaviour throughout a 24-h planning horizon. In these schemes, responding to demands is categorized as residential, industrial, or commercial. Figure 7 shows the proposed optimization model.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

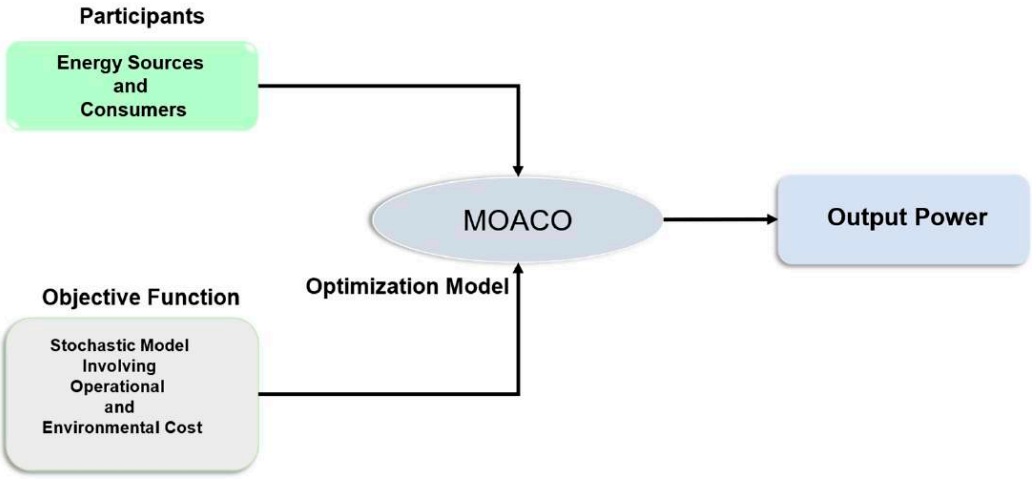


Figure 7. The Optimization Model.

3.2. Operational Cost Function

Unpredicted operating costs are estimated by evaluating and understanding the chance for a scenario, Pr_s, even in the '*t*' period and the '*s*' scenario that are prejudiced by the probabilistic. This component of an operational cost function comprises the cost of power savings due to DRP, and charges are linked to the Value of Lost Load (VOLL) and Expected Energy Not Served (EENS) to consumers.

$$Minf_1(X) = \sum_{t=1}^{T} F^{Cost}(t) = \sum_{t=1}^{T} COC(t) + \sum_{t=1}^{T} \sum_{s=1}^{S} Pr_s \times UOC_s(t) \quad (23)$$

wherein Pr_s is the possibility for scenario '*s*'. The operative costs, Equations (23) and (24), are confident and uncertain.

$$\begin{aligned} COC(t) &= \sum_{i=1}^{N_{DG}} \left[P_i(t)\pi_i(t)I_i(t) + SU_i(t)|I_i(t) - I_i(t-1)| + RC_i^{DG}(t)\right] \\ &+ \sum_{j=1}^{J} RC_j^{DR}(t) I_{Buy}(t) P_{Grid\text{-}Buy}(t)\pi_{Grid\text{-}Buy}(t) - I_{Sell}(t) P_{Grid-Sell}(t)\pi_{Grid-Sell}(t) \\ UOC_s(t) &= \sum_{i=1}^{N_{DG}} C_{i,s}^{DG}(t) + \sum_{j=1}^{J} C_{j,s}^{DR}(t) + ENS_s(t) \times VOLL(t) \end{aligned} \quad (24)$$

where during the '*t*' period, the output power and fixed cost for the *i*th unit's amount are indicated by $P_i(t)$ and $\pi_i(t)$; during the *t*th period, the ON/OFF mode of the *i*th DG is represented by binary $I_i(t)$; during the *t*th period, the running and shut-off costs for the *i*th unit are represented by $SU_i(t)$; the *i*th DG and DRP for the *j*th load's reserve costs are RC_i^{DG} and RC_j^{DR}; in period '*t*', the size of exchange power with utility is represented by $P_{Grid-Buy}(t)$ and $P_{Grid-Sell}(t)$; during the '*t*' period, in the open electricity market the suggested cost for exchange power with utility is indicated by $\pi_{Grid\text{-}Buy}(t)$ and $\pi_{Grid\text{-}Sell}(t)$; during the *t*th period in the *s*th scenario, the *i*th DG unit's running cost and the cost incurred for load minimization furnished by the *j*th DRPs are indicated by $C_{i,s}^{DG}(t)$ and $C_{j,s}^{DR}(t)$. At the '*t*' period and Value of Lost Load (VOLL) at the *t*th period, the Expected Energy Not Served (EENS) is $ENS_s(t)$ and $VOLL(t)$. At each DG, the battery's charge and discharge power and the switching of active power with the challenging grid produced by active power are included; $X^T = \{X_1, X_2, \ldots, X_T\}$ is the variable's state vector.

Regarding operational costs, DGs and DRP are reliable sources of reactive energy that make up for the lack of RE, SP, and WP. So, the DG is considered offline because its ground state is turned on to run standby power. As a result, the first part of the operating cost functions uses the fixed and start-up costs of DGs with a probability of one. In other words, when a situation in ON/OFF real-time mode happened, its DG stayed unchanged throughout the strategic planning process and power output was consumed only as per the day's preset parameters. So, this reversing payment will not change in any real-time

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

event of every scenario; therefore, the reserving cost is given a probability at the beginning of the objective function.

3.3. A Prototype of a Smart Grid System

The microgrid comprises DGs, energy reserves, and load systems that can run independently through the area's main SG [36]. Its development remains a component of the SG notion; given the benefits of SG, such as lower energy costs and increased system dependability and safety, it is apparent that microgrids and SGs have common goals [37]. Furthermore, SG technologies are required for benefits such as green technology development and DRP microgrids. The SG analyses the following consumers: residential, business, marketable, and RES, such as Micro-Turbines (MT), Wind Turbines (WT), PV cells, Fuel Cells (FC), and battery and diesel generators. This SG transfers energy with the utility [38,39].

MOACO Algorithm

Equal inequalities and constraints should be solved concurrently in Multi-Objective Optimization Problems (MOOP) since there are many conflicting objective functions, Equation (25).

$$\begin{array}{c} Min\ F(X) = [f_1(X),\ f_2(X), \ldots, f_n(X)]^T \\ Subject\ to: \begin{cases} g_i(X) < 0 & i = 1, 2, \ldots, N_{ueq} \\ h_i(X) = 0 & i = 1, 2, \ldots, N_{eq} \end{cases} \end{array} \quad (25)$$

where $F(X)$ is an objective function and 'X' is an increment variable, fi(X) is the 'i' objective function, $g_i(X)$ and $h_i(X)$ are equality and variation constraints, and 'n' is the number of objective functions. The possible solution for an MOOP is X or Y. The first solution will win, followed by the next, or none will control anything. As a result, if the two preceding conditions are met, one solution, 'X', will control the other in an optimization problem, Equation (26).

$$\begin{array}{l} \forall\, j \in \{1, 2, \ldots, n\}, \quad f_j(X) \le f_j(Y) \\ \exists\, k \in \{1, 2, \ldots, n\}, \quad f_k(X) < f_k(Y) \end{array} \quad (26)$$

As a result, non-dominated search space results are used to find Pareto set solutions. Eventually, the solution is located among the non-dominated results in the collection (Algorithm 3).

Algorithm 3 MOACO	
Input:	Production volume, proposed energy price, DG operational and emission costs, the next day's mean, and variance of WS and SP, and apply for demand from the daily load curve
Step 1:	Obtaining the volume of WP and SP from the proposed statical model
Step 2:	Set value parameters, number of ants (NA), and iterations (M)
Step 3:	Generate a primary population as $X^T = [X_1,\ X_2,\ \ldots,\ X_T]$;
Step 4:	Calculate fitness function: $Minf_1(X) = \sum_{t=1}^{T} F^{Cost}(t) = \sum_{t=1}^{T} COC(t) + \sum_{t=1}^{T} \sum_{s=1}^{S} Pr_s \times UOC_s(t)$;
Step 5:	Initialize Pareto archive:= $\varnothing$;
Step 6:	Identify and separate non-dominated results, and store them in the Pareto archive;
Step 7:	Initialize all pheromone values to τ_0;
Step 8:	While $i < M$ Do:
Step 9:	While $j < NA$ Do:

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Algorithm 3 MOACO	
Step 10:	Identify new solution S using: $j = \begin{cases} \text{argmax}_{j \in S_k(i)} \left\{ [\tau(i,j)]^{\alpha} [\eta(i,j)]^{\beta} \right\} & \text{if } q \le q_0 \\ J & \text{otherwise} \end{cases}$ $P_k(i,j) = \begin{cases} \frac{[\tau(i,j)]^{\alpha} [\eta(i,j)]^{\beta}}{\sum_{w \in r_k(i)} [\tau(i,u)]^{\alpha} [\eta(i,u)]^{\beta}} & \text{if } j \in S_k(i) \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$
Step 11:	For each solution in the current ant population, measure the values of the corresponding objectives;
Step 12:	Apply to update local rule using: $\tau_{i,j}(t) = (1-\rho_l)\tau_{i,j}(t-1) + \rho_l \tau_0$;
Step 13:	End Do;
Step 14:	Update Pareto archive;
Step 15:	While non-dominated solution ∈ Pareto archive Do:
Step 16:	Apply to update global rule: $\tau_{i,j}(t) = (1-\rho_g)\tau_{i,j}(t-1) + \frac{\rho_g}{P(S)+CS(S)}$
Step 17:	End Do;
Step 18:	End Do;

4. NWP Simulation and Analysis

The SG taken into consideration is connected to the utility and includes three users: residential, industrial, and commercial, for which requirements and a daily load curve are provided (Figure 8). The prototype system has a total EC of 3246 kWh. The current market price for Indian Energy Exchange (IEX) is depicted in Figure 9. IEX initiated power trading in India and provided a digital platform for state electricity boards, power manufacturers, power traders, and open access consumers. The reserve cost of Conventional Energy (CE) sources is estimated to be 25% of the more profitable cost of energy generation. Hourly WS data are shown in Figure 10, sourced from the IMD Pune weather prediction website [40]. The solar cell in discussion seems to be a 30 kW Adani PV Module, made with P-type bifacial solar cells, characterised by 1000 and 200 $^{W}/_{m^2}$ on the front and rear sides. Figure 11 depicts the average hourly SP sourced through the "Solar Energy Centre, Ministry of New and Renewable Energy, Government of India" [41].

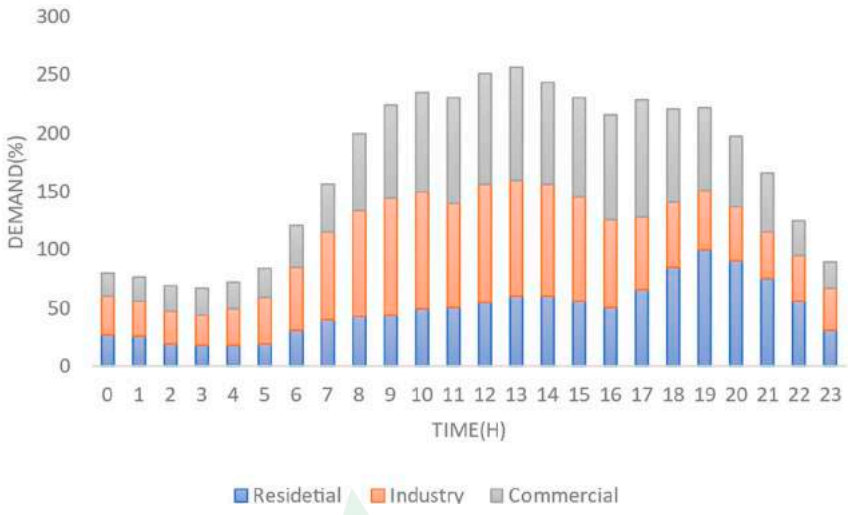


Figure 8. Daily load curves for different customers.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

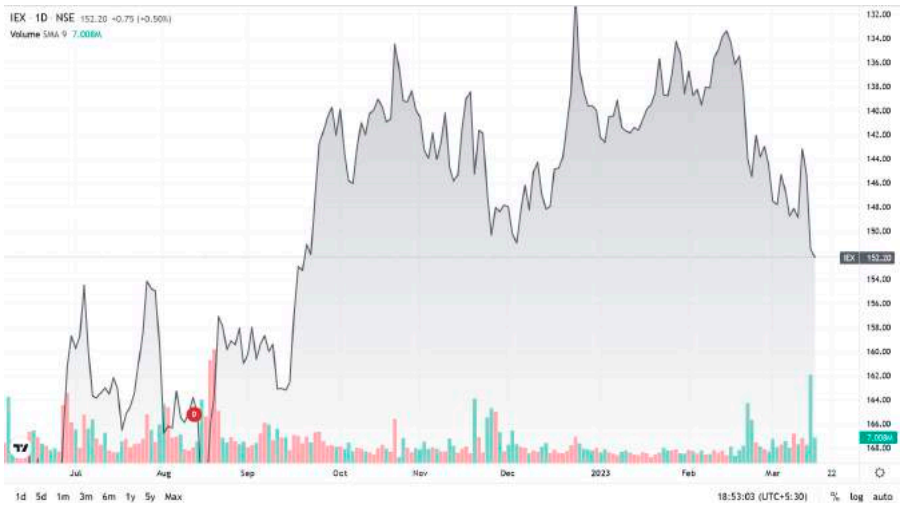


Figure 9. IEX market price in real-time (monthly chart).

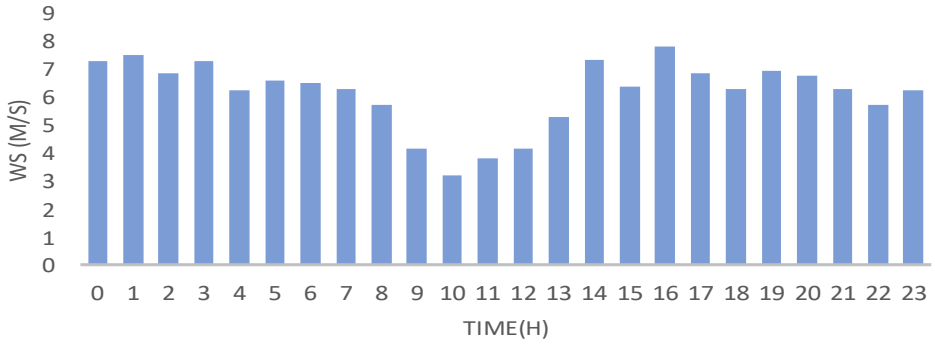


Figure 10. Hourly WS forecast.

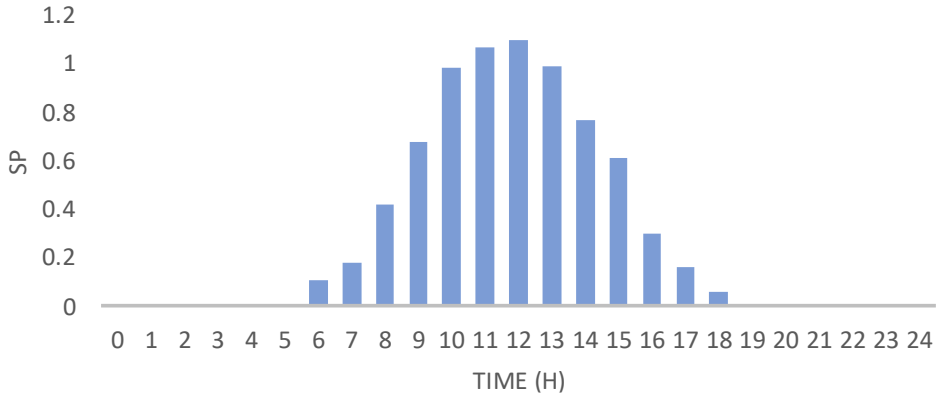


Figure 11. Hourly SP forecast.

With a power coefficient of 1, WT and PV systems adjust for reactive power locally by adding capacitors to related buses. The value of the lost load is estimated to be 1.54 $^{V}/_{kWh}$. A typical system with a 40 kWh battery charges from 10% to 100% of its capacity, with a 92% charge or discharge efficiency. Table 2 lists the DRP packages that are available. For DRP to be implemented, it is predictable that about 40% more consumers will enrol.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 2. Offered price package for DRP.

DRP-1	**kW**	**0–10**	**10–30**	**30–60**	**60–100**
	₹/kWh	1.5	1.8	2.15	4.5
DRP-2	**kW**	**0–10**	**10–40**	**40–60**	**60–80**
	₹/kWh	1.25	1.6	3.2	4.75

The problem is looked at differently to refer to how the energy level, reserve, and DR schedules affect operating costs and to clear up any confusion between WP and SP resources.

Case 1: Assuming the operational cost without DRP.

Case 2: Assuming the operational cost of DRP.

In all scenarios, power-producing units should be able to engage in the SG depending on their practical and commercial qualities, and in the presence of increased generation and demand, energy is exchanged only with the utility through a Point of Common Coupling (PCC). To verify the model's effects, the proposed model was created using MATLAB R2022a software.

Case 1: Considering the cost of operations without the proposed DRP: From here, the operational costs are minimised independently without considering the DR. Figure 12 illustrates the best power generation allocation for lower operating costs. It shows that the battery begins to be charged early in the morning when energy costs are low, and whenever energy costs are high, the utility obtains energy from SG, wherein CEs prioritize power usage only at the lowest quoted price. The outcomes in Figure 13 show that the SG does not seek SP and WP. As a result, when evaluating the reasonable operational cost, they will not get much consideration.

Case 2: Costs and functionality of operations using DR: With the help of DR, operating costs are reduced independently. Figure 14 demonstrates the optimal power generation unit allocation for reducing operational costs. Although SP generation decreases from 4.54 to 3.15 kW, WP generation in the DRP decreases from 8.02 to 7.41 kW. These programs reduce SP and WP generation from 47.68 to 44.65 kW and 86.10 to 84.32 kW, respectively.

Figure 15 shows how much energy a WT and solar cell produce when operational costs and DR are considered. Figure 16 shows that using DRPs limits the amount of WT and solar cells that can be made while also shifting demand from peak to off-peak times. When consumers take part in the DRP and say they will use less power at a specific time, the system operator can lower the power of the generating units.

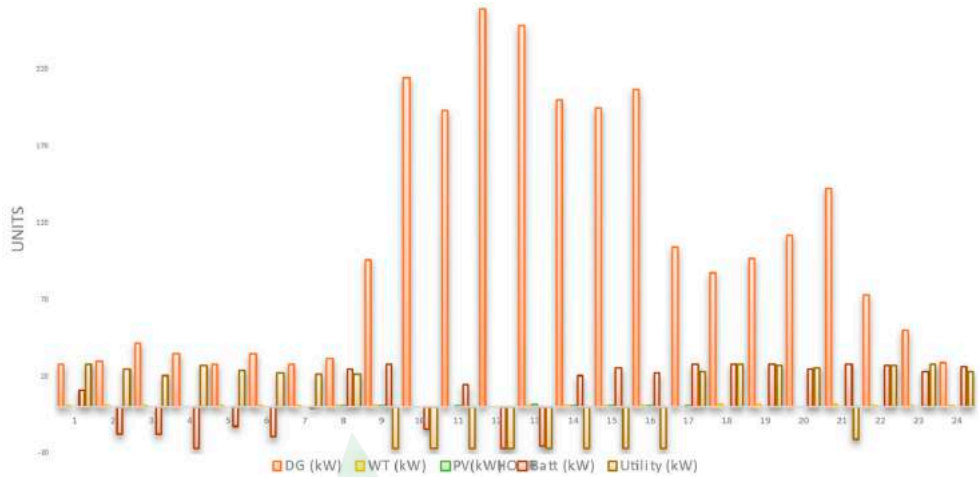


Figure 12. Energy resource scheduling without DR.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

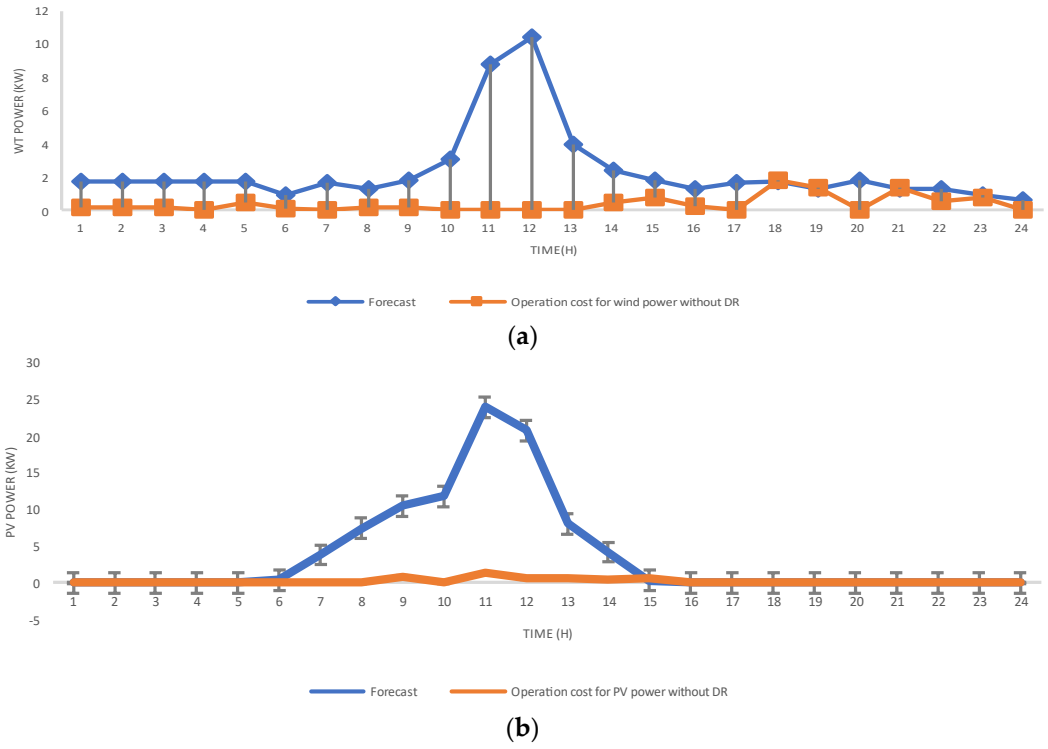


Figure 13. Output power (**a**) WP; (**b**) PV power estimate without DR.

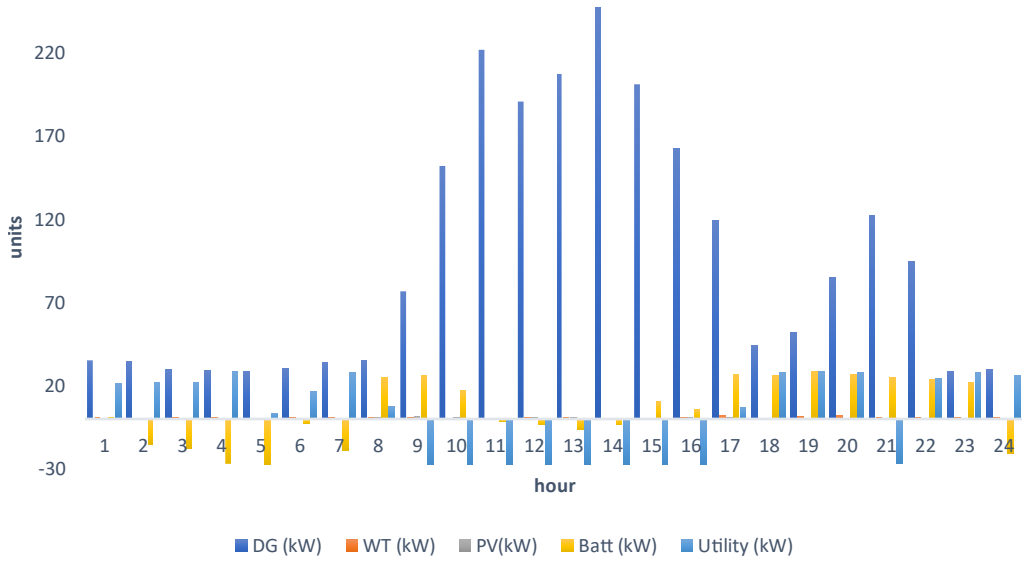
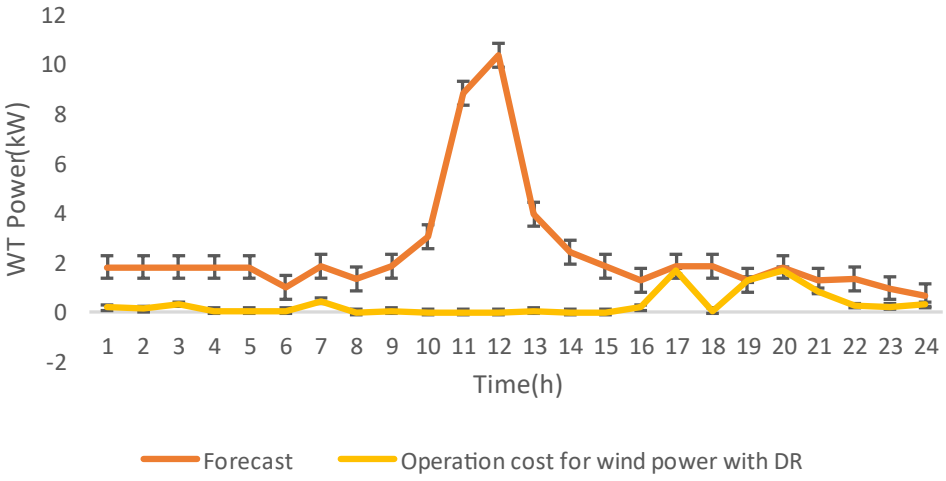


Figure 14. The operation cost of objective energy resource scheduling with DR.

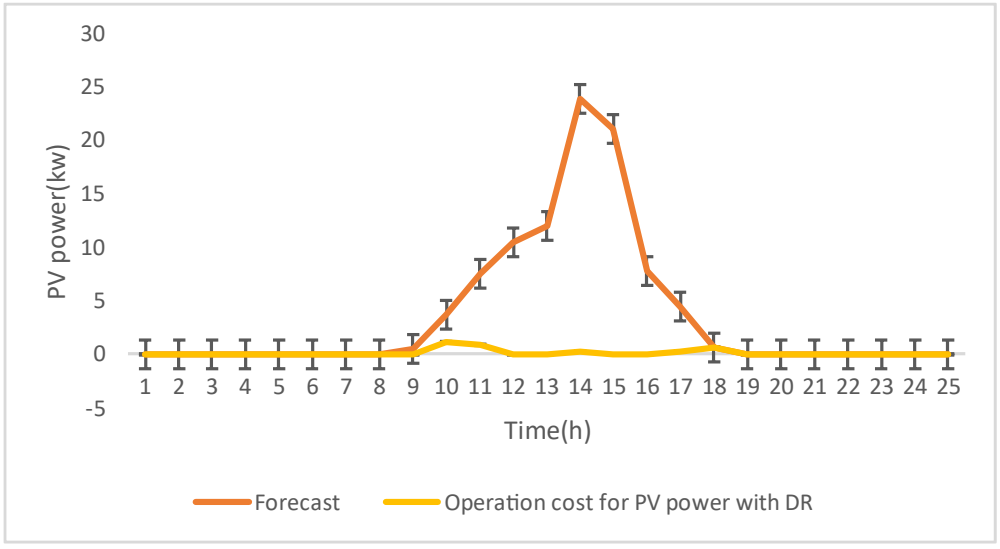
The performance evaluation of MOACO is shown through a comparison of standard deviation. Out of 50 runs, it has a minimal standard deviation of 1 unit. Additionally, the computational speed is faster, such as 0.5 ms.

To validate the results, two more algorithms in the literature have been taken to solve the problem as given in Table 3. We have implemented Multi-Objective Flower Pollination Algorithm (MOFPA) [23] and Multi-objective Golden Flower Pollination Algorithm (MOGFPA) [42] to validate the MOACO results. Comparatively, the standard deviation of MOACO is a lot less. At the same time, computation time is faster than the other two algorithms, as shown in the Figure 17.

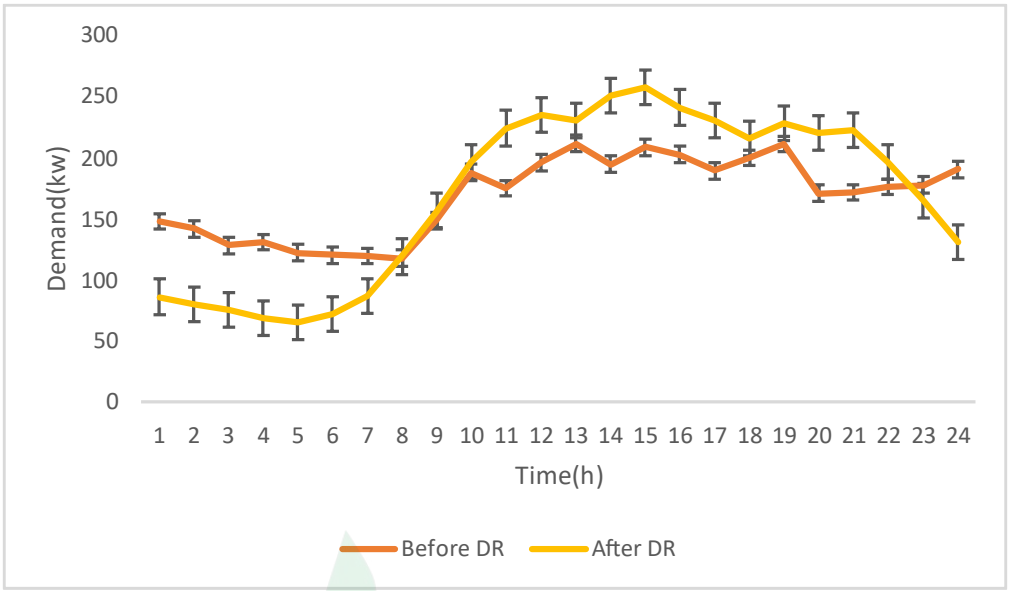
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(**a**)



(**b**)



(**c**)

Figure 15. Output power (**a**) WP; (**b**) Wind power estimate with DR; (**c**) PV power estimate with DR.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

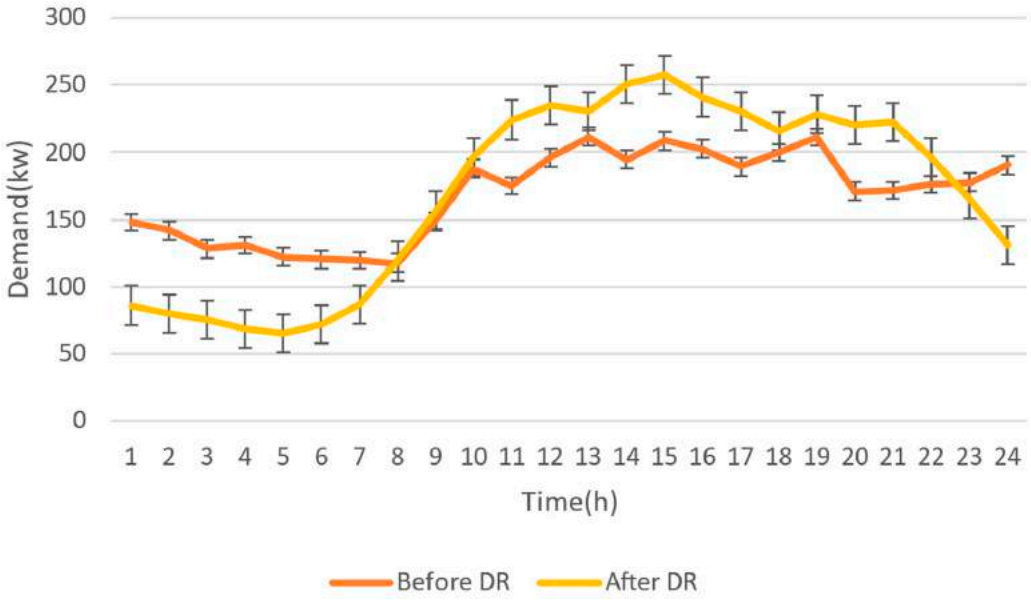


Figure 16. Pre- and post-DR load demand.

Table 3. Validation of MOACO with other algorithms.

Algorithms	Computation Time (ms)	Standard Deviation
MOFPA	2	5
MOGFPA	1	2
MOACO	0.5	1

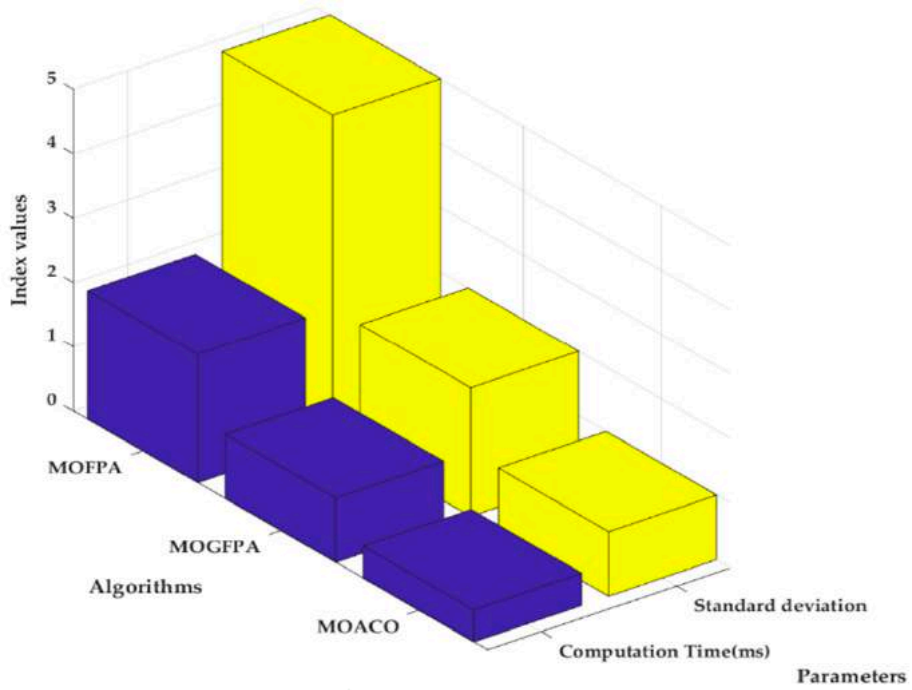


Figure 17. Comparative results of MOACO performance evaluation.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

5. Conclusions

The optimal demand-side management for the Smart Grid (SG) was implemented in this work by treating the Demand Response (DR) as the compensation for uncertainty produced by Wind Power (WP) and Solar Power (SP) generation in an optimization function with two conflicting goals. In numerous scenarios, the microgrid's overall operational cost was assessed. Furthermore, Deep Learning (DL)-based Prediction Models (PM) for assessing WP and solar cell power generation were reported. The potential of energy exchange was envisaged for improved operation of the SG. Consumers are predicted to be engaged in DRPs based on incentive payments to manage consumption. To solve the given model and provide an optimal response, the MOACO method was applied. The simulations revealed that if customers employ DR and address production losses caused by uncertainty in WP and SP, it will reduce operating costs. In the future scope of research, this could be enriched with vehicle-to-grid techniques for optimal energy saving and management. Aggregator operations would also be considered for efficient operating conditions of the SG.

Author Contributions: Writing—review and editing, investigation, V.A.; validation, H.M.A.G.; Visualization, resources, Writing—review and editing D.A.P.; Supervision, I.V.P.; Project administration, V.S.P.; Software, Writing—review and editing M.A.; Writing—review and editing, P.K.; Conceptualization, methodology, writing—original draft preparation, S.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Do Prado, J.; Qiao, W.; Qu, L.; Agüero, J. The Next-Generation Retail Electricity Market in the Context of Distributed Energy Resources: Vision and Integrating Framework. *Energies* **2019**, *12*, 491. [CrossRef]
2. Johnson, J.; Quiroz, J.; Concepcion, R.; Wilches-Bernal, F.; Reno, M.J. Power System Effects and Mitigation Recommendations for DER Cyberattacks. *IET Cyber-Phys. Syst. Theory Appl.* **2019**, *4*, 240–249. [CrossRef]
3. Strezoski, L.; Stefani, I. Utility DERMS for Active Management of Emerging Distribution Grids with High Penetration of Renewable DERs. *Electronics* **2021**, *10*, 2027. [CrossRef]
4. Mina-Casaran, J.D.; Echeverry, D.F.; Lozano, C.A. Demand Response Integration in Microgrid Planning as a Strategy for Energy Transition in Power Systems. *IET Renew. Power Gener.* **2021**, *15*, 889–902. [CrossRef]
5. Zhang, Y.; Huang, T.; Bompard, E.F. Big Data Analytics in Smart Grids: A Review. *Energy Inform.* **2018**, *1*, 8. [CrossRef]
6. Regy, P.V.; Sarwal, R.; Stranger, C.; Fitzgerald, G.; Ningthoujam, J.; Gupta, A.; Singh, N. *Turning around the Power Distribution Sector: Learnings and Best Practices from Reforms*; NITI Aayog, RMI, and RMI India: New Delhi, India, 2021.
7. Palaniappan, S.; Asokan, R.; Bharathwaj, S.; Sujaudeen, N. Automated Meter Reading System—A Study. *Int. J. Comput. Appl.* **2015**, *116*, 39–46. [CrossRef]
8. Díaz Redondo, R.P.; Fernández-Vilas, A.; Fernández dos Reis, G. Security Aspects in Smart Meters: Analysis and Prevention. *Sensors* **2020**, *20*, 3977. [CrossRef]
9. Khan, A.A.; Razzaq, S.; Khan, A.; Khursheed, F. Owais HEMSs and Enabled Demand Response in Electricity Market: An Overview. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2015**, *42*, 773–785. [CrossRef]
10. Alavi, S.A.; Ahmadian, A.; Aliakbar-Golkar, M. Optimal Probabilistic Energy Management in a Typical Micro-Grid Based-on Robust Optimization and Point Estimate Method. *Energy Convers. Manag.* **2015**, *95*, 314–325. [CrossRef]
11. Zakariazadeh, A.; Jadid, S.; Siano, P. Stochastic Multi-Objective Operational Planning of Smart Distribution Systems Considering Demand Response Programs. *Electr. Power Syst. Res.* **2014**, *111*, 156–168. [CrossRef]
12. Zakariazadeh, A.; Jadid, S.; Siano, P. Economic-Environmental Energy and Reserve Scheduling of Smart Distribution Systems: A Multiobjective Mathematical Programming Approach. *Energy Convers. Manag.* **2014**, *78*, 151–164. [CrossRef]
13. Rezaei, N.; Kalantar, M. Smart Microgrid Hierarchical Frequency Control Ancillary Service Provision Based on Virtual Inertia Concept: An Integrated Demand Response and Droop Controlled Distributed Generation Framework. *Energy Convers. Manag.* **2015**, *92*, 287–301. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

14. Cicek, N.; Delic, H. Demand Response Management for Smart Grids With Wind Power. *IEEE Trans Sustain. Energy* **2015**, *6*, 625–634. [CrossRef]
15. Afshar, K.; Shokri Gazafroudi, A. Application of Stochastic Programming to Determine Operating Reserves with Considering Wind and Load Uncertainties. *J. Oper. Autom. Power Eng.* **2007**, *1*, 96–109.
16. Ininahazwe, H.; Muriithi, C.M.; Kamau, S. Optimal Demand-Side Management for Smart Micro Grid with Storage. *J. Power Energy Eng.* **2018**, *6*, 38–58. [CrossRef]
17. Aghajani, G.R.; Shayanfar, H.A.; Shayeghi, H. Demand Side Management in a Smart Micro-Grid in the Presence of Renewable Generation and Demand Response. *Energy* **2017**, *126*, 622–637. [CrossRef]
18. Trujillo, D.; Garcia Torres, E.M. Demand Response Due to the Penetration of Electric Vehicles in a Microgrid through Stochastic Optimization. *IEEE Lat. Am. Trans.* **2022**, *20*, 651–658. [CrossRef]
19. Dehnavi, E.; Akmal, A.A.S.; Moeini-Aghtaie, M. Developing a Novel Zonal Congestion Management Based on Demand Response Programs Considering Dynamic Transmission Ratings. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* **2023**, *146*, 108779. [CrossRef]
20. Farinis, G.K.; Kanellos, F.D. Integrated Energy Management System for Microgrids of Building Prosumers. *Electr. Power Syst. Res.* **2021**, *198*, 107357. [CrossRef]
21. Erenoğlu, A.K.; Şengör, İ.; Erdinç, O.; Taşcıkaraoğlu, A.; Catalão, J.P.S. Optimal Energy Management System for Microgrids Considering Energy Storage, Demand Response and Renewable Power Generation. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* **2022**, *136*, 107714. [CrossRef]
22. Zappa, W.; van den Broek, M. Analysing the Potential of Integrating Wind and Solar Power in Europe Using Spatial Optimisation under Various Scenarios. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2018**, *94*, 1192–1216. [CrossRef]
23. De, M.; Das, G.; Mandal, K.K. An Effective Energy Flow Management in Grid-Connected Solar–Wind-Microgrid System Incorporating Economic and Environmental Generation Scheduling Using a Meta-Dynamic Approach-Based Multiobjective Flower Pollination Algorithm. *Energy Rep.* **2021**, *7*, 2711–2726. [CrossRef]
24. Coddington, O.; Lean, J.L.; Pilewskie, P.; Snow, M.; Lindholm, D. A Solar Irradiance Climate Data Record. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **2016**, *97*, 1265–1282. [CrossRef]
25. Blanc, P.; Espinar, B.; Geuder, N.; Gueymard, C.; Meyer, R.; Pitz-Paal, R.; Reinhardt, B.; Renné, D.; Sengupta, M.; Wald, L. Direct Normal Irradiance Related Definitions and Applications: The Circumsolar Issue. *Sol. Energy* **2014**, *110*, 561–577. [CrossRef]
26. Chu, Y.; Pedro, H.T.C.; Coimbra, C.F.M. Hybrid Intra-Hour DNI Forecasts with Sky Image Processing Enhanced by Stochastic Learning. *Sol. Energy* **2013**, *98*, 592–603. [CrossRef]
27. Florita, A.; Hodge, B.-M.; Orwig, K. Identifying Wind and Solar Ramping Events. In Proceedings of the 2013 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech), Denver, Colorado, 4–5 April 2013; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2013; pp. 147–152.
28. Chu, Y.; Urquhart, B.; Gohari, S.M.I.; Pedro, H.T.C.; Kleissl, J.; Coimbra, C.F.M. Short-Term Reforecasting of Power Output from a 48 MWe Solar PV Plant. *Sol. Energy* **2015**, *112*, 68–77. [CrossRef]
29. Marquez, R.; Coimbra, C.F.M. Intra-Hour DNI Forecasting Based on Cloud Tracking Image Analysis. *Sol. Energy* **2013**, *91*, 327–336. [CrossRef]
30. Du, P. Ensemble Machine Learning-Based Wind Forecasting to Combine NWP Output With Data From Weather Station. *IEEE Trans Sustain. Energy* **2019**, *10*, 2133–2141. [CrossRef]
31. Jo, J.-M. Effectiveness of Normalization Pre-Processing of Big Data to the Machine Learning Performance. *J. Korea Inst. Electron. Commun. Sci.* **2019**, *14*, 547–552.
32. Inman, R.H.; Pedro, H.T.C.; Coimbra, C.F.M. Solar Forecasting Methods for Renewable Energy Integration. *Prog. Energy Combust. Sci.* **2013**, *39*, 535–576. [CrossRef]
33. Pedro, H.T.C.; Coimbra, C.F.M.; Lauret, P. Adaptive Image Features for Intra-Hour Solar Forecasts. *J. Renew. Sustain. Energy* **2019**, *11*, 036101. [CrossRef]
34. Rethage, D.; Pons, J.; Serra, X. A Wavenet for Speech Denoising. In Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Calgary, AB, Canada, 15–20 April 2018; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2018; pp. 5069–5073.
35. Sze, V.; Chen, Y.-H.; Yang, T.-J.; Emer, J.S. Efficient Processing of Deep Neural Networks: A Tutorial and Survey. *Proc. IEEE* **2017**, *105*, 2295–2329. [CrossRef]
36. Peng, H.; Long, F.; Ding, C. Feature Selection Based on Mutual Information Criteria of Max-Dependency, Max-Relevance, and Min-Redundancy. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* **2005**, *27*, 1226–1238. [CrossRef] [PubMed]
37. Yager, R.R.; Filev, D.P. Induced Ordered Weighted Averaging Operators. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part B (Cybernetics)* **1999**, *29*, 141–150. [CrossRef]
38. Mazzola, S.; Astolfi, M.; Macchi, E. A Detailed Model for the Optimal Management of a Multigood Microgrid. *Appl. Energy* **2015**, *154*, 862–873. [CrossRef]
39. Kanchev, H.; Lu, D.; Colas, F.; Lazarov, V.; Francois, B. Energy Management and Operational Planning of a Microgrid with a PV-Based Active Generator for Smart Grid Applications. *IEEE Trans. Ind. Electron.* **2011**, *58*, 4583–4592. [CrossRef]
40. The website belongs to Ministry of New and Renewable Energy (MNRE), Government of India. Available online: https://mnre.gov.in/ (accessed on 8 March 2023).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

41. Climate Research & Services. Data Supply Portal, Version 4.0. Available online: https://Dsp.Imdpune.Gov.In/ (accessed on 1 March 2019).
42. Swaminathan, D.; Rajagopalan, A. Multi-Objective Golden Flower Optimization Algorithm for Sustainable Reconfiguration of Power Distribution Network with Decentralized Generation. *Axioms* **2023**, *12*, 70. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sustainability

MDPI

Article

An Incentives Planning Framework for Residential Energy Retrofits: A Life Cycle Thinking-Based Analysis under Uncertainty

Tharindu Prabatha, Kasun Hewage * and Rehan Sadiq

School of Engineering, University of British Columbia (Okanagan Campus), 1137 Alumni Avenue, Kelowna, BC V1V 1V7, Canada
* Correspondence: kasun.hewage@ubc.ca; Tel.: +1-250-807-8176; Fax: +1-250-807-9850

Abstract: Building energy retrofits can reduce emissions and increase cost savings. Some retrofits that can deliver higher emissions savings are not popular due to a lack of economic justifications. Financial incentives can be used to change buyer perception around such retrofits. This study proposes a framework to identify the best-performing retrofit strategies for a given building cluster and the optimal incentive amounts to promote the chosen strategies, accounting for uncertainties, stakeholder priorities, and budget constraints. The proposed framework was demonstrated using a case study complemented with policy insights. Life cycle cost savings and capital cost significantly impact retrofit purchase decisions. Case study results showed that retrofitting houses heated with electricity can produce significant cost savings. However, adopting energy-conscious behaviours in houses heated with natural gas and injecting renewable natural gas into the gas supply can produce two times more emissions savings achieved by any retrofit strategy applied to an electrically heated house. This indicates the need for adopting performance-based incentives over the prescriptive approach to reward occupant efforts in addition to asset performance. Despite potential life cycle cost savings, incentives must be complemented with low-interest loans to promote retrofit strategies carrying higher capital costs.

Keywords: building energy retrofits; financial incentives; life cycle assessment; fuzzy uncertainty; energy policy

check for updates

Citation: Prabatha, T.; Hewage, K.; Sadiq, R. An Incentives Planning Framework for Residential Energy Retrofits: A Life Cycle Thinking-Based Analysis under Uncertainty. *Sustainability* **2023**, *15*, 5479. https://doi.org/10.3390/su15065479

Academic Editor: Paulo Santos

Received: 28 January 2023
Revised: 16 March 2023
Accepted: 16 March 2023
Published: 20 March 2023

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Climate change is not identified as a future crisis anymore. Leading scientific bodies such as NASA acknowledge that climate change's impacts are already affecting the world [1]. The inter-governmental panel on climate change (IPCC) indicates that the associated environmental impacts would be beyond repair if the global temperature increases 1.5 °C over pre-industrial temperatures [2]. IPCC advocates curbing anthropogenic greenhouse gas (GHG) emissions to avoid the predicted climate adversities and identifies the building sector as a key area that can support this as it accounts for 12% of anthropogenic GHGs and 40% of the energy use in the world [2–4].

In response to these rising challenges, climate leaders such as British Columbia (BC), Canada developed innovative policy tools such as BC Energy Step Code to reduce the environmental impacts of new constructions [2]. However, improving the performance of existing buildings constructed to less stringent energy efficiency standards remains a challenge [3].

Retrofits are commonly used to improve the energy performance of existing buildings. Energy retrofits lead to economic, environmental, and indoor environmental quality (IEQ) performance enhancements [4]. Occupants can benefit from operational cost savings and improved IEQ [5]. In addition, building owners can benefit from the property value increases. In the bigger picture, retrofitting projects can support national climate change

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mitigation initiatives and local economies through emissions savings and job creation [6]. However, financial pressures such as high life cycle costs (LCC) and capital costs (CC) and lack of economic justifications can reduce the community acceptance of retrofits [7,8]. Therefore, building owners have to be not only guided and educated but also need to be provided with an economic rationale to adopt these interventions.

Carbon taxing and emissions capping are used to minimize the use of energy generated using higher emissions sources [9]. However, regionally implemented penalties such as provincial carbon taxes can pose challenges to local industries competing in the global market due to increased production costs [10]. Moreover, energy affordability issues resulting from penalties can create social predicaments that could result in a backlash against government-led clean energy promotion and climate change mitigation initiatives [11,12]. Therefore, bringing forward the penalties as the first step can hinder the success of energy retrofit promotion campaigns. Moreover, emissions penalties and caps fail to promote energy conservation opportunities associated with cleaner energy sources. Therefore, promoting performance improvements with financial incentives is more appropriate to drive industries and the public towards energy-efficient technologies and cleaner energy sources in the initial stages [13,14]. When the community is ready for more clean energy uptake and equipped with energy efficiency practices, penalties can be slowly introduced in an incremental approach. Considering the importance of incentives/rebates in promoting building energy retrofits (BER), this article focuses on financial incentives planning for energy retrofits.

A Compendex database search in January 2022, using "residential", "building", "energy", "retrofit", and "incentive" as keywords yielded seventy-three research articles. Diakaki et al. developed a retrofit selection algorithm considering annual energy use, annual emissions, and capital cost employing a multi-objective solution methodology [15]. Bonomolo et al. proposed an approach to identify the cost-optimal lighting retrofits accounting for daylighting opportunities [16]. Zang et al. proposed a Pareto optimization approach for residential retrofit selection [17]. Ruparathna et al. developed an economic evaluation approach for retrofit evaluation [18]. All the reviewed literature contributed to improving retrofit selection processes. However, the current approaches did not address either one or a few of the following aspects of community retrofit planning: life cycle costing and emissions, addressing the uncertainties, contradicting decision priorities, and promotion of retrofits through financial incentives.

Findings from the literature review motivated the authors to investigate the need for a comprehensive strategy to identify the best retrofit strategies and optimal incentive levels to promote the best-performing retrofit packages/strategies under uncertain conditions. In addition to the literature review, the authors communicated with experts from local municipalities, construction companies, building management agencies, utility providers, and Natural Resources Canada to establish the need for an energy retrofits and incentives planning mechanism. All stakeholder groups echoed the need for a decision support tool enabling standardized incentives and energy retrofits planning strategy to achieve the climate action goals of the existing buildings sector. Identified research gaps related to building energy retrofits and incentives planning are summarized below:

(1) No comprehensive models have been developed for quantitatively determining incentive amounts for building energy retrofits, and the multi-stakeholder nature of the problem is overlooked [13,19,20].
(2) Life cycle emissions (LCE) are overlooked in retrofits and financial incentives planning. Embodied emissions are often neglected due to the singular focus on operational emissions [21].
(3) Uncertainties related to building retrofits and the external environment have been largely neglected in past studies in retrofit strategy and incentives planning [13,22]. Moreover, the sensitivity of the residential energy retrofit project outcomes to the operational conditions and macroeconomic parameters has not been sufficiently investigated.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

This study addresses the research gaps discussed above regarding its academic merit by proposing an incentive/rebate planning strategy for BERs to maximize environmental and economic benefits under uncertainty while accounting for budgetary constraints and stakeholder priorities. More importantly, it provides a much-needed quantitative decision-making model that can be used by different levels of government and non-governmental organizations to identify the optimal incentive levels with the limited budget in hand. Moreover, the proposed retrofit selection framework can be used by individual building owners/contractors to determine the best retrofit strategies under uncertainty for their buildings.

The proposed approach was demonstrated using a Canadian case study. The sensitivity of different retrofit strategies to uncertainties in energy supply and building operational conditions, macroeconomic parameters, and alternate decision priority scenarios was evaluated based on the case study results. However, the proposed approach can be used worldwide by altering the inputs. Inputs to the model include the energy-saving potential of different retrofit strategies (generated from the energy simulation software), energy cost and emission factors, retrofit-related cost factors (e.g., capital and maintenance costs), decision priorities, and constraints. These inputs can be selected according to the local conditions and the proposed retrofits selection and incentives planning algorithm can be applied irrespective of the location or building type.

1.1. Promoting Building Energy Retrofits

Opportunities and challenges associated with BERs can be better understood using the eco-efficiency classification presented in Table 1.

Table 1. Eco-efficiency classification [13].

	LCE Savings	LCC Savings
Priority retrofits (PR)	Yes	Yes
Secondary retrofits (SR)	Yes	No
Tertiary retrofits (TR)	No	Yes/No

Retrofits that require energy source switching from a low-emission source to a high-emission source and retrofits that create higher embodied emissions than operational emissions savings fall under tertiary retrofits. Nevertheless, some TRs can produce LCC savings.

PRs simultaneously produce emissions and cost savings [13]. If the payback periods are sensible, building owners can be easily convinced to implement PRs, making them effective options for government emission reduction initiatives. High capital costs can be a barrier for PRs, preventing building owners from adopting them [23]. In such situations, a loan scheme can be introduced to assist the building owners in implementing such retrofits [17,24]. However, stakeholders are generally reluctant to adopt loan schemes due to the high administrative workload and pre- and post-performance uncertainties [25]. Administrative issues can be mitigated by involving energy performance contracts and energy services companies (ESCO).

Emissions reduction potential alone will not likely motivate building owners to adopt retrofits. Therefore, a business case needs to be created by financially incentivizing energy-efficient technologies and/or penalizing the cheaper alternatives that depend on emissions-intensive energy sources to make a business case for SRs [9,26].

1.2. Incentivizing Energy Retrofits

Incentivizing energy retrofits can be done following either a prescriptive or a performance-based approach, and each approach has unique positives and negatives [12]. In the prescriptive approach, the implementation of a prescribed retrofit is incentivized [27]. In practice, the incentive provider checks a predefined document, such as the bill of sale, and provides the incentive based on that. Prescriptive incentives are easier to implement compared to performance-based incentives [28]. From the receivers' perspective, this

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

boosts confidence in retrofit investments, as they are certain about the incentive to be expected once the retrofit is installed. This is easy to implement from the incentive issuers' perspective as less administrative work is involved. Importantly, the actual energy and emissions performance of a retrofit's post-installation phase highly depends on locational parameters, including weather and energy prices [13]. Moreover, it can significantly change with behavioural practices such as setting the heating and cooling temperatures and occupancy schedule. Therefore, if the prescriptive approach is followed, the outcomes must be evaluated based on local conditions because provincial or national-level generalizations may promote unsuitable energy retrofits for a given municipality or region. On the other hand, the prescriptive approach does not have the leverage to motivate building occupants to adopt energy-conscious behaviour during the post-retrofit period, as the incentives are issued upfront. This challenge can be addressed to a certain level with awareness programs.

In the performance-based approach, incentives are offered for achieving a certain goal concerning energy use/intensities or emissions savings/intensities based on a predefined performance benchmark. In this approach, the building owners are given the flexibility to reach the goal by applying any retrofit combination rather than being limited to predefined options. This flexibility for innovative decision-making is the strength of the performance-based approach. Moreover, it pays attention to the behavioural component of building energy performance. In contrast to the prescriptive approach, the owners are compelled to adopt energy-conscious behaviour to reach better performance levels to secure higher incentive amounts [29]. However, assessing the pre- and post-retrofit performance of an existing building and predicting the future outcomes of design decisions can be quite challenging when issuing this type of incentive [30].

1.2.1. Performance Assessment

There are two main methods commonly used for building energy performance assessments. The first approach uses energy bills for performance evaluations [19]. When employing this approach, it should be noted that energy demand can significantly vary with other factors such as weather, occupancy schedule, and occupant behaviour, which are independent of the energy efficiency of the building. This method needs at least one-year worth of pre- and post-retrofit energy records to evaluate the performance of the building/buildings under evaluation. Collecting energy records and accommodating missing utility bills can be quite challenging [31]. Alternatively, energy simulations can be used to evaluate the operational performance of retrofits [13]. The simulation assumptions can significantly affect the accuracy of the predicted retrofit performance, leading to many uncertainties [32]. ASHRAE energy simulation guidelines for existing buildings or local standards can be followed to minimize the errors created by assumptions [33,34].

1.2.2. Incentives Planning

Compared to the challenges associated with the penalties, rebates and subsidies are deemed better suited to retrofit incentivization initially [35]. Therefore, this study investigates incentive planning considering rebates and subsidies. However, incentive programs need viable financial models to keep the money flowing for continued operations and future sustainability. Therefore, penalties can also be introduced in the following phases to ensure the longevity of incentive programs.

Incentivizing energy retrofits aims to reduce the emissions associated with buildings. However, local governments and private sector organizations such as utility companies have only a limited budget for incentive programs. Therefore, identifying the best split of available funding among different retrofit options needing incentives is essential to maximize the emissions savings within the allocated budget from the incentive providers' perspective. Parallelly, building owners and contractors need to be provided with tools to determine the most suitable retrofit options for their situations to meet the required performance targets and maximize incentive benefits.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

In both situations discussed, selecting the best retrofit strategies and retrofits that need to be incentivized is challenging due to associated uncertainties and the exhaustive number of potential retrofit strategies that can be developed by combining alternative retrofit options [13]. Individual performance of retrofits can vary with the other retrofits combined with them. Moreover, the condition of the building and components needing replacement and the available budget greatly influence the building owner's decision-making. Therefore, the incentive providers cannot prescribe a single retrofitting strategy for a house. Ideally, incentive amounts proposed for individual incentives should be able to promote the top-ranked retrofit strategies (combinations) applicable for a given building or building cluster.

2. Materials and Methods

This study proposes a framework for selecting retrofit strategies and financial incentives to promote environmentally friendly BERs under uncertain conditions. Therefore, this study did not analyze tertiary retrofits (which deliver no environmental benefits). Figure 1 summarizes the proposed framework and methodology.

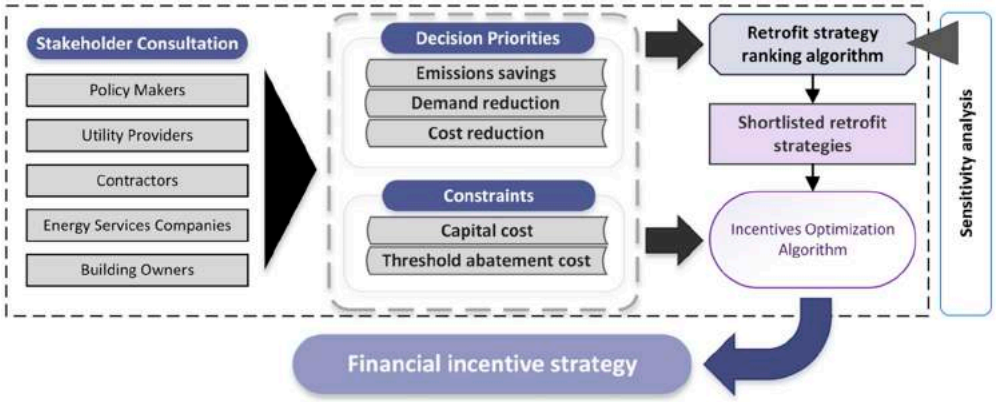


Figure 1. Retrofits selection and incentives optimization framework.

Decision priorities and constraints act as inputs to the retrofit selection and incentives optimization process. Stakeholder consultation sessions are recommended to identify the decision priorities and constraints associated with the incentives planning exercise for any community planning to employ this framework.

The next step of the proposed framework is to conduct a sensitivity analysis to identify the critical parameters that influence the performance of BERs. Results from the sensitivity analysis help model the uncertainties associated with the BER performance employing fuzzy numbers. The fuzzy-based BER performance information, decision priorities, and constraints feed into a fuzzy-multi-criteria options ranking algorithm to identify the best retrofit strategies that meet the decision priorities and constraints. This algorithm outputs the best retrofit strategies (combination of retrofits) for the given community.

The selected retrofit strategies move forward to the proposed incentive optimization algorithm. This algorithm determines the optimal financial incentive amounts needed to promote the chosen strategies. Both retrofit selection and incentives planning algorithms can be flexibly used at the individual building or community level by changing the inputs and constraints.

The proposed framework was demonstrated using a case study. Two representative buildings were selected as the base buildings for the case study. Commonly used BERs were identified based on published literature and other resources such as manufacturer data. The energy-saving potential of BERs was evaluated with HOT2000 energy simulation software (future users can choose the energy simulation tools applicable to their jurisdiction or application). All possible combinations of the retrofits with life cycle emissions reduction potential were considered in the evaluation. The evaluation results produced the best

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

retrofit strategies and optimal incentive amounts to promote the selected strategies in the case study location.

2.1. Sensitivity Analysis

BER performance predictions are sensitive to input parameters and assumptions. Therefore, a sensitivity analysis was conducted to understand the variations in the energy model outputs with the input parameters, including operational conditions and energy supply-related factors.

2.1.1. Sensitivity of Energy Demand to Operational Conditions and User Behaviour

Percentage energy demand change (PEDC) was against a percentage or an absolute change in input parameters, including the number of occupants, time at home, hot water demand and temperature, and space cooling and heating setpoints. The sensitivity analysis was conducted using the weather conditions in Kelowna, Canada. The sensitivity of energy demand to different input parameters can be more or less pronounced in harsher or milder climates compared to Kelowna. The results of the sensitivity analysis are presented in Section 4.1.1.

2.1.2. Sensitivity of Operational Cost and Emissions to Energy Price and Emission Factors

Depending on the grid energy mix, electricity can be cleaner than natural gas, but natural gas is generally cheaper in Canada. Energy cost and emission factors can be decisive parameters for source-switching decisions related to building heating and hot water systems. Therefore, operational cost and emissions were plotted against the energy sources' unit energy price and emission factor variations, respectively, to understand the potential impacts. Two energy price and emission scenarios were considered for this. Scenario 1 assumes that the electricity price and emission factor stay constant while the natural gas (NG) price and emission factor vary. Scenario 2 assumes that NG's price and emission factor remains constant while the price and emission factor of the electricity supply vary.

The operational emissions were calculated using Equation (1)

$$OE = \sum Demand_j \times EF_j \quad (1)$$

where

OE—Operational emissions ($kgCO_{2e}$)
$Demand_j$—Demand for j^{th} energy source (kWh)
EF_j—Emissions factor of jth energy source ($kgCO_{2,eq}/kWh$)

Similarly, the operational cost was calculated using Equation (2)

$$OC = \sum Demand_j \times UEP_j \quad (2)$$

where

OC—Operational cost ($)
UEP_j—Unit energy price of jth energy source ($/kWh)

Detailed results of this analysis are presented in Section 4.1.2.

2.2. Retrofit Performance Evaluation

The goal of the retrofit performance evaluation was to identify the best retrofit strategies to maximize the environmental and economic benefits. LCC and LCE were employed as economic and environmental performance indicators [13]. Retrofit performance can significantly vary with the uncertainties introduced by occupant behaviour, building operational conditions, energy price, and emissions factors [36–38]. Previous studies discussed the pros and cons of using fuzzy-based and probabilistic methods to address uncertainties [39]. However, most uncertain parameters in building-related decision-making do not

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

have sufficient data to develop probability distributions [19,39]. Moreover, fuzzy numbers can handle qualitative and quantitative inputs [40,41]. Using fuzzy numbers allows the proposed framework to be extended to include qualitative parameters such as user satisfaction, occupant health, and thermal comfort in future research. Considering the discussed advantages, the framework was developed using fuzzy-based methods, and fuzzy sets were used to model uncertainties in the model parameters [19,39].

Previous studies have evaluated the performance of the retrofits considering individual retrofits [13]. However, the performance of individual retrofits can change significantly due to performance interactions when combined with other retrofits. Therefore, all possible combinations of the retrofits that can produce emission savings (priority and secondary retrofits) were considered when evaluating the retrofit performance. The performance values of individual retrofits under these variable conditions and retrofit combinations were brought forward to the incentive optimization algorithm. The detailed retrofit evaluation process is discussed below.

2.2.1. Energy Performance

HOT2000 is currently used for energy simulations of small residential buildings in BC Energy STEP Code and EnerGuide [8,29]. HOT2000 (Version 11.3) was used in this study as it is the recommended software for Canadian residential energy studies. Natural Resources Canada (NRCan) developed the Housing Technology Assessment Platform (HTAP) to support energy analysts in handling large numbers of energy simulations [42]. Using the strength of HTAP and HOT2000, all possible combinations of the considered retrofit options were simulated. The simulation results were used to calculate the operational cost and emissions savings potential of retrofits in the subsequent steps.

Fuzzy numbers were used to represent the energy performance of the base buildings and the retrofit upgrades. The key parameters to which the energy use was sensitive were used to characterize the aforementioned fuzzy number. Energy simulations were conducted considering three operational conditions to define the Lower and Upper Bounds and the Likely Values of the said fuzzy numbers. The Likely Value was determined considering the nominal operational conditions from the study by Prabatha et al. [13]. The Lower and Upper Bounds were defined by varying the nominal operating conditions. Operational energy savings under each fuzzy value (i.e., Lower Bound, Likely Value, Upper Bound) were calculated using Equation (3).

$$OES_{i,j,k} = PreDemand_{j,k} - PostDemand_{i,j,k}; k \in [\text{Lower}, \text{Likely}, \text{Upper}] \quad (3)$$

where

$OES_{i,j,k}$—Operational energy savings of jth energy source by i^{th} retrofit scenario

$PreDemand_{j,k}$—Pre-retrofit energy demand for j^{th} energy source

$PostDemand_{i,j,k}$—Post-retrofit energy demand for j^{th} energy source by the ith retrofit combination

The fuzzy form of the operational energy savings is given below.

$$\underline{OES}_{i,j} = [OES_{i,j,Lower}, OES_{i,j,Likely}, OES_{i,j,Upper}] \quad (4)$$

This fuzzy number was combined with the emission factors and energy prices to evaluate the operational performance of the retrofit strategies.

2.2.2. Environmental Performance

Global warming potential is commonly used to indicate environmental impact in climate change mitigation activities [22,43]. Life cycle emissions have been previously used as an indicator of global warming potential and environmental performance [13,44,45]. Therefore, life cycle emissions ($kgCO_{2e}$) were selected as the environmental performance indicator. Three main components, including embodied, operational, and disposal emis-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sions, were considered in calculating the life cycle emissions of retrofits [13]. Embodied emission data from literature was adopted for this study [13]. Equation (5) was used to calculate the life cycle emission savings associated with each retrofit scenario.

$$\underline{LCES_i} = -\sum_{\delta=1}^{N} EE_{i,\delta} + \sum_{j=1}^{2} \underline{OES_{i,j}} \times \underline{EF_j} - \sum_{j}^{N} DE_{i,\delta} \quad (5)$$

where

$\underline{LCES_i}$—LCE savings resulted from ith retrofit scenario; (in fuzzy form)
N—Number of retrofits implemented in the ith retrofit scenario
$EE_{i,\delta}$—Added embodied emissions by the δth retrofit in the ith retrofit scenario
$\underline{OES_{i,j}}$—Operational energy savings of the ith retrofit scenario related to jth fuel (NG, E); (in fuzzy form)
$\underline{EF_j}$—Emission factor of the jth fuel (NG, E); (in fuzzy form)
$DE_{i,\delta}$—Disposal emissions of the δth retrofit in the ith retrofit scenario

2.2.3. Economic Performance

Life cycle cost (LCC) was used to evaluate the economic performance of different retrofit combinations accounting for capital, operational, and disposal costs [46]. The cost of equipment and installation was accounted for under the capital cost. RSMeans Building Construction Cost Database and Online vendor prices were employed in the costing. Equations (6)–(11) were adopted from Prabatha et al. for LCC calculations [13].

$$IC_{envelop,i} = \sum_{\forall\theta} IC(p,\theta) \times A_\theta; \theta \in [Walls, Roof, Windows, Doors, Foundation] \quad (6)$$

where

$IC_{envelop,i}$—Initial cost of the envelope of the ith strategy
A_θ—Area of the envelope component
$IC(p,\theta)$—Initial cost to implement pth modification option under the θth envelope component

$$IC_{EnergySystem,i} = \sum_{\forall q} ICE_q \quad (7)$$

where

$IC_{EnergySystem,i}$—Initial cost of ith system retrofit strategy
ICE_q—Initial cost of qth energy system retrofit component

$$CC_i = IC_{envelop,i} + IC_{EnergySystem,i} \quad (8)$$

where

CC_i—Total capital cost of ith retrofit strategy

$$OCS_i = \sum_{\forall j} OES_{i,j} \times C_j \quad (9)$$

where

OCS_i—Annual operational cost savings achieved by ith retrofitting strategy
C_j—Average unit cost of jth energy source

$$DC_i = (C_{LF} + F \times T \times C_T) \sum_{\forall\delta} W_\delta \quad (10)$$

where

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DC_i—Disposal cost associated with ith retrofit strategy
W_δ—Amount of disposal waste (kg) produced by δ^{th} retrofit option removed
C_{LF}—Landfill cost per kg of waste
F—Number of trips to the landfill
T—The double distance between the landfill and the building (km)
C_T—The cost of transportation per kg of waste per km

$$\underline{LCCS_i} = -CC_i + \left(\frac{(1+r)^t - 1}{r(1+r)^t}\right).\underline{OCS_i} - DC_i \quad (11)$$

where

$\underline{LCCS_i}$—LCC savings resulted from ith retrofit scenario; (in the fuzzy form)
r—Discount rate
t—Project period

2.3. Performance-Based Retrofits Planning

LCCS and LCES were considered the key performance indicators (KPI) of retrofit performance, and they were calculated as fuzzy numbers to account for uncertainties. The relative importance of the LCCS and LCES can change depending on the priorities of the stakeholders. Policymakers and building owners are more interested in the LCES and LCCs, respectively. Importantly, a retrofit project is unlikely to proceed if the building owners' expectations are unmet. Therefore, it is essential to establish the relative importance of the KPIs based on a stakeholder survey in practical implementation. The relative importance of LCCS (W_1) and LCES (W_2) was changed from 0–100% to explore the impact of decision priorities on the outcomes (ensuring that the sum of the two weights is always 100%). The overall performance score of each retrofit combination was calculated as shown in Equation (12).

$$\underline{F_i} = W_1 \times \underline{LCCS_i} + W_2 \times \underline{LCES_i} \quad (12)$$

where

$\underline{F_i}$—Overall performance score of the ith retrofit scenario

$\underline{F_i}$ was calculated as a fuzzy number for all the retrofit strategies from 1 to n.

$$\underline{F_i} = \{x | f_{F_i}(x) > 0\}; i = 1, 2, \ldots, n \quad (13)$$

Maximizing and minimizing set method has been used for fuzzy number ranking in several previous studies [47,48]. This technique identifies the option closest to the best performance level and the furthest from the worst performance level as the best option. Based on this criterion, it ranks the retrofit strategies. This method is close to the fuzzy TOPSIS method, which is considered a reasonable approximation of the human decision-making process [43]. The normalizing method employed makes it possible to compare a large number of alternative solutions against each other. It also adapts the TOPSIS concept in a generalizable manner to a fuzzy environment, reducing the loss of fuzzy information [49]. Maximizing set (A) and minimizing set (B) are defined as shown in Equations (14) and (15), respectively. The membership of x to A and B is represented by $f_A(x)$ and $f_B(x)$, respectively [48].

$$A = \{(x, f_A(x)) | x \in R\} \quad (14)$$

where

$$f_A(x) = \begin{cases} \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} & , \quad x_{min} \le x \le x_{max} \\ 0 & , \quad otherwise \end{cases} \quad (15)$$

$$B = \{(x, f_B(x)) | x \in R\}$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

where

$$f_B(x) = \begin{cases} \frac{x - x_{max}}{x_{min} - x_{max}} & , \quad x_{min} \le x \le x_{max} \\ 0 & , \quad otherwise \end{cases}$$

Parameters used in $f_A(x)$ and $f_B(x)$ calculations are defined below.

$$x_{min} = \inf(S); \;\; x_{max} = \sup(S); \;\; S = \bigcup_{i=1}^{n} F_i$$

The right, left, and total utility values for each retrofit scenario were calculated as seen in Equations (16)–(18), respectively.

$$U_A(F_i) = \sup\left(f_{F_i}(x) \bigcap f_A(x)\right), i = 1, 2, \ldots, n \tag{16}$$

$$U_B(F_i) = \sup\left(f_{F_i}(x) \bigcap f_B(x)\right), i = 1, 2, \ldots, n \tag{17}$$

$$U_T(F_i) = \frac{U_A(F_i) + 1 - U_B(F_i)}{2} \tag{18}$$

The retrofit combination that produces the highest $U_T(F_i)$ is considered the best-performing retrofit strategy. Building owners and policymakers can use this method to identify the best retrofit strategies for a given building or a building cluster. If the requirement is to determine the best retrofit strategy for a given building, the effectiveness of alternative retrofit options will be modelled and ranked following the approach discussed above.

If the requirement is to identify the best retrofit strategies to be promoted in a community, a set of representative buildings will be selected. Then, the best retrofit strategies for those buildings will be identified using the proposed approach. Top-ranked retrofit strategies will indicate the best retrofit options and the building archetypes, providing the best opportunities to realize cost and emissions savings for the community.

2.4. Incentives Optimization

If incentives were assigned considering only the best retrofit strategy, some retrofit strategies having closer performance would be overlooked. Moreover, it is unlikely for all renovation projects across the community to choose the same retrofit strategy. Therefore, instead of incentivizing only one strategy, a set of top-performing retrofit strategies selected using the retrofits selection framework was considered for incentives planning. However, incentivizing retrofit strategies (combination of retrofits) is not practical as that increases the administrative burden on the incentive issuers and reduces the design flexibility for the incentive receivers (homeowners).

It was decided to incentivize individual retrofit options based on their appearance in top selected retrofit strategies to address the aforementioned challenges. The goal of the proposed incentive optimization approach was set as "to identify the best incentive levels that need to be assigned to individual retrofits to promote the top-ranked retrofit strategies".

As explained by Equations (12) through (18), the top-ranked retrofit strategies achieve the highest performance scores ($U_T(F_i)$). The total utility of all retrofit strategies was compiled in a row matrix U ($1 \times n$), where "n" is the number of strategies selected as suitable for incentivizing in the retrofit selection process discussed in Section 2.3.

Some retrofit strategies may not contain certain retrofits. The availability of individual retrofits in each retrofit strategy was represented in an availability matrix (A). A is a ($m \times n$) matrix where "m" is the total number of retrofit options available to choose from. The elements of the availability matrix were defined as shown in Equation (19).

$$A_{i,\delta} = \begin{cases} 1; \; if \; retrofit \; "\delta" \; is \; available \; in \; scenario \; "i" \\ 0; \; if \; retrofit \; "\delta" \; is \; not \; available \; in \; scenario \; "i" \end{cases} \tag{19}$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

If the retrofits were evaluated just based on the number of occurrences in the chosen retrofit strategy set, then a retrofit that appeared in a few top-ranked retrofit strategies would be incentivized similar to a retrofit that just made a similar number of appearances but in lower-ranked retrofit strategies. Therefore, to avoid the aforementioned issue, a performance index matrix P (m × n) was defined by elementwise multiplication of U and A, as shown in Equation (20).

$$P_{i,\delta} = A_{i,\delta}.U_i \tag{20}$$

The incentive amount assigned to individual retrofit options is the optimization variable and was represented by a (m × 1) matrix indicated by "IN" ($IN \, \epsilon \, R$). The objective function was defined as shown in $\epsilon \, R$ Equation (21).

$$Z = sum\left\{P^T.IN\right\} \tag{21}$$

Optimization problem:

The optimization problem was a maximizing problem with two constraints, as presented below. The incentive amounts that can maximize Z were selected as the optimal solution.

$$Z^* = \max\{Z\}$$

Bound to the following constraints:

i. The incentive amount shall not exceed the capital cost of the retrofit $IN_i \leq CC_i$
ii. Total incentives should not exceed the maximum budget allocation for incentivizing retrofits of the given building archetype

$$sum\{IN\} \leq IncentiveBudget$$

The optimization problem was modelled using the MATLAB linprog solver.

3. Case Study

Kelowna, Canada (Climate zone 5, heating degree days: 3000–3999) was selected as the case study location for demonstration purposes. NG and electricity are Canada's most common fuel types for space and water heating. Therefore, the two base buildings proposed by Prabatha et al. [13] were employed in this study to represent the different heating energy sources in Canadian single-family detached houses. BB-1 and BB-2 represent houses in which the space and water heating energy demand are catered by electricity and NG, respectively. In addition to the energy supply sources, all other characteristics of BB-1 and BB-2 are similar. Characteristics of the base buildings are summarized in Appendix A.

The retrofit performance and sensitivity analysis were done with reference BB-1 and BB-2. Even though these two representative buildings in Kelowna, BC were selected for demonstration purposes, the proposed framework can handle any number of building archetypes deemed necessary by the decision makers to sufficiently represent a given building cluster or community in any location (i.e., the application of the proposed framework is not limited to Kelowna or the two building archetypes involved or residential building sector). For demonstration purposes, total incentives offered for any retrofit strategy (hence, for a given building) were capped at CAD 10,000. The decision makers can adjust this constraint as applicable to their communities, depending on the budget availability.

Capital cost and embodied emission data of the retrofits are summarized in Appendix B. Space and water heating systems that required source switching from electricity to NG did not show any emissions-saving potential under any of the future scenarios considered. Therefore, those options were omitted from the BB-1 retrofits options list. However, both NG and electric space and hot-water heating upgrades were considered for BB-2. The current energy costs and operational emissions were used as the baseline for the comparison. A summary of the current energy source details of BC is presented in Table 2.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 2. Emission factors and price for energy sources [13].

Source	Emission Factor	Energy Price
Electricity	0.0129 $kgCO_2$/kWh	11.62 cents/kWh
Natural Gas	49.58 kg/GJ 0.1784 kg/kWh	7.36 $/GJ 2.65 cents/kWh

The annual energy use of the base buildings is summarized in Table 3.

Table 3. Annual energy use of the base buildings [13].

Building	Electricity	Natural Gas
BB-1	56,767 kWh	-
BB-2	5804 kWh	6015 m^3, 236 GJ, 65,556 kWh

3.1. Operational Uncertainties

The energy use of a building can significantly vary with occupants' practices and operational conditions. Therefore, uncertainties introduced by these factors were modelled, as shown in Table 4.

Table 4. Operational Uncertainties.

Parameter	Lower Bound of the Fuzzy Number	Average User (Likely Value of the Fuzzy Number)	Upper Bound of the Fuzzy Number
Number of adults	avg + 1	Three adults [13]	avg-1
Percentage time inside the house	60%	50% [13]	40%
Appliance, lighting, and other loads	90% of avg.	Base load information is summarized in Appendix C. [13]	110% of avg.
Domestic hot water consumption and temperature	197*l*, 53 °C	247*l*, 55 °C [13]	297*l*, 57 °C
Daytime heating temperature	20 °C	21 °C [13]	22 °C
Nighttime heating temperature	17 °C	18 °C [13]	19 °C
Setback duration	9 h	8 h [13]	7 h

3.2. Environmental Uncertainties

As seen in Equation (5), operational emissions are directly correlated to the emission factors of the energy sources. Therefore, the retrofit evaluation process considered potential variations of the NG and electricity emission factors. BC natural gas providers plan to make the domestic NG supply greener by injecting renewable NG (RNG) into the gas network. RNG has a smaller emission factor (0.2932 $kgCO_{2e}$/GJ) as opposed to the much higher emission factor of conventional NG (49.87 $kgCO_{2e}$/GJ). A major NG provider in BC predicts that RNG could cater to approximately 25–46% percent of the NG demand by 2036 with the technology developments in the biogas sector [10]. Two scenarios were considered assuming a gradual growth of RNG inclusion in the gas network to reach 25% and 46% by 2036. The same predicted NG inclusion growth rate was also assumed to continue from 2036 to 2040.

The average emission factor for the project period was represented using a fuzzy number accounting for alternative energy supply realities aligning with the predictions, as shown in Table 5. The Upper Bound of the emission factors was defined considering that the electricity emissions factor will stay the same while the NG emissions factor reduces due to RNG inclusion in the supply. Under the current conditions, renewable energy sources account for approximately 92% of the BC electricity grid's installed capacity [50]. As of

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2020, the installed generation capacity of the province is 18,286 MW [51]. According to the literature, the installed capacity is expected to increase at an approximate annual growth of 1% until 2040 [52]. In the Upper Bound (from Table 5), a 500% increment of the electricity emission factor was used to represent a future where the approximate demand growth (20% from current demand) in the next two decades is supplied by NG-based electricity generation stations. Likely Value presents a reality where NG-based generators supply 50% of the excess demand.

Table 5. Fuzzy conditions used to represent emission factors.

	Electricity Emission Factor	NG Emission Factor
Lower Bound	Stays at the present value	Reduces by 28.5% from the present value
Likely Value	Increases by 250% from the present value	Reduces by 15.5% from the present value
Upper Bound	Increases by 500% from the present value	Stays at the present value

These fuzzy numbers were used to represent electricity and NG emission factors.

3.3. Economic Uncertainties

Energy prices of NG and electricity can affect the effectiveness of retrofit performance. Therefore, fuzzy numbers were developed to represent energy prices similar to the emission factors. Electricity price is linked with the grid energy mix and many other factors, including government policies [53,54]. BC's current grid electricity price is 11.62 cents/kWh [13]. The current price was taken as the reference energy price for the study. Electricity price is expected to increase by 8.1% [54] in the coming five years, and it could be approximately represented by an annualized increment of 1.16% each year compared to the previous year. It was predicted to grow by 13.7% from 2013 to 2024 [54], and this prediction can be represented as an annualized value of 1.15%. If an average price hike of 1.155% was assumed for the project period (2020–2040), then the average electricity price is 12.96 cents/kWh. The aforementioned growth predictions are closely falling on each other. Therefore, the anticipated uncertainty is minimal. A variation of $\pm$1% was introduced to the electricity price to account for uncertainties due to price fluctuation.

NG cost in the region considered is 7.89 CAD/GJ [55]. Approximately 5.5 CAD/GJ is charged for delivery, storage, and transport, while the cost of gas is 2.28 CAD/GJ. Over the past decade, gas prices have varied between 2–5 CAD/GJ approximately [56]. Following the great financial recession in 2008–2009, gas prices have hiked up to 10 CAD/GJ. The fuzzy number of the NG price was developed, assuming such price extremities will not be present in the coming two decades, and the NG cost will vary between 2–5 CAD/GJ range with an average of 3.5 CAD/GJ. Charges other than the gas cost were assumed constant in the project time. With these assumptions, the average gas price is 9 CAD/GJ. The Upper and Lower Bounds are 10.5 and 7.5 CAD/GJ, respectively.

4. Results and Discussion

The proposed research methodology was demonstrated through a case study. The detailed results and outcomes of the study are discussed in the following sections.

4.1. Sensitivity Analysis

The results of the sensitivity analysis are discussed below.

4.1.1. Energy Demand Sensitivity to Operational Conditions

PEDC against the operational conditions was observed. It was observed that PEDC variation with the increasing input and output values was symmetric (i.e., reductions in input parameters will create a mirrored pattern of what is seen in Figure 2 in the third and fourth quadrants of the graph). Moreover, two buildings (BB-1 and BB-2) considered in the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

study indicated similar trends in the sensitivity analysis. Therefore, the results related to BB-1 with increasing operational parameter values are presented in Figure 2 to examine the sensitivity analysis results. Detailed sensitivity analysis results are attached in Appendix D.

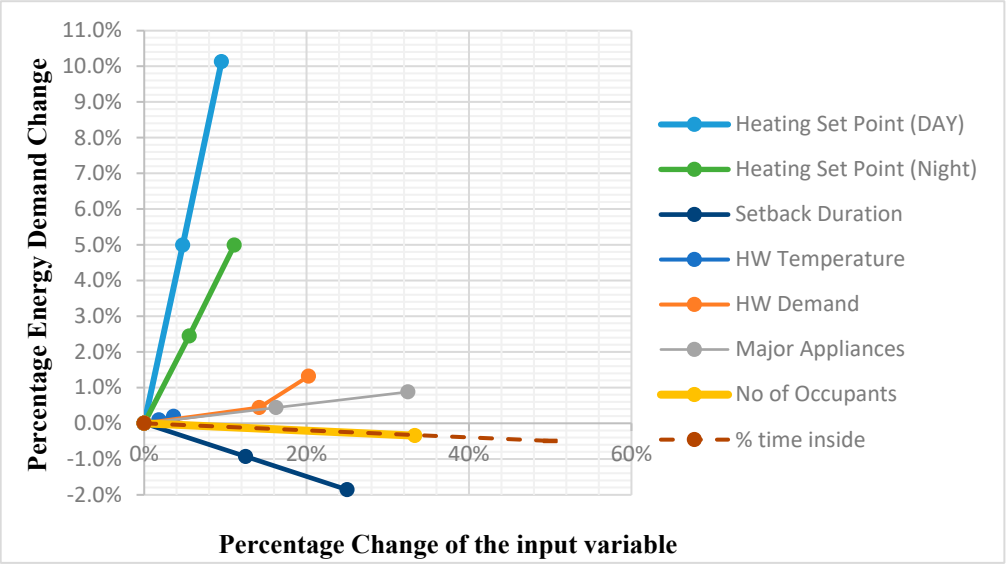


Figure 2. Energy demand sensitivity to operational conditions.

Figure 2 indicates that variations in the parameters related to the heating system, including the heating set points and setback duration, can significantly change the operational energy demand. This indicates the importance of smart controllers for temperature and setback duration control in residential buildings. In addition to smart controllers, occupants can adopt energy-conscious behaviours such as wearing an additional layer of clothing instead of increasing the heating setpoints.

The hot water temperature, HW demand, and major appliance load variations create comparable impacts on the PEDC. Even though these parameters do not create as high an impact as heating system parameters, demand savings achieved by altering these parameters can be easily achieved by adopting less intrusive energy efficiency solutions. (e.g., adopting water-efficient faucets, purchasing energy-efficient appliances when replacing the older ones, and adjusting the average water temperature in day-to-day use).

In general, the energy demand of a house is responsive to the number of occupants and the time spent at home parameters due to changes in energy demand for lighting, hot water, appliances, heating, and cooling. Figure 2 shows that when the number of occupants and time inside the house increase, the energy demand reduces. This energy demand reduction happens due to the energy savings from the space heating system with the increasing passive heat gains from the occupants. This observation is understandable as the heating energy demand dominates the building energy use in most parts of BC and Canada. Importantly, in HOT2000, baseload values do not automatically update with occupancy parameters. Therefore, the observed variation does not include the impact on energy use due to baseload variations resulting from the occupancy patterns. Therefore, baseload parameters must be manually adjusted when altering the number of occupants in HOT2000 models.

4.1.2. Operational Cost and Emission Sensitivity to Source Conditions

A 50% price variation was introduced to energy prices following the scenarios discussed in Section 2.1.2. The results are presented in Figure 3.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

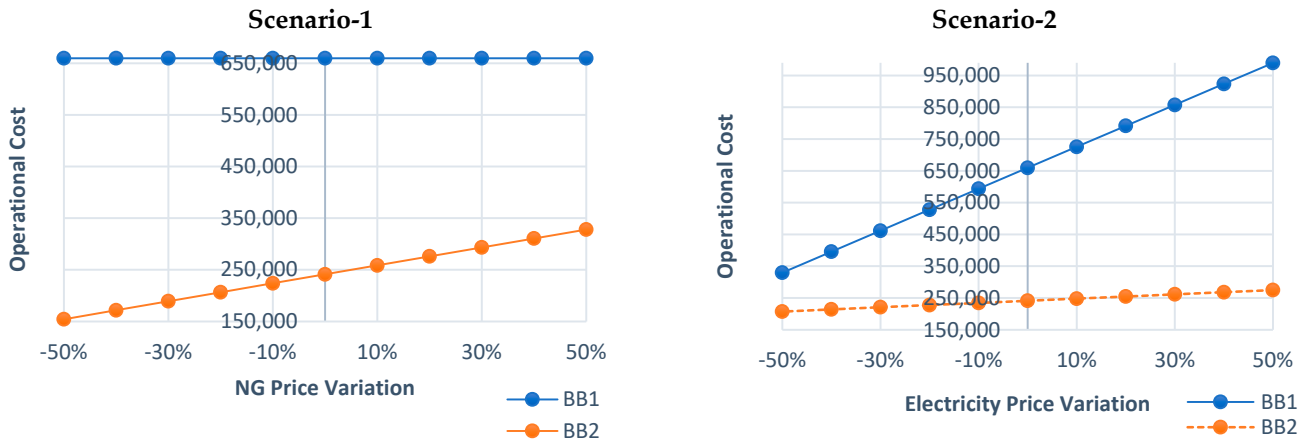


Figure 3. Operational cost vs. energy price variation.

According to Figure 3, it is evident that even after a 50% increment in NG price or a 50% decrement in electricity price, the electrically heated house has a higher operational cost under the current conditions of the two buildings. However, BB-1 is only equipped with electric baseboards for heating. Suppose an electric heat pump was used for heating BB-1. In that case, there is a possibility of operating BB-1 at a lower cost compared to the NG-heated house (BB-2) when the electricity price drops to the lowest levels presented above.

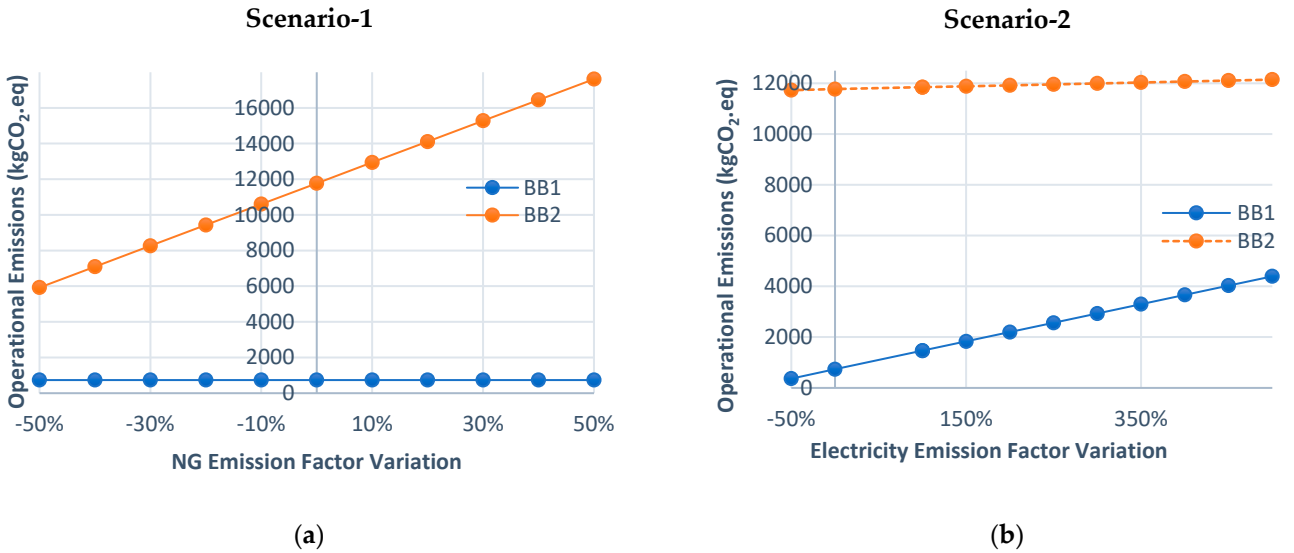
In Figure 4, NG and electricity emission factors were varied following scenarios 1 and 2 from Section 2.1.2. In scenario 1, the NG emission factor was varied by ±50%. BC electricity demand is growing due to numerous factors, including population and industrial growth. On top of that, some government initiatives aggressively motivate the conversion of fossil fuel-based systems (such as building space heating and transportation) to electricity. With this new trend, alternative energy sources such as solar photovoltaic arrays, wind energy, and NG might be integrated into the grid if hydroelectricity becomes insufficient to cater to the provincial demand. However, according to a demand forecast by a major electricity supplier in the province, the total electricity demand growth from 2020 to 2040 is less than 20% [52]. A 500% increment in the electricity emission factor will be observed in an unlikely future scenario where the total provincial energy demand growth (20% from current demand) in the next two decades is supplied by NG-based electricity generation. As renewable energy sources already cater to the majority of the BC electricity supply, the potential for emission factor reduction is minimal. However, a 50% emission factor reduction was considered to study the potential operational savings in a scenario like that. In scenario 2, the electricity emission factor varied from −50% to 500%.

As seen in Figure 4, electrically heated houses (BB-1) produce much lower operational emissions under both scenarios. The operational emissions' performance of the electrically heated house is better even after reducing the emission factor of NG by 50% and increasing the emission factor of electricity to 500% of the current value. It is important to note that the operational performance of an electrically heated house can be further improved by introducing heat pumps instead of the baseboards used in BB-1.

4.2. Retrofit Performance Outcomes

The priority assigned to LCES (W_2) was varied from 0% to 100% (i.e., the weight of LCCS (W_1) was varied from 100% to 0%) to understand the effect of the weights assigned to decision priorities on the percentage occurrence of building component upgrades in the best 100 ranked retrofit strategies. Figure 5 indicates the variation in the percentage inclusion of building component upgrades in top-ranked retrofit strategies vs. the relative importance of LCES. Here, the top-ranked 100 retrofit strategies (combinations) were explored in depth to quantify the number of times a particular retrofit type appeared in the solutions. For example, Figure 5 highlights that the HWU appeared in 80–100% of the solutions under all decision scenarios.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(**a**) (**b**)

Figure 4. Operational emissions vs. energy source emission factor variation: (**a**) Scenario-1; (**b**) Scenario-2.

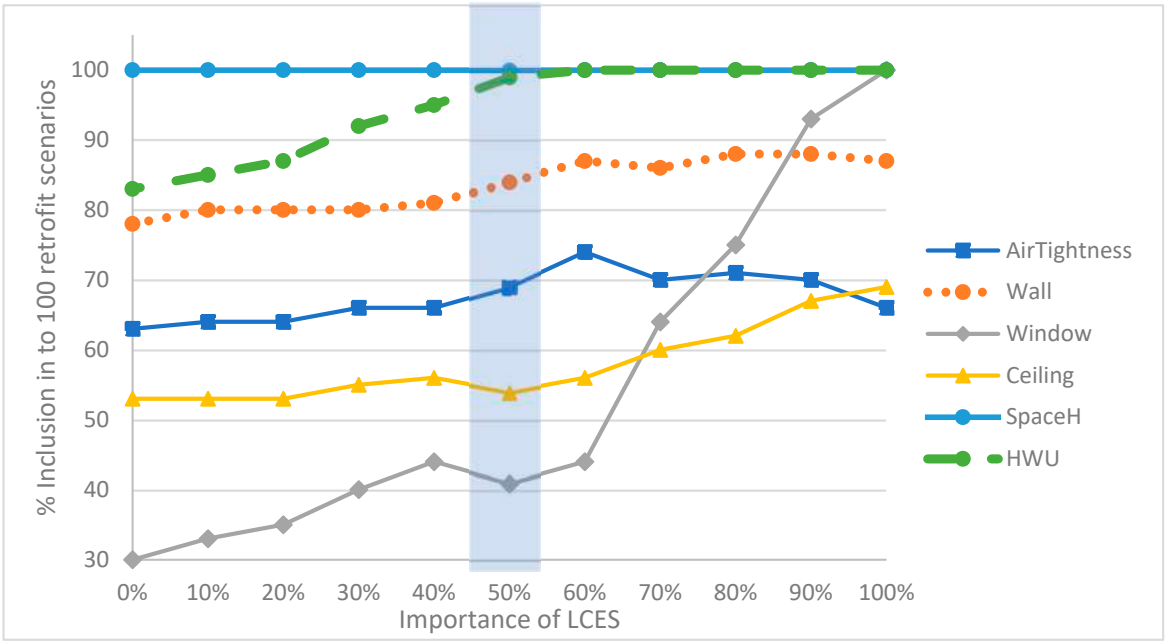


Figure 5. Percentage inclusion of upgrades vs. relative importance of LCES.

When W_2 is below 50%, all the upgrades in the top-ranked 100 strategies were proposed to be applied on BB-1. Similarly, when W_2 is above 50%, all the upgrade scenarios ranked in the top 100 options were proposed to be applied on BB-2. When LCES and LCCS were given equal weights, most upgrade scenarios in the first 100 ranks were proposed for BB-1, while 12% were proposed for BB-2. Notably, this is the only decision scenario (W_2 = 50%) where upgrades for both BB-1 and BB-2 were included in the best 100 options at the same time. The first two observations confirm the BC provincial government's interest in retrofitting and source-switching initiatives focusing on houses heated with NG from an emissions point of view.

From Figure 5, it is evident that space heating upgrades are commonly selected under any weighting scenario. The HWU upgrades closely follow the same trend. However, HWU upgrade percentage inclusion reduces slightly below 85% when the relative importance

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

of LCES is below 50%, yet being the second most used upgrade. Wall upgrades and air tightness are the third and fourth best-performing retrofits, irrespective of the decision priorities. Ceiling upgrades are included 50–70% of the time in the best 100 retrofit strategies, regardless of the decision priority. However, when the relative importance of LCES grows beyond 70%, 80%, and 90% (i.e., LCCS becomes less important), window upgrades become a common inclusion in the top-ranked retrofit strategies compared to ceiling, air tightness, and wall upgrades, respectively. Windows are disadvantaged compared to other retrofits due to the high capital cost. It is important to note that at 100% importance for LCES (i.e., 0% importance for LCCS), windows are included in all of the best 100 retrofit strategies, indicating that window upgrades have a significant emissions reduction potential. A detailed summary of the upgrades included in the best 100 ranked options under varying decision priorities is presented in Appendix E.

4.3. Incentive Performance

Incentive performance was evaluated under varying decision priorities. Only the top-ranked retrofit strategies were considered for incentivizing as the goal of the incentivizing is to promote the best. The incentive amounts applied to individual retrofits vary with the number of retrofit strategies (e.g., 50, 100, 500) shortlisted for incentivizing. The number of strategies incentivized can be decided based on the marginal abatement cost, LCCS, and LCES benchmarks established by the decision makers. For demonstration purposes, the incentive amounts applicable for individual retrofits were determined considering the best 50, 100, and 500 retrofit strategies out of the 2736 retrofit strategies considered. Detailed incentive optimization results are presented in Appendix F.

4.3.1. Optimal Incentive Allocation

In this discussion, the incentive amounts that can be optimally allocated to promote the top 100 retrofit strategies were analyzed for demonstrative purposes. In the top 100 retrofit strategies, when the LCES weight exceeds 50%, all the incentives focus on retrofits applied on BB-2. Similarly, when LCES weight is less than 50%, the incentives are focused on retrofits applied on BB-1. Optimal incentive amounts for each decision priority scenario are presented in Figure 6. The legend contains the capital costs of each retrofit option within brackets.

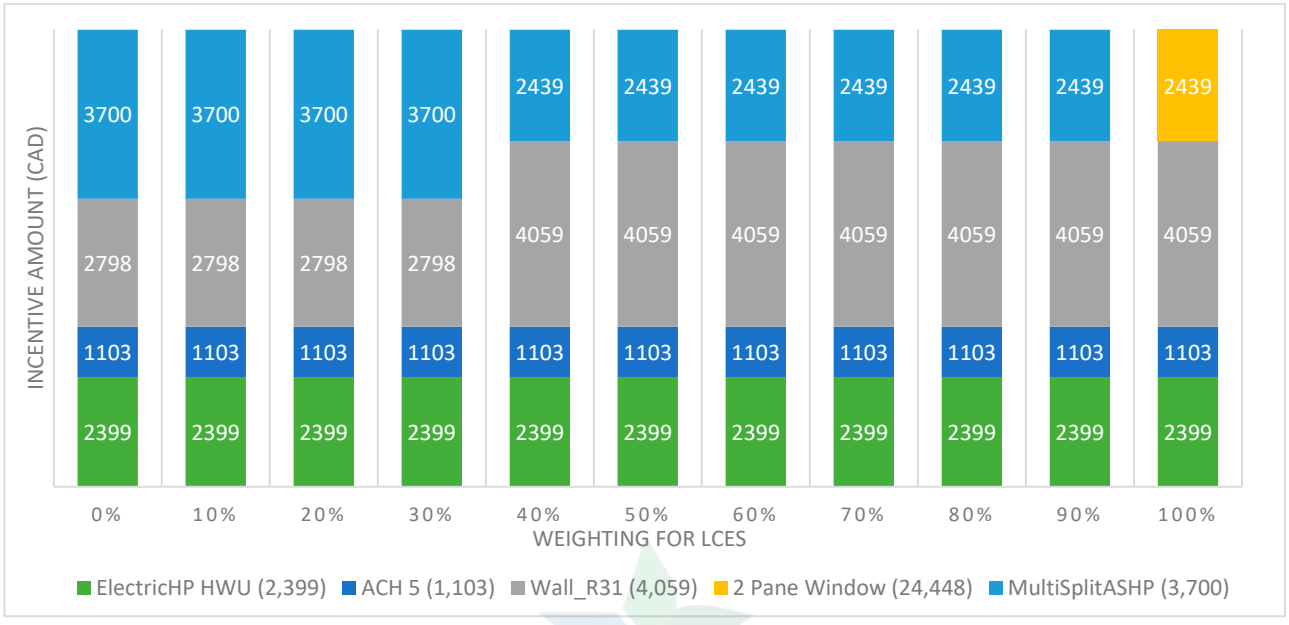


Figure 6. Incentive amount vs. relative importance of LCES to incentivize best 100 retrofit strategies.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

According to Figure 6, the Electric-HP HWU upgrade and airtightness upgrades are incentivized under all decision scenarios, and the incentives are proposed to match the capital cost of the retrofit. Upgrading walls to R-31 (5.459RSI) is the other retrofit proposed to be incentivized under all decision scenarios. Multi-split ASHP is also a retrofit proposed to be incentivized under any decision priority except when the only decision criterion is LCES. When the focus is more biased towards LCCS than LCES, the multi-split ASHP is incentivized to match its capital cost. These are the decision scenarios where the wall upgrade is not incentivized to match its capital cost. If a higher priority is given to LCES, then the proposed incentives cover the entire capital cost of the wall upgrades instead of multi-split ASHP. When 100% focus is on LCES, two-pane windows were incentivized instead of multi-split ASHP. This is understandable as the window upgrades cannot compete with the other retrofits in financial aspects due to their high initial cost.

4.3.2. Incentive Effectiveness

The incentive effectiveness can be evaluated considering the average LCES and LCCS reduction per dollar incentive. The incentive effectiveness variation with the changing weights (representing the variation in the relative importance of the key decision criteria) for the best 100 retrofit strategies is summarized in Figure 7.

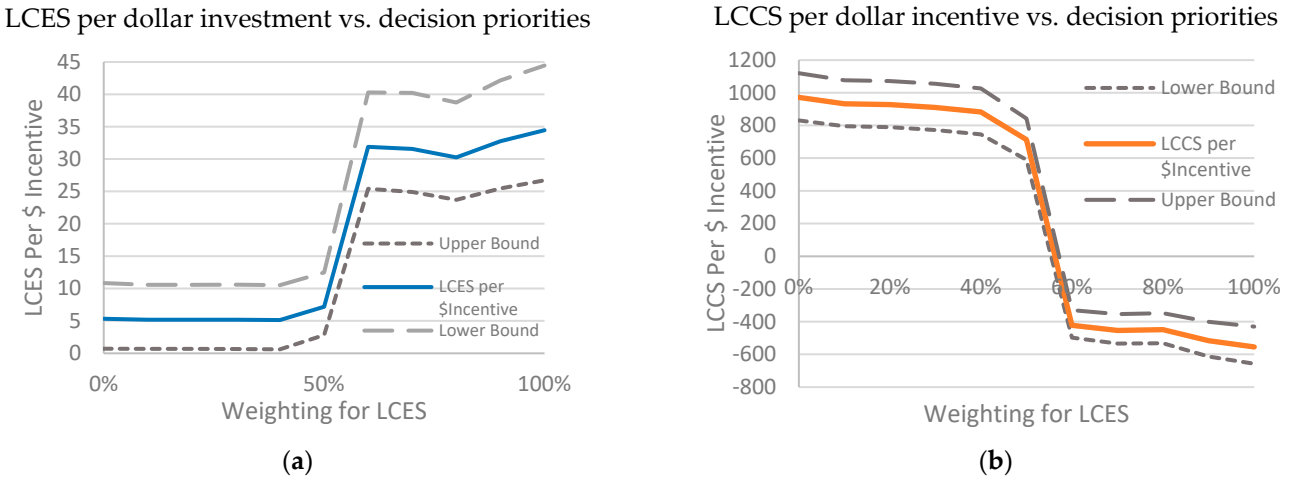


Figure 7. Incentive effectiveness vs. relative importance of LCES: (**a**) LCES per dollar investment vs. decision priorities; (**b**) LCCS per dollar incentive vs. decision priorities.

The solid lines in both Figure 7a,b indicate the average performance that can be expected. The dotted lines indicate the possible range within which the performance can vary due to uncertainties such as emission factors, energy prices, and occupant behaviours. As seen in Figure 7, the decision priorities significantly impact per dollar LCES and LCCS potential of incentives. It is observed that LCES shows a rapid increment, and LCCS experiences a dip when the priority for LCES exceeds 50%. This can be mainly attributed to the characteristics of the base building to which the retrofits were applied. When the LCES priority is above 50%, all the top retrofit strategies are related to BB-2. When LCES priority is less than 50%, all the top retrofit strategies are proposed for the BB-1 house. This observation highlights that more LCES per dollar of incentives can be achieved by retrofitting houses with NG heating, while more LCCS savings can be achieved from the retrofits applied on BB-1.

Retrofitting BB-1 can produce 1-10kgCO_{2e} LCES per dollar incentive. Even though this is not matching the LCES levels of BB-2, this shows a greater potential for community penetration with the LCCS to building owners. If energy-conscious behaviours can be promoted, BB-1 can reach the upper threshold of emissions and cost savings (i.e., energy-conscious behaviour can approximately double the emission savings achieved by retrofitting an electrically heated house compared to energy-intensive occupant behaviours).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Retrofitting houses heated with NG makes more sense from an emissions-saving point of view because it can generate LCES as high as seven times the savings of a similar building heated with electricity. However, implementing retrofits on BB-2 with the view of emission savings can create life cycle financial losses in the range of CAD 0–25,000 even with the proposed incentives. Therefore, promoting energy retrofits to BB-2 owners is still challenging from an economic point of view.

When determining the financial viability of retrofit projects, capital cost should be considered in addition to the LCC figures, as high capital costs tend to drive away building owners from implementing retrofits. The case study indicates that the average CC of the chosen retrofit strategies notably increases with the increasing priority assigned to LCES, as the focus is mainly on emissions reduction rather than cost. When the importance given to LCCS exceeds 50% (i.e., LCES weight $\leq$ 50%), the average incentive level approximately covers more than 25% of the average CC of the retrofit strategies considered, and all the strategies are recommended for electrically heated houses. If higher LCCS are supplemented with richer incentives, retrofitting electrically heated houses can be easily promoted in the community compared to houses heated with NG.

In summary, it is safe to say that there is a limit to promoting emissions savings solely by overcoming the associated capital cost barriers via incentives. However, low-interest loans can significantly support building owners to overcome capital cost barriers in high capital cost options.

5. Conclusions

This study proposed a framework to find optimum incentive levels for individual energy retrofits to promote the best-performing retrofit strategies (combination of retrofits). The framework considers the life cycle emissions and cost-saving potential in selecting the best retrofit strategies for a given jurisdiction and the optimal incentive levels to promote them under uncertain conditions. The uncertainty-capturing capability of the framework allows the decision makers to identify the strategy, which is robust under future energy supply condition, weather, and macroeconomic changes. Accounting for uncertainties is crucial in climate policy development, given the highly volatile nature of the global economy and climate conditions.

The framework was demonstrated using two case study buildings in Kelowna, BC, with identical characteristics except for the heating energy source (electricity vs. NG). According to the case study, retrofitting the house with electric space and water heating (BB-1) showed greater LCCS potential with relatively lower LCES than retrofitting the house with NG space and water heating (BB-2). On the other hand, any retrofit applied on BB-2 led to higher LCES and lower LCCS compared to BB-1. Despite the high LCES potential of retrofit strategies applied on BB-2, associated net positive LCC (i.e., negative LCCS), particularly with source switching (from NG to electricity) make promoting them in communities challenging even with the proposed incentives. In such situations, other merits of electric retrofits can be leveraged to encourage source switching (e.g., heat pumps can produce cooling for summer while catering to the heating requirements in the winter as opposed to NG-heating counterparts; heat pumps can produce other benefits such as better indoor air quality).

Despite the economic challenges, switching from NG to electricity can significantly reduce the emissions of buildings in BC, which is crucial for meeting provincial emissions reduction targets. However, source switching can potentially increase the utility bills for the building owners and create reliability issues for the heating supply when a majority of the buildings depend on one energy source for heating in a country with extreme winters. With stepwise carbon tax increases, the financial disparity between NG and electric heating is reducing in BC. Even though carbon tax effectively reduces the reluctance for source switching by closing the economic performance gap between the sources, it does not reduce the actual cost of electricity usage for the occupants. Therefore, high energy costs could exacerbate other issues around housing affordability and energy security, which British

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Columbians already experience in the face of a predicted economic recession. Therefore, policy decisions around source switching extend beyond the climate change mitigation discussion. Understanding these challenges, the provincial government supports the community in source switching with general and income-qualified rebate programs with special attention to vulnerable populations.

Without any major physical retrofitting in houses, the combined effect of injecting RNG into the NG supply and adopting energy-conscious behaviour patterns by building occupants over energy-intensive practices can result in LCES over 100,000 $kgCO_{2e}$ and LCCS closer to CAD 20,000 per house heated with NG, over the twenty-year project period considered in the study. The life cycle emissions saving achieved by increasing the RNG fraction in the NG supply and simply adopting energy-conscious behaviour in the NG-heated houses is almost two times the maximum emission savings achieved by any retrofit strategy applied to the house heated with electricity. This highlights the importance of raising community awareness regarding energy-conscious behaviour and the merits of employing performance-based incentives that can also reward energy-conscious behaviours, in addition to asset efficiency, to reduce emissions. Considering the discussed benefits of performance-based incentives and widespread usage of prescriptive incentives in BC, a mix of both approaches can expedite the realization of provincial residential emission reduction targets.

Limitations and Future Work

This paper only considered two base buildings representing Canadian averages for demonstration purposes. Nevertheless, the proposed incentive optimization strategy can comfortably handle multiple building archetypes and designs to cater to city-level planning. A comprehensive building cluster analysis and modelling are recommended for better accuracy in a city-level analysis.

The lack of locally applicable life cycle impact data for BERs, especially for HVAC and hot water systems, was identified as a major gap in the current body of knowledge. The accuracy of the life cycle emissions assessments can be improved with accurate embodied impact data.

The proposed framework can determine the optimal incentive levels to be assigned to individual retrofits to promote the desirable retrofit strategies for a given community, depending on the decision priorities. However, suppose the available budget is limited, and the incentive amount assigned to a given retrofit is not sufficient to change a purchase decision. In that case, the program uptake in the community can be lower. Therefore, the authors suggest conducting stakeholder engagement sessions and surveys to understand the minimum incentive levels needed to motivate the building owners to consider a given retrofit. The survey information can be integrated into the optimization algorithm to avoid assigning insufficient incentive amounts to impact purchase decisions and use those funds to strengthen the incentives for other retrofits that can potentially change the choice of building owners with the increased financial support.

Some energy-efficient and environmentally friendly retrofits (e.g., heat pumps) can be expensive compared to their counterparts. However, these retrofits can produce additional benefits, such as occupant comfort and health, which can be leveraged to promote them in communities. Therefore, the authors recommend the extension of the proposed framework to capture those aspects in future studies.

Author Contributions: Conceptualization, T.P. and K.H.; methodology, T.P.; software, T.P.; formal analysis, T.P.; investigation, T.P.; resources, K.H. and R.S.; writing—original draft preparation, T.P.; writing—review and editing, K.H. and R.S.; visualization, T.P.; supervision, K.H. and R.S.; project administration, K.H.; funding acquisition, K.H. and R.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by MITACS Inc., grant number IT13420 and the APC was waived by the Sustainability Journal.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: The authors gratefully acknowledge the funding and support provided by FortisBC Inc. and Mitacs Canada. Moreover, the authors would like to acknowledge the support of the Green Construction Research and Training Centre and the Pacific Institute for Climate Solutions.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

Appendix A

Table A1. Base building characteristics from literature [13].

	Heating	Hot Water	Window	Wall	Ceiling	Infiltration	Ventilation
BB-1	NG Furnace (78% AFUE)	Conventional Tank (NG) (EF = 0.5543)	Single Pane	RSI 1.76	RSI 1.76	7.5ACH @50Pa	28 L/s
BB-2	Electric Baseboard	Conventional Tank (Electric) (EF = 0.5543)	Single Pane	RSI 1.76	RSI 1.76	7.5ACH @50Pa	28 L/s

AFUE—annualized fuel utilization efficiency, EF—energy factor, ACH—air changes per hour.

Appendix B

Table A2. Capital costs and embodied emission data of the retrofit options considered in the study.

System	Option	Unit Embodied Emission	Embodied Emission ($kgCO_{2e}$)	Embodied Emission Remarks	Capital Cost	Costing Remarks
ACH	ACH_5	-	0	Assumed Negligible	1103	[13]
Wall	R22 (3.874RSI)	3.235 $kgCO_{2,e}/m^2$	682.6	From literature	3588	RSMeans
	R31 (5.459RSI)	3.702 $kgCO_{2,e}/m^2$	781.1	Unit Value is from Paper-1 (Total is different, WHY)	4059	
Window	Double-pane, Low-E High gain, Air Fill	40.05 $kgCO_{2,e}/m^2$	2607.3	[13]	24,448	[13]
	Triple-pane, Low-E High gain, Argon Fill, U1.36	66.78 $kgCO_{2,e}/m^2$	4347.5	SimaPro (Not enough data to differentiate between the two three-pane windows)	27,504	[57]
	Triple-pane, Low-E low gain, Argon Fill, U1.14	66.78 $kgCO_{2,e}/m^2$	4347.5	SimaPro (Not enough data to differentiate between the two three-pane windows)	27,504	
Ceiling	R50 (8.805RSI)	6.374 $kgCO_{2,e}/m^2$	659.7	Interpolated from the 3 values used in this study	4461	Interpolated from the R values in the table
	R40 (7.044RSI)	5.382 $kgCO_{2,e}/m^2$	557.1	[13]	3944	[13]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table A2. *Cont.*

System	Option	Unit Embodied Emission	Embodied Emission ($kgCO_{2e}$)	Embodied Emission Remarks	Capital Cost	Costing Remarks
Space Heating	Tier-1 Central Ducted ASHP 24 kBTU/h, COP 2.9	-	2219.1	[13]	4620	From vendors and [13]
	Tier-2 Central Ducted ASHP 24 kBTU/h COP 2.9	-	2219.1	This was assumed to be the same as Tier-1. Not enough data to differentiate within the same type of systems.	5020	From vendors and [13]
	Multi-Split ASHP HSPF 9.9 BTU/watt-hr COP 2.9 Capacity 28 kBTU/h	-	2219.1	Not sufficient data to calculate this one. Therefore, assumed to be similar to Central Ducted HPs.	3700	Vendors
	Tier-1 gas-furnace	-	781	[13]	1360	Vendors
	Tier-2 gas-furnace	-	781	This was assumed to be the same as Tier-1. Not enough data to differentiate within the same type of systems.	2990	From this sheet
DHWS	Conventional Electric Tank replacing the existing one	-	800	Replacement with a conventional DHWS (This sheet)	509	[13]
	Electric HP	-	1228.9	[13]	2399	[13]
	Gas Instantaneous	-	135	[13]	2889	Vendors
	Gas storage tank EF 0.67 Capacity 65 gal	-	800	Assumed to be the same as a conventional heat pump	2149	Vendors
	Condensing Gas storage tank EF 0.8 Capacity 65 gal	-	800		929	Vendors

Appendix C

Table A3. Baseload and occupancy characteristics from literature [13].

Electrical Appliances	Minor (Other) Electrical Appliance	Lighting	Average Exterior Energy Use	Hot Water Load	Occupancy
10.68 kWh/day	0.29 kWh/day	2.6 kWh/day	Negligible	247 L/day	3 × (50%)

Appendix D

Table A4. Energy demand sensitivity to operational conditions.

No of Occupants	Abs. (No:)	1	2	3	4	5
	%	−67%	−33%	0%	33%	67%
Energy Demand (GJ)	BB-1	205.6	205	204.4	203.7	203.1
	BB-2	246.6	245.8	245	244.2	243.4
PEDC	BB-1	0.6%	0.3%	0.0%	−0.3%	−0.6%
	BB-2	0.7%	0.3%	0.0%	−0.3%	−0.7%

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table A4. *Cont.*

No of Occupants	Abs. (No:)	1	2	3	4	5
% time inside	Abs. (%)	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
	%	−80%	−50%	0%	50%	80%
Energy Demand (GJ)	BB-1	205.9	205.3	204.4	203.4	202.8
	BB-2	246.9	246.2	245	243.8	243.1
PEDC	BB-1	0.7%	0.4%	0.0%	−0.5%	−0.8%
	BB-2	0.8%	0.5%	0.0%	−0.5%	−0.8%
Major Appliances	Abs. (kWh/day)	7.12	8.9	10.68	12.415	14.15
	%	−33%	−17%	0%	16%	32%
Energy Demand (GJ)	BB-1	202.5	203.4	204.4	205.3	206.2
	BB-2	243.9	244.4	245	245.6	246.1
PEDC	BB-1	−0.9%	−0.5%	0.0%	0.4%	0.9%
	BB-2	−0.4%	−0.2%	0.0%	0.2%	0.4%
HW Temperature	Abs. (°C)	53	54	55	56	57
	%	−4%	−2%	0%	2%	4%
Energy Demand (GJ)	BB-1	203.9	204.1	204.4	204.6	204.8
	BB-2	244.7	244.8	245	245.2	245.3
PEDC	BB-1	−0.2%	−0.1%	0.0%	0.1%	0.2%
	BB-2	−0.1%	−0.1%	0.0%	0.1%	0.1%
HW Demand	Abs. (l/day)	197	222	247	282	297
	%	−20%	−10%	0%	14%	20%
Energy Demand (GJ)	BB-1	201.7	203.5	204.4	205.3	207.1
	BB-2	241.6	243.9	245	246.1	248.4
PEDC	BB-1	−1.3%	−0.4%	0.0%	0.4%	1.3%
	BB-2	−1.4%	−0.4%	0.0%	0.4%	1.4%
Heating Set Point (DAY)	Abs. (°C)	23	22	21	20	19
	%	10%	5%	0%	−5%	−10%
Energy Demand (GJ)	BB-1	225.1	214.6	204.4	194.5	185
	BB-2	270.9	257.8	245	232.6	220.6
PEDC	BB-1	10.1%	5.0%	0.0%	−4.8%	−9.5%
	BB-2	10.6%	5.2%	0.0%	−5.1%	−10.0%
Heating Set Point (Night)	Abs. (°C)	20	19	18	17	16
	%	11%	6%	0%	−6%	−11%
Energy Demand (GJ)	BB-1	214.6	209.4	204.4	199.4	194.5
	BB-2	257.8	251.4	245	238.7	232.6
PEDC	BB-1	5.0%	2.4%	0.0%	−2.4%	−4.8%
	BB-2	5.2%	2.6%	0.0%	−2.6%	−5.1%
Setback Duration	Abs. (h)	6	7	8	9	10
	%	−25%	−13%	0%	13%	25%
Energy Demand (GJ)	BB-1	208.2	206.3	204.4	202.5	200.6
	BB-2	249.8	247.4	245	242.6	240.3
PEDC	BB-1	1.9%	0.9%	0.0%	−0.9%	−1.9%
	BB-2	2.0%	1.0%	0.0%	−1.0%	−1.9%

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Appendix E

Table A5 Percentage inclusion of retrofits in the best hundred retrofit strategies under varying decision priorities.

Weights		Base			Wall		Window			Ceiling		Space Heater					HWU			
								Three Pane				Central Ducted ASHP			Gas Furnace			NG		
W1	W2	BB-1	BB-2	ACH5	R 22 (3.874 RSI)	R 31 (5.459 RSI)	Two Pane Low-E Hard Coat Air Fill	High Gain, u1.36	Low Gain, u1.14	R50 (8.805 RSI)	R40 (7.044 RSI)	Tier-1	Tier-2	Multi Split ASHP HSPF9.9 COP2.9 28kBTU/h	Tier-1	Tier-2	Electric HP	Instantaneous	Storage Tank EF0.67_65gal	Condensing gas Storage Tank EF0.8 65gal
0%	100%			66	42	45	42	41	17	34	35	28	36	36			100			
10%	90%			70	37	51	39	39	15	33	34	21	39	40			100			
20%	80%	0	100	71	35	53	32	35	8	29	33	17	36	47			100	0	0	0
30%	70%			70	37	49	26	33	5	28	32	17	36	47			100			
40%	60%			74	33	54	18	24	2	24	32	13	36	51			84	10	0	6
50%	50%	88	12	69	32	52	16	24	1	25	29	16	34	50	0	0	97	1	0	1
60%	40%			66	34	47	16	25	3	27	29	20	34	46			95			
70%	30%			66	34	46	15	23	2	26	29	21	32	47			92			
80%	20%	100	0	64	34	46	14	20	1	25	28	20	32	48			87	0	0	0
90%	10%			64	34	46	13	19	1	25	28	20	32	48			85			
100%	0%			63	33	45	11	18	1	25	28	20	32	48			83			

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Appendix F

Table A6. Proposed incentive levels under varying decision priorities and the ranks of the retrofits selected for incentivizing.

CC	W1	Considering the Best 50 Scenarios											Considering the Best 100 Scenarios											Considering the Best 500 Scenarios										
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1103	ACH 5	1103											1103											1103										
3588	Wall R22	0											0											0					2439					
4059	Wall R31	4059					2798						4059						2798					4059				2798	4059					
24448	2Pane Low-E Hard Coat Air Fill	2439					0						2439					0						0										
3700	Multi Split ASHP (HSPF 9.9, COP 2.9)	0					2439						0					2439			3700			0		2439			3700					0
2399	Electric HP HWU	2399											2399											2399										

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

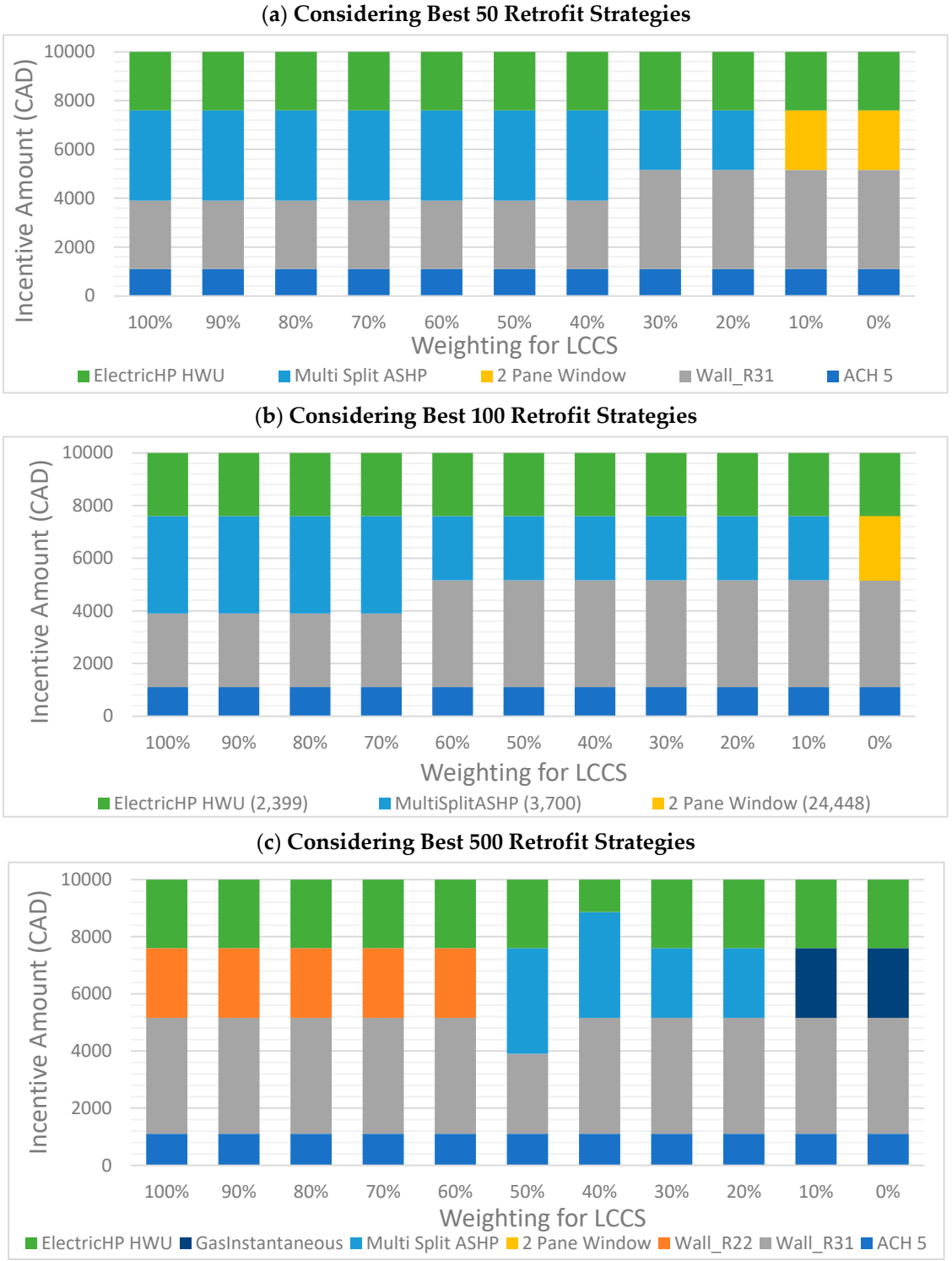


Figure A1. Incentive level variations under the number of Retrofit Strategies Considered.

References

1. NASA. The Effects of Climate Change. Vital Signs of the Planet. Available online: https://climate.nasa.gov/effects/ (accessed on 1 February 2021).
2. Frappé-Sénéclauze, T.-P. Is B.C.'s Energy Step Code a blueprint for Canada? Sustainable Architecture & Building Magazine. 2018. Available online: https://www.pembina.org/op-ed/canada-energy-step-code (accessed on 1 February 2022).
3. Campbell, I.; Calhoun, K. Old Buildings Are U.S. Cities' Biggest Sustainability Challenge. 2016. Available online: https://hbr.org/2016/01/old-buildings-are-u-s-cities-biggest-sustainability-challenge (accessed on 1 February 2021).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

4. Radha, C.H. Retrofitting for Improving Indoor Air Quality and Energy Efficiency in the Hospital Building. *Sustainability* **2023**, *15*, 3464. [CrossRef]
5. Kennedy, M.; Frappé-Sénéclauze, T.-P.; Ebrahimi, G. *Accelerating B.C.'s Economic Recovery through Building Retrofits*; Government of British Columbia: Vancouver, BC, Canada, 2020.
6. Karunathilake, H.; Hewage, K.; Sadiq, R. Opportunities and challenges in energy demand reduction for Canadian residential sector: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2018**, *82*, 2005–2016. [CrossRef]
7. Pardo-Bosch, F.; Cervera, C.; Ysa, T. Key aspects of building retrofitting: Strategizing sustainable cities. *J. Environ. Manag.* **2019**, *248*, 109247. [CrossRef] [PubMed]
8. Fina, B.; Auer, H.; Friedl, W. Profitability of contracting business cases for shared photovoltaic generation and renovation measures in a residential multi-apartment building. *J. Clean. Prod.* **2020**, *265*, 121549. [CrossRef]
9. Karunathilake, H.; Nahiduzzaman, K.M.; Prabatha, T.; Hewage, K.; Sadiq, R.; Alam, S.; Shaw, P. *The Nexus of Climate Change and Increasing Demand for Energy: A Policy Deliberation from the Canadian Context*; Springer: Cham, Switzerland, 2020.
10. Fortis, B.C. Clean Growth Pathway to 2050. 2019. Available online: https://engage.gov.bc.ca/app/uploads/sites/391/2018/08/FortisBC.pdf (accessed on 1 February 2021).
11. Dorband, I.I.; Jakob, M.; Kalkuhl, M.; Steckel, J.C. Poverty and distributional effects of carbon pricing in low- and middle-income countries—A global comparative analysis. *World Dev.* **2019**, *115*, 246–257. [CrossRef]
12. Carattini, S.; Carvalho, M.; Fankhauser, S. Overcoming public resistance to carbon taxes. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change* **2018**, *9*, e531. [CrossRef] [PubMed]
13. Prabatha, T.; Hirushie, K.; Sadiq, R.; Hewage, K. To retrofit or not? Making energy retrofit decisions through life cycle thinking for Canadian residences. *Energy Build.* **2020**, *226*, 110393. [CrossRef]
14. Karunathilake, H.; Prabatha, T.; Hewage, K.; Sadiq, R. Costs of Green Residences in Canada: An Economic and Environmental Analysis of Developing Renewable Powered Building Clusters. 2019. Available online: http://www.csceproceedings.ca/conferences/CSCE2019/papers/PaperPDFversion_108_0404051648.pdf (accessed on 1 February 2021).
15. Diakaki, C.; Grigoroudis, E.; Kabelis, N.; Kolokotsa, D.; Kalaitzakis, K.; Stavrakakis, G. A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings. *Energy* **2010**, *35*, 5483–5496. [CrossRef]
16. Bonomolo, M.; Baglivo, C.; Bianco, G.; Congedo, P.M.; Beccali, M. Cost optimal analysis of lighting retrofit scenarios in educational buildings in Italy. *Energy Procedia* **2017**, *126*, 171–178. [CrossRef]
17. Zhang, H.; Hewage, K.; Prabatha, T.; Sadiq, R. Life cycle thinking-based energy retrofits evaluation framework for Canadian residences: A Pareto optimization approach. *Build. Environ.* **2021**, *204*, 108115. [CrossRef]
18. Ruparathna, R.; Hewage, K.; Sadiq, R. Economic evaluation of building energy retrofits: A fuzzy based approach. *Energy Build.* **2017**, *139*, 395–406. [CrossRef]
19. Gamalath, I.; Hewage, K.; Ruparathna, R.; Karunathilake, H.; Prabatha, T.; Sadiq, R. Energy rating system for climate conscious operation of multi-unit residential buildings. *Clean Technol. Environ. Policy* **2018**, *20*, 785–802. [CrossRef]
20. Delmastro, C.; Mutani, G.; Corgnati, S.P. A supporting method for selecting cost-optimal energy retrofit policies for residential buildings at the urban scale. *Energy Policy* **2016**, *99*, 42–56. [CrossRef]
21. Pak, A. Embodied Carbon: The Blindspot of the Buildings Industry, Canadian Architect. 2019. Available online: https://www.canadianarchitect.com/embodied-carbon-the-blindspot-of-the-buildings-industry/ (accessed on 1 March 2021).
22. Pombo, O.; Rivela, B.; Neila, J. Life cycle thinking toward sustainable development policy-making: The case of energy retrofits. *J. Clean. Prod.* **2018**, *206*, 267–281. [CrossRef]
23. Dowson, M.; Poole, A.; Harrison, D.; Susman, G. Domestic UK retrofit challenge: Barriers, incentives and current performance leading into the Green Deal. *Energy Policy* **2012**, *50*, 294–305. [CrossRef]
24. Lee, P.; Lam, P.; Lee, W. Risks in Energy Performance Contracting (EPC) projects. *Energy Build.* **2015**, *92*, 116–127. [CrossRef]
25. Shah, R. *Energy Retrofitting in Built Environment: Financing and Policy Evaluation*; McMaster University: Hamilton, ON, USA, 2016.
26. Energy and Mines Ministers' Conference. Financing Energy Efficiency Retrofits in the Built Environment. 2016. Available online: https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/emmc/pdf/Financing%20Report-acc_en.pdf (accessed on 1 February 2021).
27. Erie Thames Powerlines. Guide to Business and Industrial Incentive Programs. Ottawa. 2012. Available online: https://www.gtha.com/sites/default/files/All%20Programs%20Brochure_FINAL_May2013.pdf (accessed on 1 February 2021).
28. Heerema, D.; Frappé-Sénéclauze, T.-P.; Wu, K.T. Energy Regulations for Existing Buildings. Toronto. 2017. Available online: https://www.pembina.org/reports/energy-regulations-existing-buildings-2017.pdf (accessed on 1 February 2021).
29. Senick, J. "EEB Codes: Performance-based Codes", Consortium for Building Energy Innovation. 2020. Available online: http://www.cbei.psu.edu/eeb-codes-performance-based-codes/index.html (accessed on 1 February 2021).
30. Rezaee, R.; Brown, J.; Haymaker, J.; Augenbroe, G. A new approach to performance-based building design exploration using linear inverse modeling. *J. Build. Perform. Simul.* **2019**, *12*, 246–271. [CrossRef]
31. Natural Resources Canada. Improve Your Building's Energy Performance: Energy Benchmarking Primer. Ottawa. 2014. Available online: https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/energy/pdf/BenchmarkPrimer_en.pdf (accessed on 1 February 2021).
32. Wate, P.; Coors, V.; Iglesias, M.; Robinson, D. Uncertainty assessment of building performance simulation. In *Urban Energy Systems for Low-Carbon Cities*; Elsevier: London, UK, 2019; pp. 257–287. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

33. Coleman, S.; Touchie, M.F.; Robinson, J.B.; Peters, T. Rethinking Performance Gaps: A Regenerative Sustainability Approach to Built Environment Performance Assessment. *Sustainability* **2018**, *10*, 4829. [CrossRef]
34. Gucyeter, B. Calibration of a building energy performance simulation model via monitoring data. In *Building Performance Analysis Conference and SimBuild*; 2018; pp. 542–549. Available online: https://www.ashrae.org/File%20Library/Conferences/Specialty%20Conferences/2018%20Building%20Performance%20Analysis%20Conference%20and%20SimBuild/Papers/C074.pdf (accessed on 1 February 2021).
35. Rana, A.; Sadiq, R.; Alam, M.S.; Karunathilake, H.; Hewage, K. Evaluation of financial incentives for green buildings in Canadian landscape. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2021**, *135*, 110199. [CrossRef]
36. Pasichnyi, O.; Wallin, J.; Kordas, O. Data-driven building archetypes for urban building energy modelling. *Energy* **2019**, *181*, 360–377. [CrossRef]
37. Mac Uidhir, T.; Rogan, F.; Collins, M.; Curtis, J.; Gallachoir, B.P.O. Improving energy savings from a residential retrofit policy: A new model to inform better retrofit decisions. *Energy Build.* **2020**, *209*, 109656. [CrossRef]
38. Prabatha, T.; Nahiduzzaman, K.M.; Karunathilake, H.; Hewage, K.; Sadiq, R.; Alam, S.; Shaw, P. Coupling Behavior-Based Intervention with Pro-Environmentalism. The Dynamics of Energy Usage, Crisis and Its Conservation. In *Dynamics of Energy, Environment and Economy, Lecture Notes in Energy 77*; Qudrat-Ullah, H., Asif, M., Eds.; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2020; pp. 169–185.
39. Hall, J.; Fu, G.; Lawry, J. Imprecise probabilities of climate change: Aggregation of fuzzy scenarios and model uncertainties. *Clim. Change* **2007**, *81*, 265–281. [CrossRef]
40. Zimmermann, H.-J. Fuzzy set theory. Wiley Interdiscip. *Rev. Comput. Stat.* **2010**, *2*, 317–332. [CrossRef]
41. Nilashi, M.; Zakaria, R.; Ibrahim, O.; Majid, M.Z.A.; Zin, R.M.; Chugtai, M.W.; Abidin, N.I.Z.; Sahamir, S.R.; Yakubu, D.A. A knowledge-based expert system for assessing the performance level of green buildings. *Knowl. Based Syst.* **2015**, *86*, 194–209. [CrossRef]
42. BC Housing and Energy Step Code Council. Energy Step Code—Building beyond the Standard: 2017 Metrics Research. Vancouver. 2017. Available online: http://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/construction-industry/building-codes-and-standards/reports/bc_energy_step_code_metrics_research_report_full.pdf (accessed on 1 February 2021).
43. Karunathilake, H.; Hewage, K.; Mérida, W.; Sadiq, R. Renewable energy selection for net-zero energy communities: Life cycle based decision making under uncertainty. *Renew. Energy* **2019**, *130*, 558–573. [CrossRef]
44. Dulmage, S.; Mousa, M. Embodied Carbon White Paper. Toronto. 2018. Available online: https://sbcanada.org/wp-content/uploads/2018/04/Embodied-Carbon-White-Paper.pdf (accessed on 1 February 2021).
45. Viola, J.; Habert, G. Where is the embodied CO_2 of buildings mainly located ? Analysis of different types of construction and various views of the results. In Proceedings of the World Sustainable Building Conference, Johor, Malaysia, 5–7 November 2007; pp. 16–24.
46. Hong, T.; Koo, C.; Kwak, T.; Park, H.S. An economic and environmental assessment for selecting the optimum new renewable energy system for educational facility. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2014**, *29*, 286–300. [CrossRef]
47. Lin, H.-Y.; Hsu, P.-Y.; Sheen, G.-J. A fuzzy-based decision-making procedure for data warehouse system selection. *Expert Syst. Appl.* **2007**, *32*, 939–953. [CrossRef]
48. Wang, Y.-M. Centroid defuzzification and the maximizing set and minimizing set ranking based on alpha level sets. *Comput. Ind. Eng.* **2009**, *57*, 228–236. [CrossRef]
49. Wang, Y.-J.; Lee, H.-S. Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making. *Comput. Math. Appl.* **2007**, *53*, 1762–1772. [CrossRef]
50. Canada Energy Regulator. Canada's Renewable Power Landscape 2016—Energy Market Analysis. 2019. Available online: https://www.cer-rec.gc.ca/nrg/sttstc/lctrct/rprt/2016cndrnwblpwr/prvnc/bc-eng.html (accessed on 20 August 2020).
51. Canada Energy Regulator. Provincial and Territorial Energy Profiles—British Columbia. 2020. Available online: https://www.cer-rec.gc.ca/nrg/ntgrtd/mrkt/nrgsstmprfls/bc-eng.html#s1 (accessed on 20 August 2020).
52. Patrick Wruck. BC Hydro Fiscal 2020 to Fiscal 2021 Revenue Requirements Application: Twenty-Year Load Forecast. Vancouver. 2019. Available online: https://www.bchydro.com/content/dam/BCHydro/customer-portal/documents/corporate/regulatory-planning-documents/regulatory-filings/rra/00-2019-10-03-bchydro-f20-f21-rra-20-year-load-forecast.pdf (accessed on 1 February 2021).
53. BC Hydro. Resource Options Update Generation Supply-Side Options Draft Results. no. June. BC Hydro, Vancouver. 2020. Available online: https://www.bchydro.com/content/dam/BCHydro/customer-portal/documents/corporate/regulatory-planning-documents/regulatory-matters/rou-draft-results-gen-supply-side-options-v01.pdf (accessed on 1 February 2021).
54. Alty, M.; Gillis, M.; Hurd, A.; Milelli, S.O.; Sirett, R.; Troke, M. Canadian Power—Key Developments in 2019, Trends to Watch for in 2020: British Columbia—Overview. McCarthy Tetrault. Available online: https://www.mccarthy.ca/en/insights/blogs/canadian-energy-perspectives/canadian-power-key-developments-2019-trends-watch-2020-british-columbia-overview (accessed on 21 August 2020).
55. FortisBC. Residential Natural Gas Rates. 2020. Available online: https://www.fortisbc.com/accounts-billing/billing-rates/natural-gas-rates/residential-rates#mainland (accessed on 21 August 2020).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

56. FortisBC. Cost of Gas Rate Changes due to Volatile Natural Gas Market. 2020. Available online: https://www.newswire.ca/news-releases/cost-of-gas-rate-changes-due-to-volatile-natural-gas-market-808627759.html (accessed on 4 September 2020).
57. Modernize Home Services. How Much Do Triple Pane Windows Cost? Available online: https://modernize.com/windows/energy-efficient/triple-pane-windows (accessed on 14 September 2020).

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Clean Energy, 2022, **6**, 305–312
https://doi.org/10.1093/ce/zkac017
Advance access publication 5 April 2022
Research Article

Application research of compressed-air energy storage under high proportion of renewable energy

Bin Feng[1,*] and Bo Yu[2]

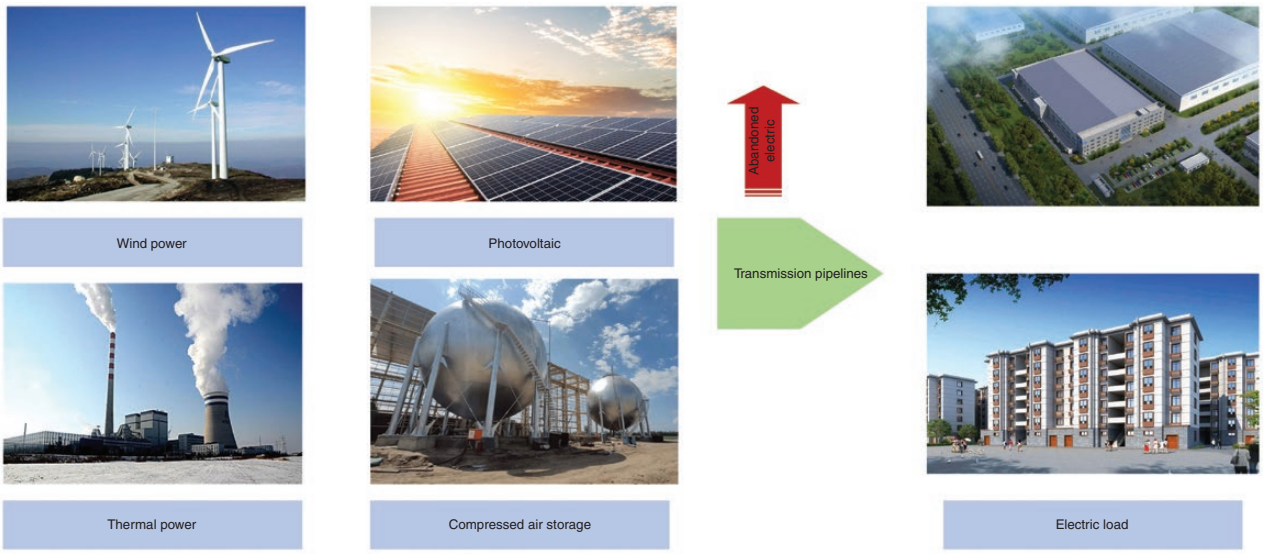
[1]State Grid Ningxia Electric Power Co.ltd, Yinchuan, Ningxia, China
[2]State Grid Ningxia Economic and Technological Research Institute, Yinchuan, Ningxia, China

*Corresponding author. E-mail: yhs19660612@163.com

Abstract

China will strive to achieve a 'dual carbon' target: 'carbon peak' by 2030 and 'carbon-neutral' by 2060. In this context, improving the efficiency of renewable energy and reducing the use of thermal power are important ways to achieve the target. Clean, efficient and large-capacity energy-storage technology is the key to improving the utilization rate of renewable energy. First, this paper proposes to use compressed-air energy-storage technology instead of the old energy-storage technology to build an economical and environmentally friendly comprehensive energy park capacity optimization configuration model. Second, this paper uses the newly proposed improved chicken swarm optimization algorithm to solve the model, which is more accurate and faster. Finally, this paper analyzes a comprehensive energy park in north-west China. Through case analysis, it can be seen that the average utilization rate of renewable energy can reach 73.87% through the model proposed in this paper, while the average power-abandonment rate is only 9.32%.

Graphical Abstract



Keywords: renewable energy; compressed-air energy storage; power-abandonment rate; chicken swarm optimization

Introduction

With the rapid development of China's economy, a large amount of fossil energy is consumed, resulting in increased greenhouse gas emissions. According to statistics, China's primary energy consumption accounted for 21.9% of the world's in 2013 and China's carbon dioxide emission ranked first in the world in 2014 [1]. Given this situation, China, as one of the world's major powers, must take immediate action to save energy and reduce emissions. However, how to achieve carbon intensity targets while maintaining economic growth has become an important topic in the field of ecological economy–environment.

To address climate change, the Chinese government has clearly set the 'dual carbon' goal of achieving carbon peak by 2030 and carbon-neutral by 2060, striving to gradually achieve net-zero carbon dioxide emissions. Literature [2] analyzes and summarizes the challenges faced by China in achieving carbon-neutrality

Received: 16 November 2021. **Accepted:** 20 February 2022

© The Author(s) 2022. Published by Oxford University Press on behalf of National Institute of Clean-and-Low-Carbon Energy
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which permits non-commercial re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. For commercial re-use, please contact journals.permissions@oup.com

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/2/305/6563874 by guest on 24 March 2023

and proposes to improve energy efficiency through technological reform and innovation; develop clean energy; promote energy conservation, emission reduction and energy conversion; and promote low-carbon and zero-carbon economic and social development by using negative emission technologies. China's energy system needs a complete transformation to become carbon-neutral. Literature [3] examined China's decarbonization path and energy transition to carbon-neutrality, and put forward policy suggestions that China should promote renewable energy to replace fossil energy in the electric power field and attach importance to the development of energy-storage facilities.

According to the above suggestions, one of the key measures to achieving the goal of 'dual carbon' is to improve the utilization rate of renewable energy, which is characterized by intermittence and uncertainty. With improvement in the utilization rate of renewable energy, it will bring technical challenges to the security of supply and demand matching of the power system. More efficient and safer storage is needed to smooth out the volatility of a renewable power supply. In order to improve the operation efficiency of the power system and ensure the safety of the power supply, it is urgent to build a batch of large power energy-storage peak-regulating devices. At present, there are mainly pumped hydro-storage power stations and compressed-air storage power stations in the world. Among them, compressed-air energy storage (CAES) is another system that can realize large-capacity and long-duration electrical energy storage. CAES utilizes electricity that is hard to store, such as wind power and solar energy, to generate compressed air. The compressed air with high pressure is stored in gas-storage facilities and can be released as needed to drive turbines for power generation. CAES is second only to pumped storage on a larger scale and is suitable for large power stations. CAES systems can continue to work for hours or even days. Compared with pumped energy storage, CAES has fewer site restrictions. At present, research on CAES mainly includes system optimization [4, 5], process operation [6] and thermal parameter simulation [7–9]. CAES is an energy-storage method that uses electric energy to compress air during the off-peak load of the power grid and release compressed air from high-pressure gas storage for power generation during the peak load of the power grid [10–15].

CAES is not only conducive to reducing carbon dioxide emissions, improving economic performance and increasing environmental protection, but also can restrain the impact of renewable-energy grid connection on the power grid and reduce the use of fossil-fuel-fired thermal energy, so it is conducive to the safe operation of the power grid with a high proportion of renewable energy [16–21].

Reasonable capacity allocation can give full play to the complementary effect of comprehensive energy parks, absorb more renewable energy and reduce the power-abandonment rate [22, 23]. In pluripotent complementary aspects, including scenarios for energy-flexible short-term power, thermal power concrete has good load performance. Literature [24] put forward a renewable-energy optimization method of the minimum life-cycle cost of the system based on a combination of solar photovoltaic (PV) and wind power and biomass to meet existing demand. The biomass power generation is low, so the use range of the integrated energy system is small. Literature [25] put forward the concept of constructing virtual power plants and proposed the application of multiple power-generation equipment and battery energy-storage equipment to form multiple virtual power plants. However, the cost of battery storage is high and the corresponding environmental protection and economics are not as good as CAES. Literature [26] established a unit commitment model for hydropower and thermal power cogeneration to support the safe and economical integration of wind power generation. This model took into account the online power-generation reserve, slope power-generation reserve and transmission capacity reserve to offset the inherent variability and uncertainty of wind power generation. At present, there are few research studies on the capacity configuration of an integrated energy park involving CAES. The above literature regards the utilization rate of renewable energy and power-abandonment rate as important constraint conditions, which will lead to a low utilization rate of renewable energy and a high power-abandonment rate considering the economics. In view of these problems, this paper proposes that CAES is taken as the energy-storage equipment of the comprehensive energy system, and the utilization rate of renewable energy and the power-abandonment rate are taken as constraint conditions during model construction to ensure the consumption level of renewable energy.

In terms of model solving, this paper proposes the application of a novel improved chicken swarm optimization (CSO) [27]. In practical application, the main objective function has strong randomness and it is difficult to determine some problems. The ε-constraint method cannot be used for large-scale problems [28]. Intelligent algorithms solve non-linear and large-scale problems, but they have disadvantages; they are time-consuming and can easily fall into a local optimum state, and there is room for improvement [29, 30]. Literature [27] proposed that the improved CSO has good performance and positively affects local optimization problems. Compared with the genetic algorithm and the particle swarm optimization algorithm, CSO has the advantages of faster convergence speed and higher convergence. Therefore, in this paper, the improved CSO algorithm can avoid falling into the local optimum solution and can solve the problem faster than the general intelligent algorithm.

In this paper, a capacity optimization allocation model aimed at cost minimization is constructed and the CSO algorithm based on the Lévy flight improvement algorithm is applied to solve the model.

The contributions of this paper may be summarized as follows:

(i) This paper proposes to replace an old battery energy storage with CAES, which is safer, more economical and more environmentally friendly.
(ii) In this paper, a capacity optimization allocation model with renewable-energy utilization as the constraint condition and cost minimization as the objective is constructed. It ensures the utilization rate of renewable energy and the economy of power system construction of an integrated energy industrial park.

The remainder of the paper is organized as follows. Section 1 describes the output model of the new integrated energy industrial park, including the output model of renewable energy composed of wind power and photovoltaic power and the CAES system. Section 2 constructs the main capacity optimization allocation model of this paper, which aims at minimizing the cost and constrains the utilization rate of renewable energy to ensure a high proportion of renewable-energy utilization rate. Section 3 describes the CSO algorithm, which is used to solve the model. Compared with the traditional algorithm, the CSO algorithm has simpler calculation steps and faster convergence. In Section 4, a case study is given. Through calculation, the optimization model

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/2/305/6563874 by guest on 24 March 2023

proposed in this paper not only ensures the economy of power construction in the integrated energy industrial park, but also ensures the utilization of a high proportion of renewable energy.

1 Output model

Fig. 1 shows the comprehensive energy park studied in this paper. Renewable energy mainly includes wind power generation, photovoltaic power generation, conventional thermal power and a CAES system for energy storage. There are power transmission channels in the park. On the one hand, it is necessary to ensure sufficient power load on the load side; on the other hand, power abandonment will occur when the electricity generated is redundant. In this paper, the annual cost is minimized and the economic requirements of the comprehensive energy park are met by ensuring a higher utilization rate of renewable energy and a lower power-abandonment rate.

1.1 Renewable energy

A variable-speed constant-frequency wind-turbine generator is widely used at present, and the relationship between the fan output and the wind speed meets the following formula:

$$P_{wt} = \begin{cases} 0, & 0 < v < v_0 \text{ or } v > v_e \\ \frac{p_r \cdot v_0^3}{v_0^3 - v_r^3} + \frac{p_r \cdot v^3}{v_i^3 - v_r^3}, & v_0 \le v < v_r \\ p_r, & v_r \le v < v_e \end{cases} \quad (1)$$

where v_0, v_e and v_r are the cut-in wind speed, cut-out wind speed and rated wind speed, respectively; and p_r is the rated power of the wind-turbine generator. When the wind speed is too high or too low, the output power of the wind-turbine generator is 0.

Photovoltaic power generation is affected by random factors such as the sunshine intensity, sunshine incidence angle and climate environment in the region. Meanwhile, photovoltaic power generation is also affected by differences in photovoltaic cell conversion efficiency and panel area size:

$$R_{pv} = S_{pv} \cdot \eta \cdot r \quad (2)$$

The above formula is the formula for photovoltaic output where R_{pv} is the maximum output power of the photovoltaic panel; η is the conversion efficiency of the photovoltaic panels; r is solar irradiance; and S_{pv} is the total area of the photovoltaic panels.

1.2 Compressed-air storage

This paper takes the non-adiabatic CAES system as the research object, as shown in Fig. 2, which is a schematic diagram of CAES. During off-load periods, the system converts electrical energy into heat and potential energy by compressing air, which can be used to store electrical energy. During peak demand times, the system releases compressed air to generate electricity.

$$S_{CAES}(t) = S_{CAES}(t-1)\left(p_{ch}\eta_{ch} - \frac{p_{dis}}{\eta_{dis}}\right) \cdot \Delta t \quad (3)$$

where $S_{CAES}(t)$ is the electrical quantity of the CAES system at time t; $S_{CAES}(t-1)$ is the electrical quantity of the CAES system at the previous moment; p_{ch} and p_{dis} are the charge and discharge powers of the CAES system, respectively; and η_{ch} and η_{dis} are the charge and discharge efficiencies of the CAES system, respectively.

2 Model

The purpose of using CAES is to improve the utilization rate of renewable energy such as wind power and photovoltaic, reduce the phenomenon of abandoning wind power and light power, and improve the safety and reliability of the power system.

2.1 The objective function

On this basis, it is further necessary to consider the investment and operation cost of wind power, photovoltaic and CAES, and optimize the allocation of wind power, photovoltaic and CAES capacity under the condition of meeting the minimum constraints of wind, light and power abandonment, in order to achieve the goal of maximizing economic benefits and minimizing costs:

$$minC_{total} = C_{wt} + C_{pv} + C_{caes} + C_{ther} \quad (4)$$

$$C_{wt} = Q_{wt} \cdot c_{wt} \cdot f_{wtr} + \mu_{wt} \cdot p_{wt} \cdot T_{wt} \quad (5)$$

$$C_{pv} = Q_{pv} \cdot c_{pv} \cdot f_{pvr} + \mu_{pv} \cdot p_{pv} \cdot T_{pv} \quad (6)$$

$$C_{caes} = Q_{caes} \cdot c_{caes} \cdot f_{caes} + \mu_{caes} \cdot p_{caes} \cdot T_{caes} \quad (7)$$

$$C_{ther} = Q_{ther} \cdot c_{ther} \cdot f_{therr} + \mu_{ther} \cdot p_{ther} \cdot T_{ther} \quad (8)$$

where C_{total}, C_{wt}, C_{pv}, C_{caes} and C_{ther} are the total cost, wind power cost, photovoltaic cost, CAES cost and thermal power cost, respectively;

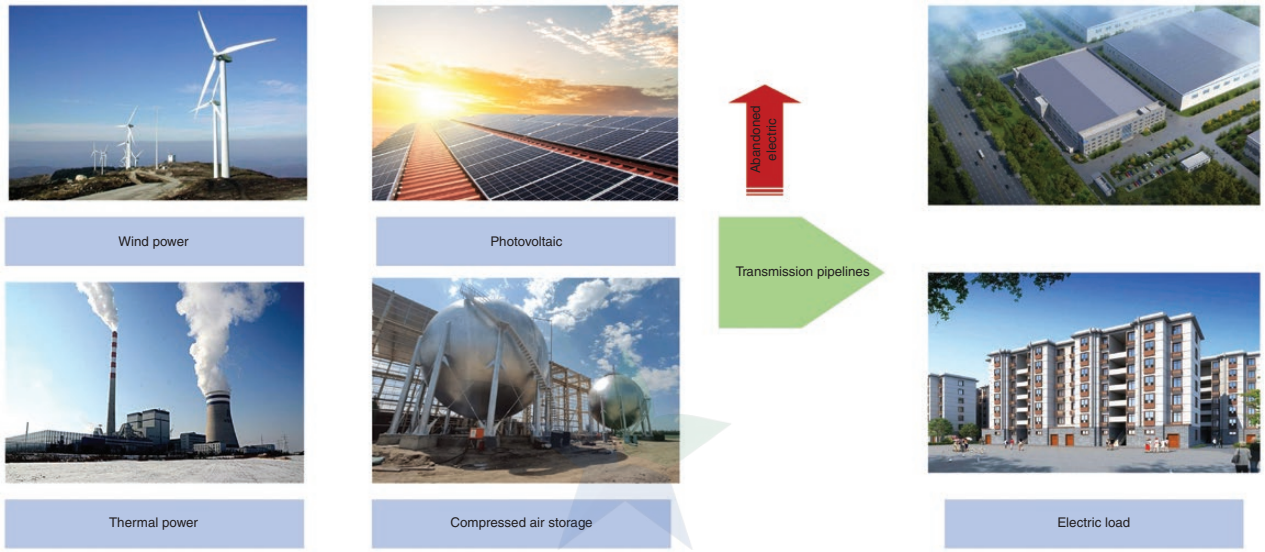


Fig. 1: Composition of energy.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/2/305/6563874 by guest on 24 March 2023

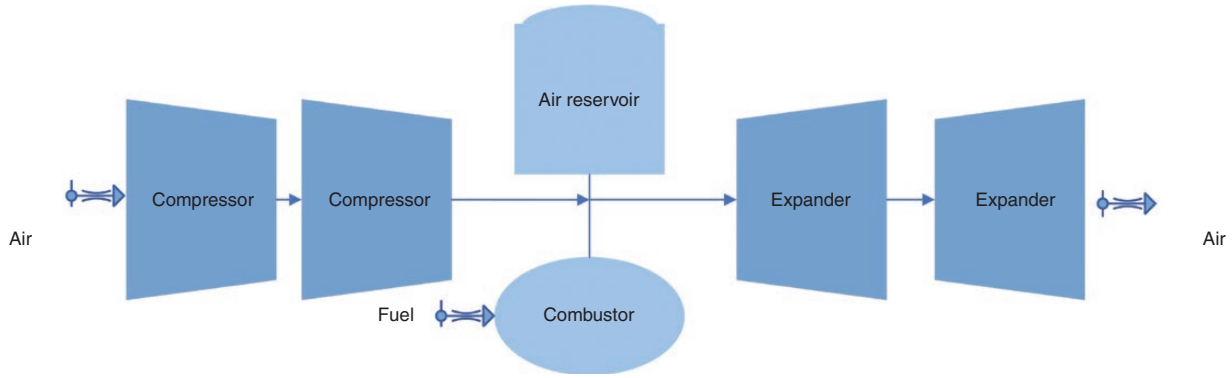


Fig. 2: Compressed-air storage.

Q_r is the installed capacity; c_r is the unit cost capacity; f_{r_r} is the depreciation coefficient of the power plant; and μ_r is the operation and maintenance cost coefficient.

2.2 The constraint

In the process of capacity ratio optimization, there are certain constraints on the output power of a wind power generator set, photovoltaic generator set and thermal power generator set as well as the charge and discharge times and discharge depth of the energy-storage system, so as to ensure the power supply reliability of the power system:

$$p_{wt}(t) + p_{pv}(t) + p_{caes}(t) + p_{ther}(t) = L(t) \tag{9}$$

where $p_{wt}(t)$, $p_{pv}(t)$, $p_{caes}(t)$, $p_{ther}(t)$ and $L(t)$ refer to the output of wind power, photovoltaic, CAES, thermal power and load at time t, respectively.

$$Q_{wtmin} < Q_{wt} < Q_{wtmax} \tag{10}$$

$$Q_{pvmin} < Q_{pv} < Q_{pvmax} \tag{11}$$

$$SOC_{min} < SOC(t) < SOC_{max} \tag{12}$$

$$P_{ther\ min} < P_{ther}(t) < P_{ther\ max} \tag{13}$$

$$\gamma_u \leq \frac{p_{wt}(t) + p_{pv}(t)}{L(t)} \tag{14}$$

Equations (10) and (11) constrain the installed power-generation capacity of wind power and photovoltaic power. Equations (12) and (13) constrain the output of the CAES and thermal power at time t. Equation (14) restrains the minimum output value of renewable energy, where γ_u is the minimum utilization rate of renewable energy.

3 CSO based on Lévy flight improvement

The CSO algorithm simulates the hierarchical structure and foraging behaviour of flocks, including roosters, hens and chicks, and can effectively extract the intelligence of flocks to optimize the problem. The CSO algorithm can solve all kinds of numerical problems in the field of scientific research simply and quickly, and has the advantages of fast convergence speed and high convergence efficiency. The behaviour of chickens can be simplified into three aspects:

(i) There are several groups of chickens. Each group consists of a dominant rooster, several hens and chicks.
(ii) How the flock is divided into groups and the identity of the chickens (roosters, hens and chicks) depend on their own adaptations. The few chickens with the best fitness will be considered roosters and each rooster will be the alpha of the group. The chickens with the worst fitness will be designated as chicks. The others should be hens. The hens were randomly chosen for which group to live in. The mother–child relationship between a hen and her chicks is also randomly established.
(iii) The hierarchy, dominance and mother–child relationship within the group remain unchanged. These states are updated every few (G) time steps. Chickens follow their roosters to find food and they may prevent the roosters from eating their own food. The assumption is that chickens will randomly steal good food that others have already found. The chicks are looking for food around their mother (hen). Dominant individuals have the advantage in food competition.

For a rooster, his position is updated as shown in Equations (15) and (16):

$$X_{i,j}^{t+1} = X_{i,j}^{t} * (1 + Randn(0, \sigma^2)) \tag{15}$$

$$\sigma^2 = \begin{cases} 1, & if\ f_i \leq f_k \\ exp\left(\frac{(f_k - f_i)}{|f_i| + \varepsilon}\right), & otherwise,\ k \in [1, N], k \neq i \end{cases} \tag{16}$$

where $Randn(0,\sigma^2)$ is a Gaussian distribution; ε is a constant; k is randomly selected data that meet $k \in [1, N]$, $k \neq i$; and f is the fitness corresponding to x.

The update mode of the hen's position is shown in Equations (17) and (18):

$$X_{i,j}^{t+1} = X_{i,j}^{t} + S1 * Rand * (X_{r1,j}^{t} - X_{i,j}^{t}) + S2 * Rand * (X_{r2,j}^{t} - X_{i,j}^{t}) \tag{17}$$

$$S1 = exp\left(\frac{(f_i - f_{r1})}{(abs(f_i))} + \varepsilon\right) \tag{18}$$

$$S2 = exp(f_{r2} - f_i) \tag{19}$$

where $Rand$ represents a random number evenly distributed among [0,1]; $r1$ is the label of a rooster randomly selected, as the spouse of the i-th hen; $r2$ is the label of a chicken randomly selected; and $r1 \neq r2$. $f_i > f_{r1}$, $f_i > f_{r2}$, so $S2 > 1 > S1$.

The chick's position is updated as shown in Equation (20):

$$X_{i,j}^{t+1} = X_{i,j}^{t} + FL * \left(X_{m,j}^{t} - X_{i,j}^{t}\right) \tag{20}$$

where $X_{m,j}^{t}$ represents the position of the mother of the i-th chicken; FL is a random parameter; and the FL of each chicken will be random in (0,2) value.

The step-size of the Lévy flight is a random process and the calculation method is shown in Equation (21):

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/2/305/6563874 by guest on 24 March 2023

$$s = \frac{\mu}{|\nu|^{\frac{1}{\beta}}} \tag{21}$$

where $0 < \beta \leq 2$, $\nu : N(0,1), \mu : (0, \sigma_\mu^2)$, the variance σ_μ is described as in Equation (22):

$$\sigma_\mu = \left\{ \frac{\Gamma(1+\beta)\sin(\frac{\pi\beta}{2})}{\Gamma\left[\frac{(1+\beta)}{2}\right] \cdot \beta \cdot 2^{\frac{(\beta-1)}{2}}} \right\}^{\frac{1}{\beta}} \tag{22}$$

The position updates of the hen and the chick are added to the optimal individual for learning, as shown in Equations (23) and (24):

$$\begin{aligned} X_{i,j}^{t+1} = {} & X_{i,j}^{t} + S1 * Rand * (X_{r1,j}^{t} - X_{i,j}^{t}) \\ & + S2 * Rand * (X_{r2,j}^{t} - X_{i,j}^{t}) + s1 * (X_{best,j}^{t} - X_{i,j}^{t}) \end{aligned} \tag{23}$$

$$X_{i,j}^{t+1} = X_{i,j}^{t} + s2 * (X_{m,j}^{t} - X_{i,j}^{t}) + s3 * (X_{best,j}^{t} - X_{i,j}^{t}) \tag{24}$$

where $s1$, $s2$ and $s3$ represent the step-sizes of the Lévy flight.

4 Case

Taking a certain area in north-west China as an example, this area plans to build an integrated energy industrial park, in which the rock cave CAES power station, wind engine power station, photovoltaic power station and thermal power station are configured to meet the daily electricity demand of the industrial park. This paper uses the CSO algorithm to solve the model in MATLAB® software.

Based on data from projects in the region, the system efficiency of CAES is 60% and the unit investment is 8500 yuan/kW. The construction period is set to be 1 year and the operation period is 25 years. The initial unit investment cost of thermal power is 4800 yuan/kW. The operation period is 35 years. The initial unit investment cost of the wind power station is 7150 yuan/kW. The operation period is 25 years. The initial unit investment cost of the photovoltaic power station is 3000 yuan/kW and the operation period is 25 years.

The system parameters involved in this paper are shown in Table 1.

After obtaining the above device parameters, the CSO algorithm was used to solve the problem. The relevant parameters of the CSO are set as follows. The population size is 100 and there are 500 iterations. The proportions of roosters, hens, mother hens and chickens are 0.2, 0.6, 0.5 and 0.2, respectively. The calculation process is shown in Fig. 3.

This paper studies and analyzes the electricity consumption of an integrated energy industrial park in 1 year. The following results can be obtained by calculation.

Table 1: The system parameters

Quantity	Unit	Value
Wind-turbine rated power	kW	2000
Turbine cut-in wind speed	m/s	3
Turbine cut-out wind speed	m/s	25
Turbine rated wind speed	m/s	10.5
The efficiency of the wind turbine	%	95
Photovoltaic panel rated power	kW	1000
Area of solar panels	m^2	6965
PV panel conversion efficiency	%	77
CAES system charge/discharge efficiency	%	65

As shown in Table 2, the installed capacities of wind power, photovoltaic power, CAES and thermal power are 9983, 9566, 7849 and 2563 kW, respectively. According to the calculation, the comprehensive energy multi-energy system studied in this paper needs to install six wind turbines of 2 MW, 13 photovoltaic panels of 1 MW and 13 MW of CAES.

As shown in Table 3, during the 1-year operation, the average power-abandonment rate is 9.326%, the average utilization rate of renewable energy is 73.877% and the total cost is 1 6141 200 yuan.

According to the actual situation of the region where the project is located, the electric load of the region is predicted and the load data can be obtained as shown in Fig. 4.

Fig. 5 shows the renewable-energy output diagram of the integrated energy industrial park within a year. It can be seen from the data in the figure that the utilization rate of renewable energy is improved in the capacity allocation optimization proposed in this paper.

Fig. 6 shows the distribution of abandoned electricity in the comprehensive energy industrial zone within a year. It can be seen from the figure that the quantity of abandoned electricity within a year is not stable because the utilization rate of renewable energy is improved, so the stability of the power system is worse than that of the period dominated by thermal power. However, the average power-abandonment rate for a year was 9.326%, i.e. lower than 10%, which is considered acceptable.

By the end of 2020, the electricity consumption of the whole society in north-west China was 789.5 billion kWh, the maximum power load was 115 000 MW and the total installed capacity was 337 577 MW. The proportion of energy types is shown in Fig. 7, where HEP stands for hydro electric power.

As can be seen from Fig. 7, the installed renewable energy in north-west China's power grid accounts for <50% of the total. In practice, the share of output from renewables is even lower. The optimized allocation model proposed in this paper improves the proportion of installed capacity of renewable energy. Meanwhile, through case analysis, it can be seen that the output of renewable energy also exceeds 50%, which significantly improves the utilization rate of renewable energy compared with the current situation in north-west China.

5 Conclusion

CAES technology has a forward-looking strategic significance in the context of the grid connection of high proportion of intermittent renewable energy generation. Under the background of the 'dual carbon' target and the increasing proportion of renewable energy, an energy-storage system with compressed air and a coupling system with renewable energy have a promising future. CAES is safer and more environmentally friendly than older types of energy storage, and is more suitable for the current 'dual carbon' goal. In the study of this paper, the average power-abandonment rate of the integrated energy industrial park within a year is <10%, while the average utilization rate of renewable energy is >70%, which greatly reduces the use of thermal power in the case of the CAES system. From the aspect of model construction, the capacity allocation optimization model is constructed with the goal of minimizing cost, which ensures the economy and security of the system.

Conflict of interest statement

None declared.

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/2/305/6563874 by guest on 24 March 2023

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

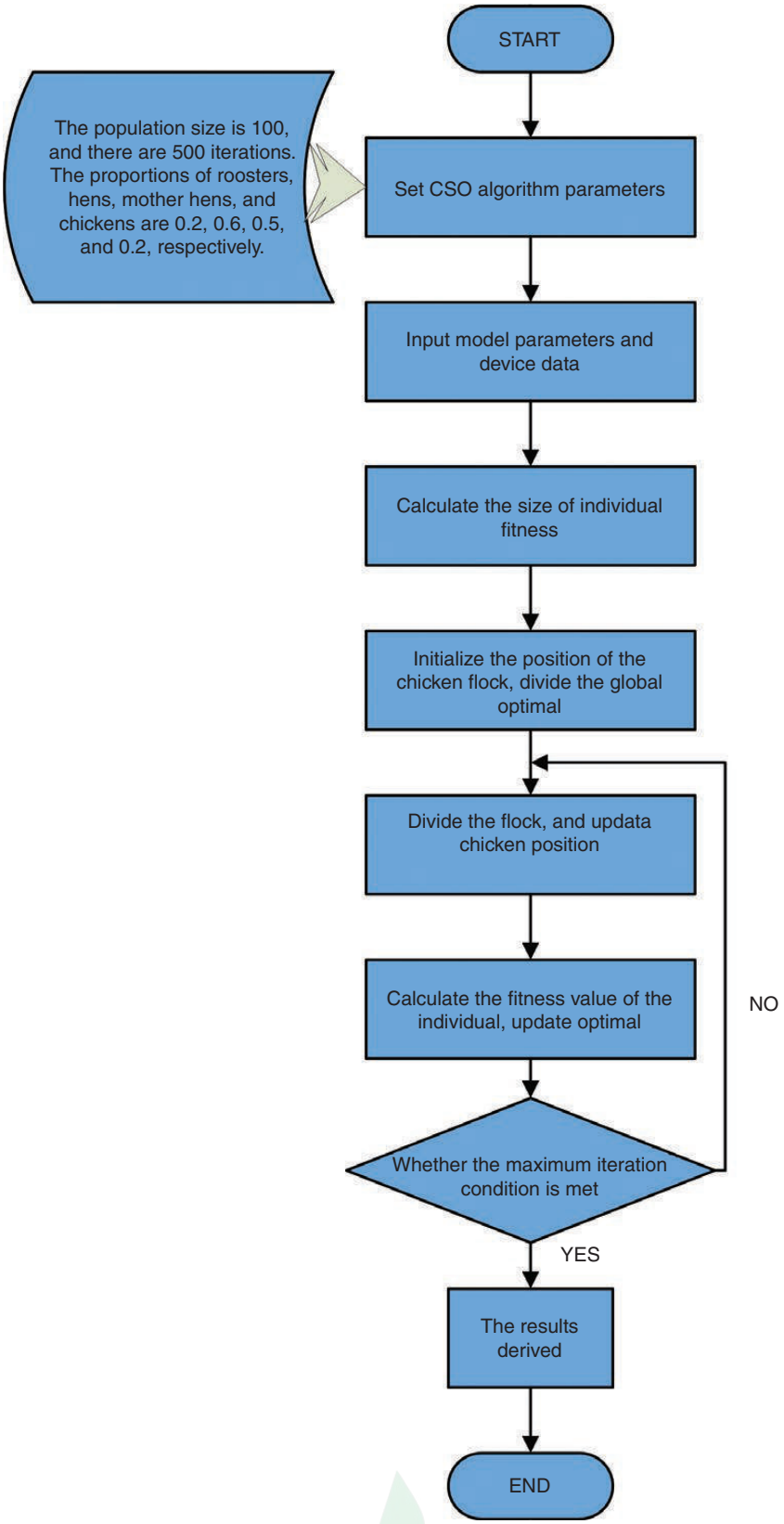


Fig. 3: CSO algorithm flow chart.

Table 2: Installed capacity data

Installed capacity	Wind power	Photovoltaic power	Compressed-air energy storage	Thermal power
Data (kW)	9983	9566	7849	2563

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/2/305/6563874 by guest on 24 March 2023

Table 3. Analysis result

Index	Abandoned electric rate	Renewable-energy efficiency	Total cost
Data	9.326%	73.877%	1 6141 200 yuan

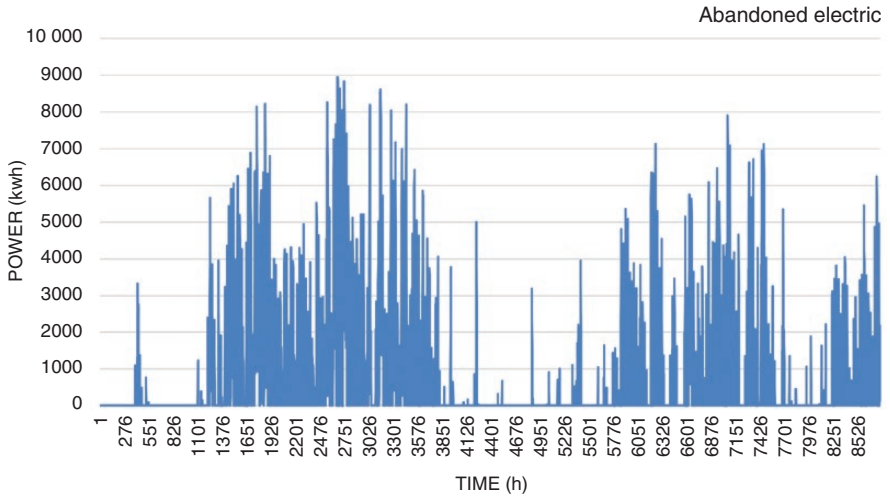


Fig. 4: Electric load.

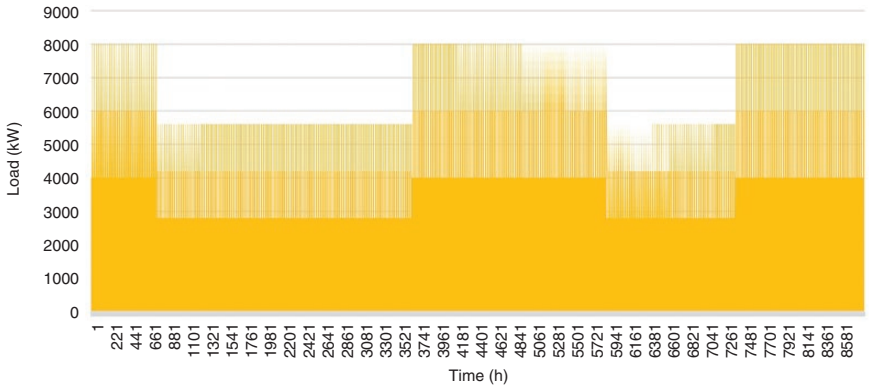


Fig. 5: Wind power–photovoltaic output.

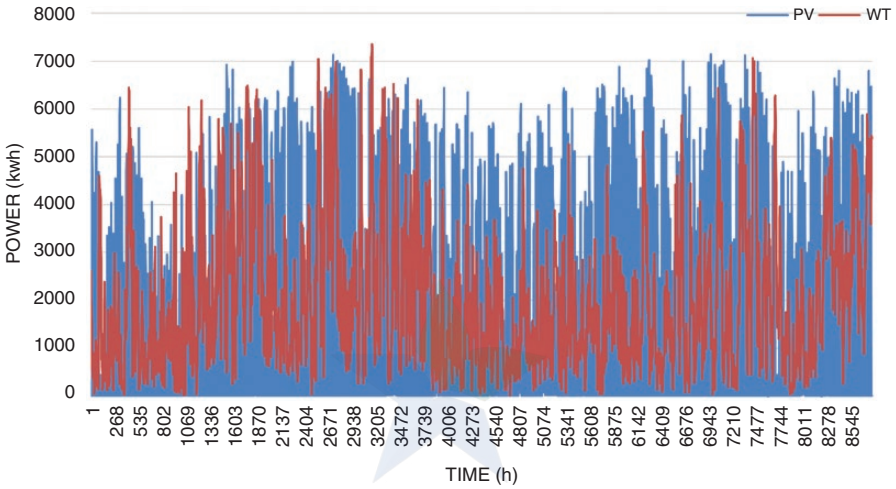


Fig. 6: Electric power abandoned.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/2/305/6563874 by guest on 24 March 2023

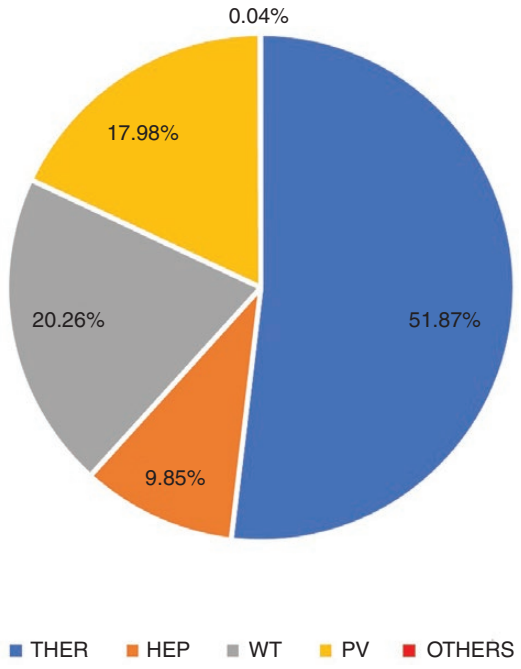


Fig. 7: Proportion chart of energy types in the north-west power grid of China.

References

[1] Zhu B, Jiang M, Wang K, *et al*. On the road to China's 2020 carbon intensity target from the perspective of 'double control'. *Energy Policy*, 2018, 119:377–387.

[2] Zhao X, Ma X, Chen B, *et al*. Challenges toward carbon neutrality in China: strategies and countermeasures. *Resources, Conservation and Recycling*, 2022, 176:105959.

[3] Zhang S, Chen W. China's energy transition pathway in a carbon neutral vision. *Engineering*, 2021, 10:27.

[4] Kim MJ, Kim TS. Integration of compressed air energy storage and gas turbine to improve the ramp rate. *Applied Energy*, 2019, 247:363–373.

[5] Bhattarai S, Karki R, Piya P. Reliability and economic assessment of compressed air energy storage in transmission constrained wind integrated power system. *Journal of Energy Storage*, 2019, 25:100830.

[6] Alsagri AS, Arabkoohsar A, Rahbari HR, *et al*. Partial load operation analysis of trigeneration subcooled compressed air energy storage system. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 238:117948.

[7] Jiang R, Qin FG, Chen B, *et al*. Thermodynamic performance analysis, assessment and comparison of an advanced trigenerative compressed air energy storage system under different operation strategies. *Energy*, 2019, 186:115862.

[8] Ma X, Zhang C, Li K. Hybrid modeling and efficiency analysis of the scroll compressor used in micro compressed air energy storage system. *Applied Thermal Engineering*, 2019, 161:114139.

[9] Mozayeni H, Wang X, Negnevitsky M. Thermodynamic and exergy analysis of a combined pumped hydro and compressed air energy storage system. *Sustainable Cities and Society*, 2019, 48:101527.

[10] Luo X, Wang J, Dooner M, *et al*. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy*, 2015, 137:511–536.

[11] Swider D. Compressed air energy storage in an electricity system with significant wind power generation. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2007, 22:95–102.

[12] Nakhamkin M, Chiruvolu M, Daniel C. Available compressed air energy storage (CAES) plant concepts. *Energy*, 2010, 4100:81–89.

[13] Huang K, Quang K, Tseng K. Study of recycling exhaust gas energy of hybrid pneumatic power system with CFD. *Energy Conversion & Management*, 2009, 50:1271–1278.

[14] Creutzig F, Papson A, Schipper L. Economic and environmental evaluation of compressed-air cars. *Environmental Research Letters*, 2009, 4:44011–44019.

[15] Ibrahim H, Younes R, Ilingca A. Study and design of a hybrid wind-diesel-compressed air energy storage system for remote areas. *Applied Energy*, 2010, 87:1749–1762.

[16] Barbour E, Wilson I, Radcliffe J. A review of pumped hydro energy storage development in significant international electricity markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 61:421–432.

[17] Liu J, Wang J. A comparative research of two adiabatic compressed air energy storage systems. *Energy Conversion and Management*, 2016, 108:566–578.

[18] Mazloum Y, Sayah H, Nemer M. Dynamic modeling and simulation of an isobaric adiabatic compressed air energy storage (LA-CAES) system. *Journal of Energy Storage*, 2017, 11:178–190.

[19] Sciacovelli A, Li Y, Chen H. Dynamic simulation of adiabatic compressed air energy storage (A-CAES) plant with integrated thermal storage link between components performance and plant performance. *Applied Energy*, 2017, 185:16–28.

[20] Chen L, Hu P, Zhao P. A novel throttling strategy for adiabatic compressed air energy storage system based on an ejector. *Energy Conversion and Management*, 2018, 158:50–59.

[21] Tola V, Meloni V, Spadaccini F. Performance assessment of adiabatic compressed air energy storage (A-CAES) power plants integrated with packed-bed thermocline storage systems. *Energy Conversion and Management*, 2017, 151:343–356.

[22] Jiang Q, Hong H. Wavelet-based capacity configuration and coordinated control of hybrid energy storage system for smoothing out wind power fluctuations. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2013, 28:1363–1372.

[23] Baillo A, Ventosa M, Rivier M. Optimal offering strategies for generation companies operating in electricity spot markets. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2004, 19:745–753.

[24] González A, Riba JR, Rius A. Optimal sizing of a hybrid grid-connected photovoltaic–wind–biomass power system. *Sustainability*, 2015, 7:12787–12806.

[25] Wang Y, Ai X, Tan Z, *et al*. Interactive dispatch modes and bidding strategy of multiple virtual power plants based on demand response and game theory. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2016, 7:510–519.

[26] Zhou B, Geng G, Jiang Q. Hydro-thermal-wind coordination in day-ahead unit commitment. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2016, 31:4626–4637.

[27] Gao J, Gao F, Ma Z, *et al*. Multi-objective optimization of smart community integrated energy considering the utility of decision makers based on the Lévy flight improved chicken swarm algorithm. *Sustainable Cities and Society*, 2021, 72:103075.

[28] Liang J, Li G, Wang J. Double-objective heat and power dispatch based on lexicographic optimization method and -constraint technique. *Thermal Power Generation*, 2017, 10:81–87 (in Chinese).

[29] Li L, Mu H, Li N, *et al*. Economic and environmental optimization for distributed energy resource systems coupled with district energy networks. *Energy*, 2016, 15:947–960.

[30] Amirhosseini B, Hosseini SH. Scheduling charging of hybrid-electric vehicles according to supply and demand based on particle swarm optimization, imperialist competitive and teaching-learning algorithms. *Sustainable Cities and Society*, 2018, 43:339–349.

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/2/305/6563874 by guest on 24 March 2023

processes

MDPI

Article

Bibliometric Analysis of the Use of Biodiesel Production from Essential Oils as Biofuels

Mehmet Ali Biberci

Department of Mechanical Engineering, University of Cankiri Karatekin, 18000 Cankiri, Turkey; m.alibiberci@karatekin.edu.tr

Abstract: Second-generation biodiesel, which is produced from essential oil plants, has important advantages, including a high yield of biofuels and the potential to reduce greenhouse gas emissions. The goal of this research was to examine the profile of original and review articles on biodiesel production from essential oils using bibliometric analysis. The search strategy identified 186 relevant and available peer-reviewed publications from 1981 to 2023, which were downloaded from the Web of Science (WoS) database. The retrieved documents were analyzed using VOSviewer. China was the predominant country publishing those documents, followed by the United States, India, Australia, and France. The keyword cluster analysis indicated the presence of 10 main research topics: diesel, fuel, and engine performance; extraction of lipids from microalgae; biofuel production from essential oils; green chemistry; the pyrolysis process; bioethanol production from renewable raw materials; obtaining biodiesel from essential oils; essential oil extraction; obtaining biofuels; and supercritical fluid extraction for fuels. The top three authors were Rahman, S. M. A., Cantrell, C. L., and Zheljazkov, V.D. The results showed that study topics such as different biodiesel raw material sources, biodiesel conversion technology, and the performance and emission characteristics of second-generation biodiesel are gaining popularity, with the goal to achieve a sustainable and clean environment.

Keywords: bibliometric analysis; biofuel and biodiesel; emission characteristics; engine performance; essential oil biodiesel; clean and renewable energy; sustainability; environmentally friendly; second-generation biodiesel

check for updates

Citation: Biberci, M.A. Bibliometric Analysis of the Use of Biodiesel Production from Essential Oils as Biofuels. *Processes* **2023**, *11*, 974. https://doi.org/10.3390/pr11040974

Academic Editor: Jiaqiang E

Received: 2 March 2023
Revised: 9 March 2023
Accepted: 20 March 2023
Published: 23 March 2023

Copyright: © 2023 by the author. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Essential oils are concentrated plant extracts containing the aromatic compounds of the plant from which they are derived [1–3]. Essential oils are typically extracted from the flowers, leaves, stems, and roots of plants [4–6]. The extraction process involves steaming or pressing the plant matter to release the essential oil [7–10]. Essential oils can be obtained from plants such as lavender, mint, thyme, sage, and eucalyptus, which are popular medicinal plants [11–13]. These oils are used both in aromatherapy applications [1,14] and in the fight against disease-causing agents in plants [5,15–17]. In addition, biodiesel can be obtained from essential oils [18,19]. Biodiesel can be obtained using biotechnological methods [20,21], the transesterification method, and from solid wastes left after obtaining essential oil from plants [22] via the pyrolysis method.

Biodiesel is a promising alternative to conventional diesel fuel that has the potential to reduce emissions and dependence on fossil fuels [23]. Biodiesel produced from materials such as household food waste, poultry farming waste, and waste tires are classified as first-generation biodiesel fuels [24]. A first-generation biodiesel can achieve good results, as can a second-generation biodiesel [25]. However, the biodiesel production process from first-generation sources is more laborious and complex than that from second-generation sources [26]. The large amount of biomass waste remaining after essential oil production represents an important biodiesel production source [27]. Hence, it has gained increasing

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

attention. Essential oil is derived from plants and has properties that make it a promising feedstock for producing biodiesel [28,29]. It is used to operate diesel engines in vehicles by mixing biodiesel obtained from essential oils with diesel fuel [30,31]. A large portion of carbon monoxide emissions originate from vehicle emissions using fossil fuels [32,33], while a more environmentally friendly, renewable, and cleaner fuel is obtained with the fuel mixture created by adding biodiesel obtained from essential oils to diesel oil [34]. Thus, pollutant emissions released to the environment as a result of fuel combustion are reduced [35,36]. Reducing pollutant emissions also has a positive effect in negating global warming [37–39]. In recent years, there has been increasing interest in the performance and emission characteristics of diesel engines operated by biodiesel produced from essential oil [40,41]. Bibliometric analysis, which employs mathematical, statistical, and other measurement techniques, is useful for revealing the academic strength of a research finding and the possibility of citation/co-citation models [42]. Bibliometric analysis aims to provide a comprehensive overview of the research trends and developments in a field [43–46]. In this study, the goal of bibliometric analysis was to review the literature on the use of essential oils and volatile plant oils as biofuels for compression ignition engines and provide a comprehensive summary of the research in this area as it stands today.

The main objectives of this bibliometric analysis [42,47] were as follows:

1. To perform a thorough analysis of the literature regarding the use of biodiesel production from essential oils to power compression ignition engines.
2. To analyze the research trends and publishing patterns in the field, including the number of publications, authors, countries, and journals.
3. To identify the key topics and research gaps in the field and make suggestions for future investigations.

2. Materials and Methods

2.1. Data Collection

Clarivate Analytics Web of Science (WoS) is a comprehensive academic database that provides access to high-quality research from various scientific fields, including the natural sciences, social sciences, engineering, and humanities [48,49]. The database is widely used by researchers, scholars, and students to find and cite relevant research articles, conference proceedings, and other scholarly materials [50]. One of the notable features of Web of Science is its citation index, which tracks the number of times an article has been cited by other publications. This allows researchers to identify the most influential and impactful research in a particular field and track the progression of ideas over time. In addition, Web of Science includes a variety of search tools and filters to help users find the most relevant and up-to-date research [48,51]. Users can search by keyword, author, publication, or citation and narrow their results by date range, subject area, and other criteria [52,53]. The WoS Core Collection database (1981–present) (last data download 4 February 2023) was utilized to find research publications on the topic of essential oils. Accordingly, 48,537 documents were found that contain the words “essential oil” OR “volatile oil”. To narrow down the findings, the search was restricted to publications with the following keyword query:

Topic: (“biodiesel fuel” OR “engine emission” OR “diesel fuel” OR “pyrolysis” OR “biodiesel” OR “biofuel” OR “diesel”)

Then, 186 articles from the WoS Core Collection were examined, and the findings were further filtered by document type (article or review). There were no language restrictions. Total records and cited references from the analyzed papers were downloaded and imported into VOSviewer (version 1.6.18, 2022, Leiden University, Leiden, The Netherlands) for further citation analysis [54].

2.2. Bibliometric Analysis and Clustering

WoS data were visualized (network and overlay) using the software VOSviewer to determine co-occurrence and clusters of related articles, country, organization, and author

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

collaboration (co-authorship), as well as clusters of interrelated research topics (text data). VOSviewer was utilized to illustrate the international collaboration among the authors, organizations, and nations, as well as trends in research across all keywords [55]. Items are displayed in the figures of this paper by a label and a circle. The weight (relative importance) of an item is indicated by the size of the circle. According to the program's calculations, the colors in the chain representation reflected arrays of related components. The strength of the relationships was represented by the distance between the items [56].

3. Results and Discussion

3.1. Time Trend Analysis, Publication Type, and Language

Increasing population growth, industrialization, and welfare have resulted in an increase in the use of fossil fuels, which has led to an increase in greenhouse gas emissions and climate change. Its adverse effects have been linked to increased floods, droughts, forest fires, and glacier melting, among other natural disasters. At the Paris Climate Conference (2015), which was held during the Conference of the Parties (COP21), an agreement was signed to limit global warming to below 2 °C. Achieving this objective will necessitate severe emission reductions to stabilize the concentration of greenhouse gases in the atmosphere. The substitution of fossil fuels with biofuels derived from plant biomass has the potential to drastically decrease emissions of greenhouse gases [57–60]. For that purpose, biofuels are receiving increasing research attention. In this study, five document types were discovered, under which there were 186 publications researching crops containing essential oils in the production of biodiesel, which is an important biofuel type. The types of documents and languages of the publications are shown in Table 1.

Table 1. Document types and languages of the publications on Web of Science concerning biodiesel production from essential oil.

Rank	Document Type	Records	% of 186	Language	Records	% of 186
1	Article	164	88.172	English	184	98.925
2	Review Article	22	11.828	Chinese	1	0.538
3	Book Chapters	7	3.763	Turkish	1	0.538
4	Early Access	5	2.688			
5	Proceeding Paper	3	1.613			

Among these document types, the most common were 164 articles (88.17%) and 22 reviews (11.83%), followed by 7 book chapters (3.76%), 5 early-access articles (2.69%), and 3 proceedings articles (0.89%). The majority of the documentation is written in English (98.93%), with small amounts in Chinese and Turkish (1.08%). Figure 1 illustrates the increase in the quantity of publications and citations related to the topic. Since the data were retrieved on 4 February, it is not surprising that there are few publications and citations in 2023.

3.2. Categories and Research Areas of Web of Science

In the science edition of WoS, there are sixteen subject categories and sixteen research areas pertaining to the influence of biodiesel production from essential oil (Table 2). The first eight WoS categories are Energy Fuels (33; 17.742%), Chemical Engineering (27; 14.516%), Food Science Technology (21; 11.290%), Analytical Chemistry (20; 10.753%), Environmental Sciences (20; 10.753%), Multidisciplinary Chemistry (19; 10.215%), Applied Chemistry (14; 7.527%), and Agronomy (11; 5.914%). The first eight research areas are Chemistry (60; 32.258%), Engineering (42; 22.581%), Energy Fuels (33; 17.742%), Environmental Sciences/Ecology (24; 12.903%), Food Science Technology (21; 11.290%), Agriculture (18; 9.677%), Biochemistry/Molecular Biology (18; 9.677%), and Science Technology Other Topics (16; 8.602%). The WoS allows for the classification of journals and publications into two or more categories, demonstrating the multidisciplinary character of this subject

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

area [61,62]. The WoS also maps publications to WoS classes, which are more specialized than fields [63,64].

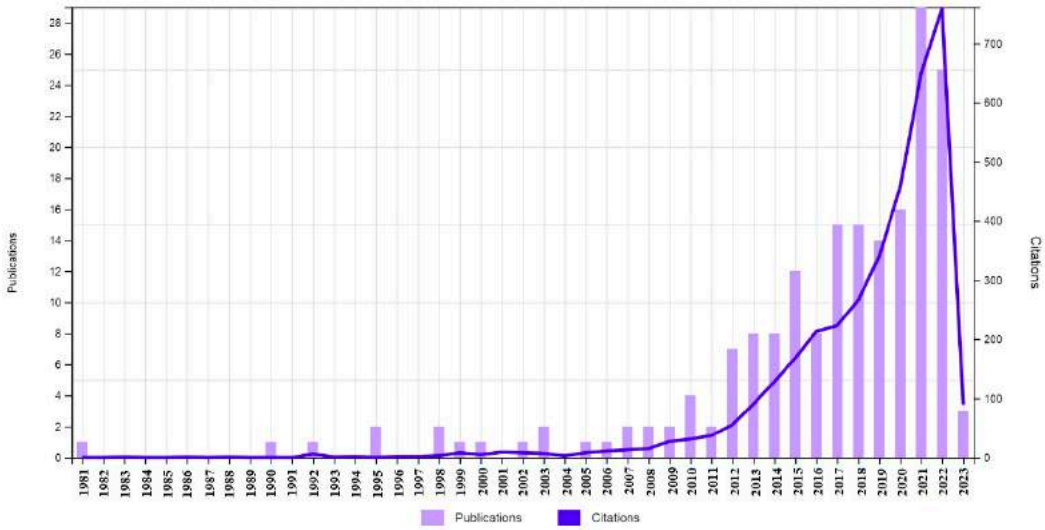


Figure 1. Annual growth of publications and their total citations per year on biodiesel production from essential oil (1981–2023).

Table 2. Web of Science (WoS) categories and research areas concerning biodiesel production from essential oil.

Rank	WoS Categories	TP	Ratio (%)	Research Areas	TP	Ratio (%)
1	Energy Fuels	33	17.742	Chemistry	60	32.258
2	Chemical Engineering	27	14.516	Engineering	42	22.581
3	Food Science Technology	21	11.290	Energy Fuels	33	17.742
4	Analytical Chemistry	20	10.753	Environmental Sciences/Ecology	24	12.903
5	Environmental Sciences	20	10.753	Food Science Technology	21	11.290
6	Multidisciplinary Chemistry	19	10.215	Agriculture	18	9.677
7	Applied Chemistry	14	7.527	Biochemistry Molecular/Biology	18	9.677
8	Agronomy	11	5.914	Science Technology/Other T opics	16	8.602
9	Biochemistry/Molecular Biology	11	5.914	Plant Sciences	11	5.914
10	Environmental Engineering	11	5.914	Materials Science	10	5.376
11	Plant Sciences	11	5.914	Biotechnology/Applied Microbiology	9	4.839
12	Green Sustainable Science Technology	10	5.376	Thermodynamics	8	4.301
13	Agricultural Engineering	9	4.839	Polymer Science	6	3.226
14	Biotechnology/Applied Microbiology	9	4.839	Geology	5	2.688
15	Physical Chemistry	9	4.839	Integrative Complementary Medicine	3	1.613
16	Thermodynamics	8	4.301	Spectroscopy	3	1.613

Ratio refers to the percentage out of 186. TP = total publications.

3.3. Core Journals

According to JCR 2021 data (released in 2022), research on the influence of biodiesel production from essential oil is featured in 25 journals across all categories of WoS. The leading 20 base journals are listed in Table 3. The leading 5, leading 10, leading 15, leading

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

20, and leading 25 journals published 13.97%, 21.50%, 26.88%, 32.25%, and 37.09% of the articles, respectively. The most effective journal was *Industrial Crops and Products* with eight articles (4.301%), followed by *Fuel* (7%; 3.763%), *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (4%; 2.151%), *Journal of Chromatography A* (4%; 2.151), and *Energy Fuels* (3%; 1.613%). Each of these journals published more than three articles. There were 11 journals from Q1 (quartile), 10 journals from Q2, 3 journals from Q3, and 1 journal from Q4 among the top 25 journals (Table 3). It is crucial that the publications appear in a journal with a high impact factor (IF). Citation analysis is not a measure of scientific excellence, but a reflection of its importance [65–67].

Table 3. The top 25 journals on Web of Science for research on biodiesel production from essential oil.

Rank	Journal	TP	Ratio	IF 2021	IF 5-yr	QC
1	*Industrial Crops and Products*	8	4.301	6.449	6.508	Q1
2	*Fuel*	7	3.763	8.035	7.621	Q1
3	*Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*	4	2.151	6.437	5.914	Q1
4	*Journal of Chromatography A*	4	2.151	4.601	4.313	Q1
5	*Energy Fuels*	3	1.613	4.654	4.582	Q2
6	*Journal of Cleaner Production*	3	1.613	11.072	11.016	Q1
7	*Journal of The American Oil Chemists Society*	3	1.613	1.952	2.346	Q3
8	*Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*	3	1.613	4.755	3.641	Q1
9	*Molecules*	3	1.613	4.927	5.110	Q2
10	*ACS Omega*	2	1.075	4.132	4.197	Q2
11	*Algal Research Biomass Biofuels and Bioproducts*	2	1.075	5.276	5.813	Q2
12	*Energies*	2	1.075	3.252	3.333	Q3
13	*Food Chemistry*	2	1.075	9.231	8.795	Q1
14	*Journal of Agricultural and Food Chemistry*	2	1.075	5.895	6.048	Q1
15	*Journal of Applied Polymer Science*	2	1.075	3.057	2.813	Q2
16	*Journal of Essential Oil Research*	2	1.075	2.532	2.450	Q2
17	*Journal of Hazardous Materials*	2	1.075	14.224	12.984	Q1
18	*Marine and Petroleum Geology*	2	1.075	5.361	5.476	Q1
19	*Organic Geochemistry*	2	1.075	3.623	4.402	Q2
20	*PLoS ONE*	2	1.075	3.752	4.069	Q2
21	*Polymer Degradation and Stability*	2	1.075	5.204	5.147	Q1
22	*Rapid Communications in Mass Spectrometry*	2	1.075	2.586	2.538	Q3
23	*Russian Journal of Bioorganic Chemistry*	2	1.075	1.254	1.063	Q4
24	*Sustainable Chemistry and Pharmacy*	2	1.075	5.464	5.599	Q2
25	*AAPG Bulletin*	1	0.538	3.863	4.470	Q2

Ratio refers to the percentage out of 186. IF = impact factor; QC = quartile in the category; TP = total publications. Data are from the 2021 edition of *Journal Citation Reports*.

3.4. Author Co-Authorship Analysis

Internationally collaborative articles were accompanied by interinstitutional collaborative publications, single-country articles, and single-author articles, which had the maximum visibility and scholarly impact on average [68,69]. According to the publication data, 932 authors produced the 186 works. There were 932 authors who had at least one publication. Nevertheless, just 35 authors were interconnected. Figure 2 displays the WoS authorship network for the study of the effects of essential oils on biodiesel production. The circle sizes show the number of records. Authors who belong to the same cluster have studied the same subject and collaborated closely.

Table 4 includes information on citations, average citations, organizations, and nations for the authors of studies between 1981 and 2023 addressing the impact of adding essential oils to biodiesel production. The leading 20 writers who have produced more than nine articles are included in Table 4, along with their total citations, average citations, organizations, and countries. After correcting for different spellings of author names, the leading five authors were Rahman, S. M. A., Cantrell, C. L., Zheljazkov, V.D., Astatkie, T., and Brown, R. J.; each published more than 2 articles. The top nine authors with the most citations per article were Rahman, S. M. A., Dowell, A., Davin, Laurence B., Cantrell, C. L.,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Zheljazkov, V. D., Kaloustian, J., Brown, R. J., Nabi, Md. N., Ristovski, Z. D., Islam, M. A. Their average citation per article was over 53.22. Among the top 20 authors, there were six from Australia, four from the United States, four from Hungary, three from Spain, and one each from Canada, Denmark, and France.

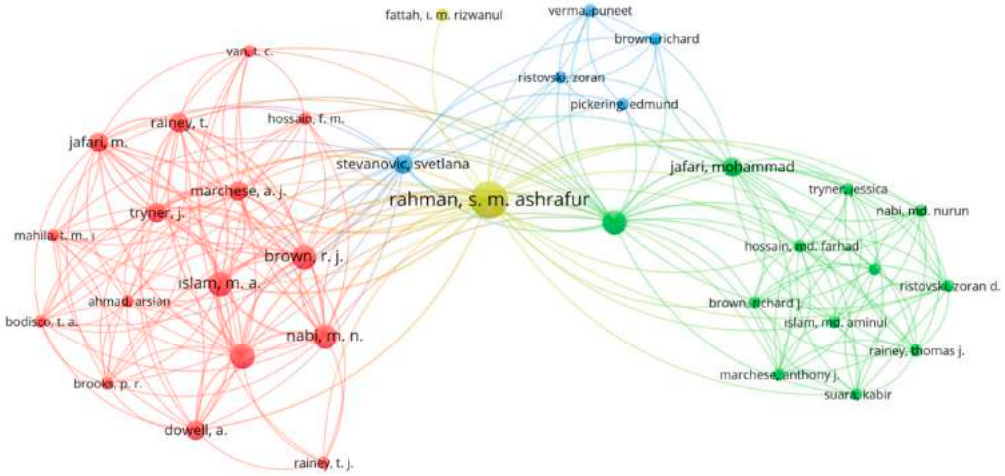


Figure 2. Web of Science network visualization map of authors of studies on biodiesel production from essential oil.

Table 4. Top 20 most prolific authors who published articles in the field of biodiesel production from essential oil on Web of Science.

Rank	Author	Articles	Citations	Organization	Country
1	Rahman, S. M. Ashrafur	6	91	Queensland University of Technology	Australia
2	Cantrell, Charles L.	5	47	Mississippi State University	United States
3	Zheljazkov, Valtcho D.	5	47	Oregon State University	United States
4	Astatkie, Tessema	3	19	Dalhousie University	Canada
5	Brown, Richard J.	3	37	Queensland University of Technology	Australia
6	Dowell, Ashley	3	82	Southern Cross University	Australia
7	Kaloustian, Jacques	3	47	UDICE-French Research Universities	France
8	Nabi, Md. Nurun	3	37	Central Queensland University	Australia
9	Ristovski, Zoran (Ristovski, Z. D.)	3	37	Queensland University of Technology	Australia
10	Islam, Aminul (Islam, M. A.)	3	37	Technical University of Denmark	Denmark
11	Aucejo, Susana (Aucejo, S.)	2	13	ITENE Research Center	Spain
12	Babinszki, Bence (Babinszki, B.)	2	21	Hungarian Academy of Sciences	Hungary
13	Barta-Rajnai, Eszter (Barta-Rajnai, E.)	2	21	Hungarian Research Centre for Natural Sciences	Hungary
14	Saldaña, Jose Maria Bermudez (Bermudez, J. M.)	2	13	ITENE Research Center	Spain
15	Blazso, Marianne (Blazso, M.)	2	21	Hungarian Research Centre for Natural Sciences	Hungary
16	Burkhardt, Andy (Burkhardt, Andy)	2	28	Montana State University	United States
17	Camean, Ana Maria (Camean, A. M.)	2	13	University of Sevilla	Spain
18	Czegeny, Zs.	2	21	Hungarian Academy of Sciences	Hungary
19	Davin, Laurence B.	2	54	Washington State University	United States
20	Dowell, Averie (Dowell, A.)	2	9	Southern Cross University	Australia

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

3.5. Country/Region Co-Authorship Analysis

There were 54 countries or areas that contributed to this study's 186 papers. The top 14 nations or locations where more than two articles originated are listed in Table 5. The top five article-producing nations were China, the United States, India, Australia, and France. China, France, Malaysia, Canada, and the United States produced the most citations per paper. An international country co-authorship network map was developed using VOSviewer software. The threshold has been set to 1. A total of 53 nations/regions fulfilled the criteria, and 38 nations /regions were interlinked (Figure 3).

Table 5. Top 14 countries/regions publishing articles on Web of Science in the field of biodiesel production from essential oil.

Rank	Country/Region	Records	Cluster	Total Link Strength	Citations
1	China	27	4	5	485
2	United States	23	10	23	332
3	India	23	5	6	258
4	Australia	15	8	17	243
5	France	10	3	4	419
6	Canada	8	5	7	358
7	Egypt	7	5	7	107
8	Malaysia	7	2	2	408
9	Saudi Arabia	5	5	9	38
10	Taiwan	4	1	1	69
11	Greece	3	1	1	75
12	Pakistan	3	3	3	5
13	Republic of Korea	3	5	6	24
14	Austria	2	8	0	34

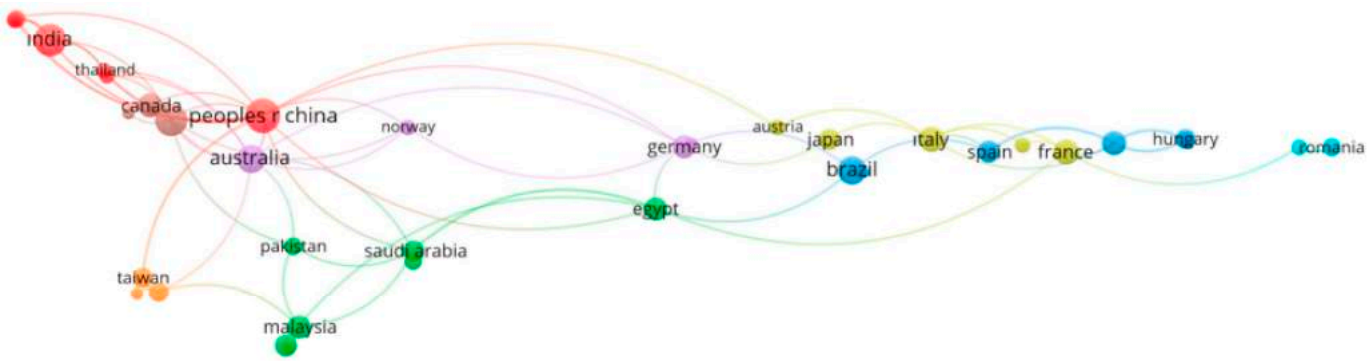


Figure 3. The country co-authorship network of research on biodiesel production from essential oil with 38 nodes and 8 clusters.

The VOSviewer software classified these 38 countries into eight distinct color groupings. The size of a circle symbolizes each record, while the range between nations reflects the power of their relationships. The different color ranges and groups were established in accordance with the countries. India, the United States, China, Germany, Australia, and Brazil had the six largest circles (Figure 3). The initial cluster included seven countries and regions (red color): Bangladesh, India, Mexico, China, Republic of Korea, Thailand, and Vietnam. The second cluster included seven countries/regions (green): Egypt, Greece, Iran, Malaysia, Nigeria, Pakistan, and Saudi Arabia. The third cluster included six countries (blue): Brazil, England, Hungary, Scotland, Spain, and Venezuela. The fourth cluster consisted of five countries and regions (yellow): Austria, Czech Republic, France, Italy, and Japan. The fifth cluster consisted of four countries (violet): Australia, Germany, Israel, and Norway. The sixth cluster consisted of three countries (light blue): Belgium, Estonia, and Romania. The seventh cluster consisted of three countries (orange): Indonesia, Netherlands,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

and Taiwan. The eighth cluster consisted of three countries (brown): Canada, Sweden, and the United States. China demonstrated increased studies and collaboration in the field of biodiesel production from essential oil. It appears that increasing cooperation results in more sophisticated scientific research output. Hence, geographic location is a significant aspect that influences international cooperation. The increasing number of international exchanges has facilitated scholarly contacts [70–72].

3.6. Organization Co-Authorship Analysis

According to the publication data, 365 organizations produced a total of 186 works. The examination of organization co-authorship indicated the level of communication across institutions as well as the prominent institutions in this field [73–75]. The 365 organizations satisfied the lowest threshold of one; however, 22 organizations were linked to one another (Figure 4). The VOSviewer program color-coded those 22 institutions into four distinct clusters. Localization plays a big role in how partnerships and joint ventures are formed [76,77].

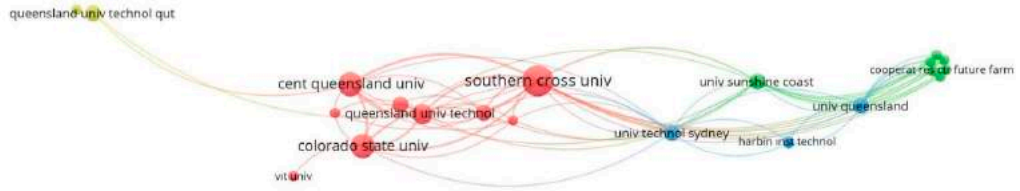


Figure 4. The organization co-authorship network of Web of Science research on biodiesel production from essential oil.

3.7. Co-Occurrence Analysis for All Keywords

There were only 75 keywords out of the 846 in total that met the threshold more than twice. The largest collection of linked items, which included 69 items in total, was divided into 10 major clusters (Figure 5).

The first cluster (red) highlighted diesel, fuel, and engine performance. It consisted of 11 keywords: fuel, fuel properties, diesel, emissions, combustion, combustion characteristics, compression ignition engine, engine performance, terpenoids, and particulate matter.

The second cluster (green) focused on solvents such as limonene, which are used to extract lipids from microalgae. The keywords were ranked as follows: microalgae, limonene, menthol, terpenes, carvacrol, viscosity, activation energy, kinetics, thermal analysis, and response surface methodology.

The third cluster (blue) focused on biofuel production from essential oils. It included keywords such as biofuels, bioproducts, biorefinery, bioactive compounds, crude glycerol, analytical pyrolysis, mass spectrometry, and sustainability.

The fourth cluster (yellow) focused on green chemistry. The keywords included green chemistry, cellulose, holocellulose, lignin, wood, drying, chemical analysis, and ionic liquids.

The fifth cluster (violet) focused on the pyrolysis process and the anti-inflammatory, antioxidant, and antimicrobial activities of pyroligneous acid from *Rosmarinus officinalis*. It included keywords such as pyrolysis, anti-inflammatory, antioxidant activity, antimicrobial activity, GC-MS, pyroligneous acid, and *Rosmarinus officinalis*.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

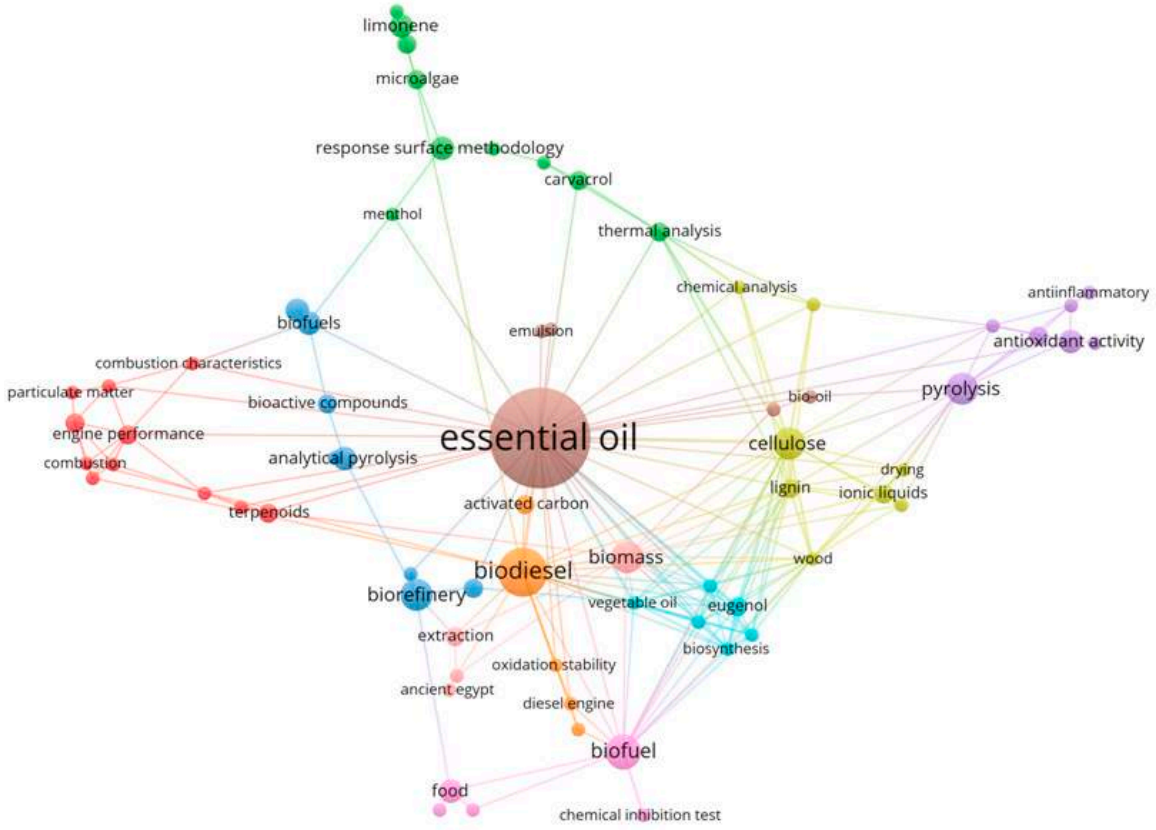


Figure 5. VOSviewer co-occurrence network visualization mapping the most frequent keywords (minimum of two occurrences) in Web of Science research on biodiesel production from essential oil.

The sixth cluster (light blue) focused on bioethanol production from renewable raw materials. The keywords included bioethanol, biosynthesis, eugenol, metabolic engineering, switchgrass, and vegetable oil.

The seventh group (orange) concerned obtaining biodiesel from essential oils. It included keywords such as activated carbon, biodiesel diesel, engine, lemon, essential oil, and oxidation stability.

The eighth group (brown) focused on essential oil extraction. The keywords included bio-oil, emulsion, essential oil, oxidative stability, and pretreatment.

The ninth group focused on obtaining biofuels. It included keywords such as biofuels, chemical inhibition testing, cosmetics, food, and supercritical fluid extraction.

The tenth group focuses on supercritical fluid extraction for fuels. The keywords included ancient Egypt, biomass, extraction, and oxidation.

Figure 6, illustrated by VOSviewer, shows co-occurrence overlay mapping of the most common keywords (a least two occurrences) for Web of Science research on biodiesel production from essential oil. In recent years, it can be seen that some keywords (green-yellow) have been used frequently. These words are: essential oil, biofuel, biodiesel, combustion performance, and microalgae.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

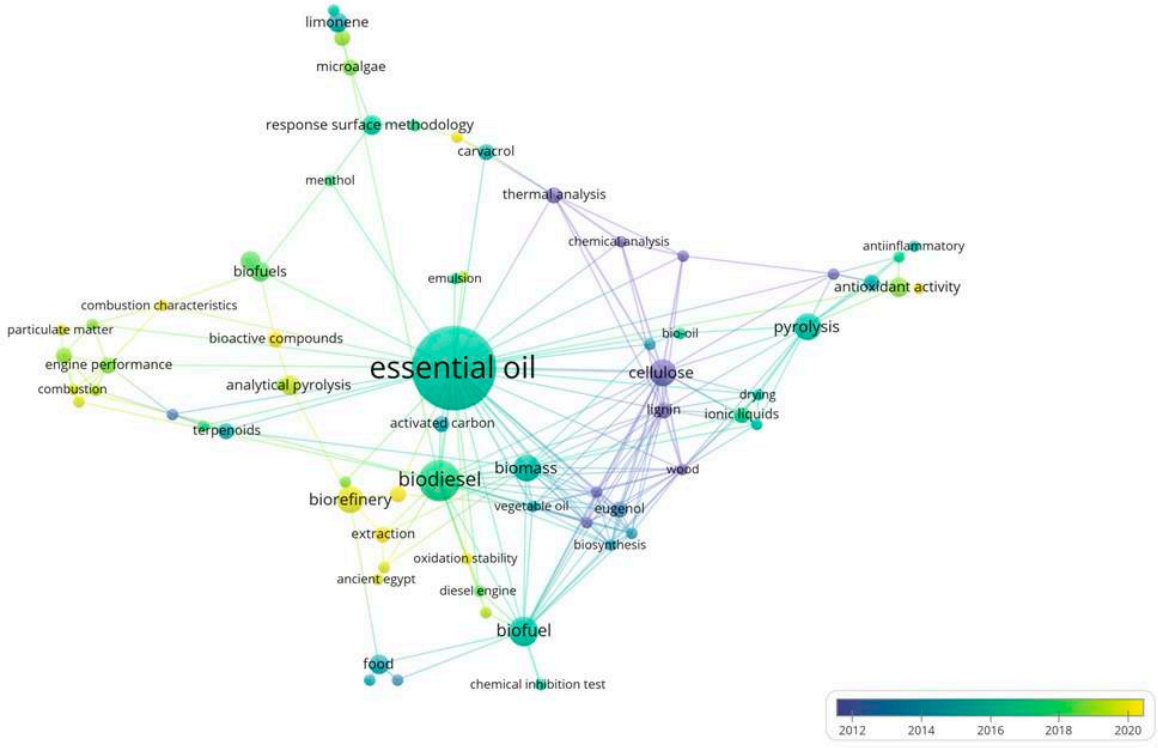


Figure 6. VOSviewer co-occurrence overlay visualization mapping of most frequent keywords (minimum of two occurrences) for Web of Science research on biodiesel production from essential oil.

4. Conclusions

In this study, 186 WoS papers (articles and reviews) on biodiesel production from essential oils were analyzed. The majority of these papers were written in English (98.93%) and were published by 932 authors from 54 countries/territories and 365 organizations. These papers were published in diverse categories of the WoS Core Collection. The five leading base journals were as follows: *Industrial Crops and Products*; *Fuel*; *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*; *Journal of Chromatography A*; and *Energy Fuels*. The top five article-producing nations were China, the United States, India, Australia, and France. The top five organizations were Queensland University of Technology, Southern Cross University, Central Queensland University, Colorado State University, and UDICE-French Research Universities. The top five authors were Rahman, S. M. A., Cantrell, C. L., Zheljazkov, V. D., Astatkie, T., and Brown, R. J. The keywords from research on biodiesel production from essential oil were divided into ten clusters with distinct research subjects. Cluster interpretation can only be offered exploratorily and is always subjective. Other experts may identify more patterns. In addition to relying on vocabulary chosen by the authors, which may be idiosyncratic, such research is also limited by its reliance on nomenclature. On the other hand, this could be considered a strength since the authors are adept at choosing their terms. They may alter throughout time, which is detectable through visualizations. So, such a study can serve as a resource for researchers. It provides useful information on the current condition of a scientific topic or discipline and predicts potential future advances. The analysis and visualizations shown here provide explorative data about the state of a particular scholarly area/discipline at the present time and suggest potential directions for future research.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the author.

Conflicts of Interest: The author declares no conflict of interest.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

References

1. Sun, Z.; Su, X.; Lin, Y.; Long, C.; Zhang, Y.; Zhao, T. Chemical Composition, and Antioxidant and Cholinesterase Inhibitory Activities of *Lindera glauca* Fruit Essential Oil and Molecular Docking Studies of Six Selected Compounds. *Horticulturae* **2023**, *9*, 289. [CrossRef]
2. Sharmeen, J.B.; Mahomoodally, F.M.; Zengin, G.; Maggi, F. Essential Oils as Natural Sources of Fragrance Compounds for Cosmetics and Cosmeceuticals. *Molecules* **2021**, *26*, 666. [CrossRef] [PubMed]
3. Boukhatem, M.N.; Setzer, W.N. Aromatic Herbs, Medicinal Plant-Derived Essential Oils, and Phytochemical Extracts as Potential Therapies for Coronaviruses: Future Perspectives. *Plants* **2020**, *9*, 800. [CrossRef] [PubMed]
4. Wei, H.; Kong, S.; Jayaraman, V.; Selvaraj, D.; Soundararajan, P.; Manivannan, A. *Menthaarvensis and Mentha* × *piperita*-Vital Herbs with Myriads of Pharmaceutical Benefits. *Horticulturae* **2023**, *9*, 224. [CrossRef]
5. Ahmed, H.F.A.; Seleiman, M.F.; Mohamed, I.A.A.; Taha, R.S.; Wasonga, D.O.; Battaglia, M.L. Activity of Essential Oils and Plant Extracts as Biofungicides for Suppression of Soil-Borne Fungi Associated with Root Rot and Wilt of Marigold (*Calendula officinalis* L.). *Horticulturae* **2023**, *9*, 222. [CrossRef]
6. Khan, M.; Khan, S.T.; Khan, M.; Mousa, A.A.; Mahmood, A.; Alkhathlan, H.Z. Chemical diversity in leaf and stem essential oils of *Origanum vulgare* L. and their effects on microbicidal activities. *AMB Express* **2019**, *9*, 1–15. [CrossRef] [PubMed]
7. Ji, F.; Wu, J.; Zhang, Z. Identification and Characterization of *CCD* Gene Family in Rose (*Rosa chinensis* Jacq. 'Old Blush') and Gene Co-Expression Network in Biosynthesis of Flower Scent. *Horticulturae* **2023**, *9*, 115. [CrossRef]
8. Kant, R.; Kumar, A. Review on essential oil extraction from aromatic and medicinal plants: Techniques, performance and economic analysis. *Sustain. Chem. Pharm.* **2022**, *30*, 100829. [CrossRef]
9. Bizaj, K.; Škerget, M.; Košir, I.J.; Knez, Ž. Hop (*Humulus lupulus* L.) Essential Oils and Xanthohumol Derived from Extraction Process Using Solvents of Different Polarity. *Horticulturae* **2022**, *8*, 368. [CrossRef]
10. Dao, T.P.; Nguyen, T.V.; Tran, T.Y.N.; Le, X.T.; An, T.N.T.; Anh, N.H.T.; Bach, L.G. Central Composite Design, Kinetic Model, Thermodynamics, and Chemical Composition of Pomelo (*Citrus Maxima* (Burm.) Merr.) Essential Oil Extraction by Steam Distillation. *Processes* **2021**, *9*, 2075. [CrossRef]
11. Javanmard, A.; Ashrafi, M.; Morshedloo, M.R.; Machiani, M.A.; Rasouli, F.; Maggi, F. Optimizing Phytochemical and Physiological Characteristics of Balangu (*Lallemantia iberica*) by Foliar Application of Chitosan Nanoparticles and Myco-Root Inoculation under Water Supply Restrictions. *Horticulturae* **2022**, *8*, 695. [CrossRef]
12. Ilić, Z.; Stanojević, L.; Milenković, L.; Šunić, L.; Milenković, A.; Stanojević, J.; Cvetković, D. The Yield, Chemical Composition, and Antioxidant Activities of Essential Oils from Different Plant Parts of the Wild and Cultivated Oregano (*Origanum vulgare* L.). *Horticulturae* **2022**, *8*, 1042. [CrossRef]
13. Sharma, A.; Gumber, K.; Gohain, A.; Bhatia, T.; Sohal, H.S.; Mutreja, V.; Bhardwaj, G. Importance of essential oils and current trends in use of essential oils (aroma therapy, agrofood, and medicinal usage). In *Essential Oils-Extraction, Characterization and Applications*, 1st ed.; Nayik, G.A., Ansari, M.J., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2023; pp. 53–83. [CrossRef]
14. Tanjga, B.B.; Lončar, B.; Aćimović, M.; Kiprovski, B.; Šovljanski, O.; Tomić, A.; Travičić, V.; Cvetković, M.; Raičević, V.; Zeremski, T. Volatile Profile of Garden Rose (*Rosa hybrida*) Hydrosol and Evaluation of Its Biological Activity In Vitro. *Horticulturae* **2022**, *8*, 895. [CrossRef]
15. Islam, M.S.; Subbiah, V.K.; Siddiquee, S. Field Efficacy of Proteolytic Entomopathogenic Fungi against *CeratovacunalanigeraZehntner*. *Horticulturae* **2022**, *8*, 808. [CrossRef]
16. Beniaich, G.; Hafsa, O.; Maliki, I.; Bin Jardan, Y.A.; El Moussaoui, A.; Chebaibi, M.; Agour, A.; Zouirech, O.; Nafidi, H.A.; Khallouki, F.; et al. GC-MS Characterization, In Vitro Antioxidant, Antimicrobial, and In Silico NADPH Oxidase Inhibition Studies of *Anvillearadiata* Essential Oils. *Horticulturae* **2022**, *8*, 886. [CrossRef]
17. Chrapačienė, S.; Rasiukevičiūtė, N.; Valiuškaitė, A. Control of Seed-Borne Fungi by Selected Essential Oils. *Horticulturae* **2022**, *8*, 220. [CrossRef]
18. Uğuz, G. Antioxidant effect of clove oil on biodiesel produced from waste cooking oil. *Biomass Convers. Biorefinery* **2023**, *13*, 367–373. [CrossRef]
19. Rahman, S.A.; Van, T.C.; Hossain, F.M.; Jafari, M.; Dowell, A.; Islam, M.A.; Brown, R.J. Fuel properties and emission characteristics of essential oil blends in a compression ignition engine. *Fuel* **2019**, *238*, 440–453. [CrossRef]
20. Vital-López, L.; Mercader-Trejo, F.; Rodríguez-Reséndiz, J.; Zamora-Antuñano, M.A.; Rodríguez-López, A.; Esquerre-Verastegui, J.E.; Farrera Vázquez, N.; García-García, R. Electrochemical Characterization of Biodiesel from Sunflower Oil Produced by Homogeneous Catalysis and Ultrasound. *Processes* **2023**, *11*, 94. [CrossRef]
21. Orege, J.I.; Oderinde, O.; Kifle, G.A.; Ibikunle, A.A.; Raheem, S.A.; Ejeromedoghene, O.; Daramola, M.O. Recent advances in heterogeneous catalysis for green biodiesel production by transesterification. *Energy Convers. Manag.* **2022**, *258*, 115406. [CrossRef]
22. García Martín, J.F.; Torres García, M.; Álvarez Mateos, P. Special Issue on "Biodiesel Production Processes and Technology". *Processes* **2023**, *11*, 25. [CrossRef]
23. Khan, M.A.H.; Bonifacio, S.; Clowes, J.; Foulds, A.; Holland, R.; Matthews, J.C.; Percival, C.J.; Shallcross, D.E. Investigation of Biofuel as a Potential Renewable Energy Source. *Atmosphere* **2021**, *12*, 1289. [CrossRef]
24. Wang, C.; Bhatia, S.K.; Manigandan, S.; Yang, R.; Alharbi, S.A.; Nasif, O.; Brindhadevi, K.; Zhou, B. Comparative assessment of waste cooking, chicken waste and waste tire biodiesel blends on performance and emission characteristics. *Fuel* **2022**, *320*, 123859. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

25. Binod, P.; Gnansounou, E.; Sindhu, R.; Pandey, A. Enzymes for second generation biofuels: Recent developments and future perspectives. *Bioresour. Technol. Rep.* **2019**, *5*, 317–325. [CrossRef]
26. Alam, S. Algae: An emerging feedstock for biofuels production. In *Algal Biotechnology*, 1st ed.; Ashfaq, A., Fawzi, B., Hanifa, T., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2022; pp. 165–185. [CrossRef]
27. Ortiz-Sanchez, M.; Solarte-Toro, J.C.; Orrego-Alzate, C.E.; Acosta-Medina, C.D.; Cardona-Alzate, C.A. Integral use of orange peel waste through the biorefinery concept: An experimental, technical, energy, and economic assessment. *Biomass Convers. Biorefinery* **2021**, *11*, 645–659. [CrossRef]
28. Crini, G.; Lichtfouse, E.; Chanet, G.; Morin-Crini, N. Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment: A review. *Environ. Chem. Lett.* **2020**, *18*, 1451–1476. [CrossRef]
29. Naranje, V.; Swarnalatha, R.; Batra, O.; Salunkhe, S. Technological Assessment on Steam Reforming Process of Crude Glycerol to Produce Hydrogen in an Integrated Waste Cooking-Oil-Based Biodiesel Production Scenario. *Processes* **2022**, *10*, 2670. [CrossRef]
30. Tutak, W.; Jamrozik, A.; Grab-Rogaliński, K. Evaluation of Combustion Stability and Exhaust Emissions of a Stationary Compression Ignition Engine Powered by Diesel/n-Butanol and RME Biodiesel/n-Butanol Blends. *Energies* **2023**, *16*, 1717. [CrossRef]
31. Renish, R.R.; Selvam, A.J.; Čep, R.; Elangovan, M. Influence of Varying Compression Ratio of a Compression Ignition Engine Fueled with B20 Blends of Sea Mango Biodiesel. *Processes* **2022**, *10*, 1423. [CrossRef]
32. Balachandran, A.; Jonsson, T.; Eriksson, L. DC Charging Capabilities of Battery-Integrated Modular Multilevel Converters Based on Maximum Tractive Power. *Electricity* **2023**, *4*, 62–77. [CrossRef]
33. Akhtar, M.F.; Raihan, S.R.S.; Rahim, N.A.; Akhtar, M.N.; Abu Bakar, E. Recent Developments in DC-DC Converter Topologies for Light Electric Vehicle Charging: A Critical Review. *Appl. Sci.* **2023**, *13*, 1676. [CrossRef]
34. Ljubojević, M.; Narandžić, T.; Ostojić, J.; Božanić Tanjga, B.; Grubač, M.; Kolarov, R.; Greksa, A.; Pušić, M. Rethinking Horticulture to Meet Sustainable Development Goals—The Case Study of Novi Sad, Serbia. *Horticulturae* **2022**, *8*, 1222. [CrossRef]
35. Mateus, M.M.; Neuparth, T.; Cecílio, D.M. Modern Kiln Burner Technology in the Current Energy Climate: Pushing the Limits of Alternative Fuel Substitution. *Fire* **2023**, *6*, 74. [CrossRef]
36. Beles, H.; Tusinean, A.; Mitran, T.; Scurt, F.B. Research Regarding the Development of the Combustion Chamber of Internal Combustion Engines with Opposite Pistons. *Machines* **2023**, *11*, 309. [CrossRef]
37. Sedighi, M.; Pourmoghaddam Qhazvini, P.; Amidpour, M. Algae-Powered Buildings: A Review of an Innovative, Sustainable Approach in the Built Environment. *Sustainability* **2023**, *15*, 3729. [CrossRef]
38. Ertunç, E. The Effect of Land Consolidation Projects on Carbon Footprint. *Land* **2023**, *12*, 507. [CrossRef]
39. Hu, S.; Zhu, H.; Bañuelos, G.; Shutes, B.; Wang, X.; Hou, S.; Yan, B. Factors Influencing Gaseous Emissions in Constructed Wetlands: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2023**, *20*, 3876. [CrossRef]
40. Niculescu, R.; Clenci, A.; Iorga-Siman, V. Review on the Use of Diesel–Biodiesel–Alcohol Blends in Compression Ignition Engines. *Energies* **2019**, *12*, 1194. [CrossRef]
41. Manimaran, R.; Venkatesan, M.; Kumar, K.T. Optimization of okra (*Abelmoschus esculentus*) biodiesel production using RSM technique coupled with GA: Addressing its performance and emission characteristics. *J. Clean. Prod.* **2022**, *380*, 134870. [CrossRef]
42. Zhang, J.; Lin, M. A comprehensive bibliometric analysis of Apache Hadoop from 2008 to 2020. *Int. J. Intell. Comput. Cybern.* **2022**, *16*, 99–120. [CrossRef]
43. Gao, S.; Meng, F.; Gu, Z.; Liu, Z.; Farrukh, M. Mapping and Clustering Analysis on Environmental, Social and Governance Field a Bibliometric Analysis Using Scopus. *Sustainability* **2021**, *13*, 7304. [CrossRef]
44. Guo, Y.; Hao, Z.; Zhao, S.; Gong, J.; Yang, F. Artificial intelligence in health care: Bibliometric analysis. *J. Med. Internet Res.* **2020**, *22*, e18228. [CrossRef] [PubMed]
45. Nájera, C.; Gallegos-Cedillo, V.M.; Ros, M.; Pascual, J.A. Role of Spectrum-Light on Productivity, and Plant Quality over Vertical Farming Systems: Bibliometric Analysis. *Horticulturae* **2023**, *9*, 63. [CrossRef]
46. Blanco, I.; Luvisi, A.; De Bellis, L.; Schettini, E.; Vox, G.; Scarascia Mugnozza, G. Research Trends on Greenhouse Engineering Using a Science Mapping Approach. *Horticulturae* **2022**, *8*, 833. [CrossRef]
47. Onofri, L. A Note on the Economics of Fruit Wines: State of the Arts and Research Gaps. *Horticulturae* **2022**, *8*, 163. [CrossRef]
48. Van Eck, N.J.; Waltman, L. Software survey: VOS-viewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics* **2010**, *84*, 523–538. [CrossRef]
49. Pranckutė, R. Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today's Academic World. *Publications* **2021**, *9*, 12. [CrossRef]
50. Sarkar, A.; Wang, H.; Rahman, A.; Memon, W.H.; Qian, L. A bibliometric analysis of sustainable agriculture: Based on the Web of Science (WOS) platform. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2022**, *29*, 38928–38949. [CrossRef]
51. Stopar, K.; Mackiewicz-Talarczyk, M.; Bartol, T. Cotton fiber in web of science and scopus: Mapping and visualization of research topics and publishing patterns. *J. Nat. Fibers* **2020**, *18*, 547–558. [CrossRef]
52. Meho, L.I.; Yang, K. Impact of data sources on citation counts and rankings of LIS faculty: Web of Science versus Scopus and Google Scholar. *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.* **2007**, *58*, 2105–2125. [CrossRef]
53. Gong, R.; Xue, J.; Zhao, L.; Zolotova, O.; Ji, X.; Xu, Y. A Bibliometric Analysis of Green Supply Chain Management Based on the Web of Science (WoS) Platform. *Sustainability* **2019**, *11*, 3459. [CrossRef]
54. Moustakas, L. A Bibliometric Analysis of Research on Social Cohesion from 1994–2020. *Publications* **2022**, *10*, 5. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

55. Valenzuela-Fernández, L.; Escobar-Farfán, M. Zero-Waste Management and Sustainable Consumption: A Comprehensive Bibliometric Mapping Analysis. *Sustainability* **2022**, *14*, 16269. [CrossRef]
56. Yuan, B.Z.; Bie, Z.L.; Sun, J. Bibliometric Analysis of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Research Publications from Horticulture Category Based on the Web of Science. *HortScience* **2021**, *56*, 1304–1314. [CrossRef]
57. Kumar, A. Climate Change: Challenges to Reduce Global Warming and Role of Biofuels. In *Climate Change, Photosynthesis and Advanced Biofuels*, 1st ed.; Kumar, A., Yau, Y.Y., Ogita, S., Scheibe, R., Eds.; Springer: Singapore, 2020; pp. 13–54. [CrossRef]
58. Albers, S.C.; Berklund, A.M.; Graff, G.D. The rise and fall of innovation in biofuels. *Nat. Biotechnol.* **2016**, *34*, 814–821. [CrossRef]
59. Eugenie, L.B. A Review of "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability" and "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change". *J. Am. Plan. Assoc.* **2014**, *80*, 184–185. [CrossRef]
60. Harper, A.B.; Powell, T.; Cox, P.M.; House, J.; Huntingford, C.; Lenton, T.M.; Shu, S. Land-use emissions play a critical role in land-based mitigation for Paris climate targets. *Nat. Commun.* **2018**, *9*, 2938. [CrossRef]
61. Ellegaard, O.; Wallin, J.A. The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? *Scientometrics* **2015**, *105*, 1809–1831. [CrossRef]
62. Yang, W.; Zhang, J.; Ma, R. The Prediction of Infectious Diseases: A Bibliometric Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 6218. [CrossRef]
63. Dima, A.; Bugheanu, A.-M.; Boghian, R.; Madsen, D.Ø. Mapping Knowledge Area Analysis in E-Learning Systems Based on Cloud Computing. *Electronics* **2023**, *12*, 62. [CrossRef]
64. Zema, T.; Sulich, A. Models of Electricity Price Forecasting: Bibliometric Research. *Energies* **2022**, *15*, 5642. [CrossRef]
65. Dabić, M.; Vlačić, B.; Scuotto, V.; Warkentin, M. Two decades of the Journal of Intellectual Capital: A bibliometric overview and an agenda for future research. *J. Intellect. Cap.* **2021**, *22*, 458–477. [CrossRef]
66. Wang, Z.; Ma, D.; Pang, R.; Xie, F.; Zhang, J.; Sun, D. Research Progress and Development Trend of Social Media Big Data (SMBD): Knowledge Mapping Analysis Based on Cite Space. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2020**, *9*, 632. [CrossRef]
67. Alshater, M.M.; Saad, R.A.J.; Abd Wahab, N.; Saba, I. What do we know about zakat literature? A bibliometric review. *J. Islam. Account. Bus. Res.* **2021**, *12*, 544–563. [CrossRef]
68. Wambu, E.W.; Ho, Y.S. A bibliometricanalysis of drinking water research in Africa. *Water SA* **2016**, *42*, 612–620. [CrossRef]
69. Ho, Y.S.; Ranasinghe, P. A bibliometric analysis of highly cited insulin resistance publications in Science Citation Index Expanded. *Obes. Med.* **2022**, *31*, 100399. [CrossRef]
70. Song, M.; Zheng, C.; Wang, J. The role of digital economy in China's sustainable development in a post-pandemic environment. *J. Enterp. Inf. Manag.* **2022**, *35*, 58–77. [CrossRef]
71. Fokdal, J.; Čolić, R.; MilovanovićRodić, D. Integrating sustainability in higher planning education through international cooperation: Assessment of a pedagogical model and learning outcomes from the students' perspective. *Int. J. Sustain. High. Educ.* **2020**, *21*, 1–17. [CrossRef]
72. Eduan, W.; Yuanqun, J. Patterns of the China-Africa research collaborations from 2006 to 2016: A bibliometric analysis. *High. Educ.* **2019**, *77*, 979–994. [CrossRef]
73. Hossain, S.; Batcha, M.S.; Atoum, I.; Ahmad, N.; Al-Shehri, A. Bibliometric Analysis of the Scientific Research on Sustainability in the Impact of Social Media on Higher Education during the COVID-19 Pandemic. *Sustainability* **2022**, *14*, 16388. [CrossRef]
74. Donthu, N.; Kumar, S.; Pandey, N. A retrospective evaluation of Marketing Intelligence and Planning: 1983–2019. *Mark. Intell. Plan.* **2021**, *39*, 48–73. [CrossRef]
75. Gupta, A.; Valeri, M. Mapping research on family business in tourism and hospitality: A bibliometric analysis. *J. Fam. Bus. Manag.* **2022**, *12*, 367–392. [CrossRef]
76. Yuan, B.Z.; Sun, J. Bibliometric analysis of potato research publications from Agronomy Category based on Web of Science from 2000 to 2021. *Potato Res.* **2022**, *65*, 233–253. [CrossRef]
77. Kuanova, L.A.; Sagiyeva, R.; Shirazi, N.S. Islamic social finance: A literature review and future research directions. *J. Islam. Account. Bus. Res.* **2021**, *12*, 707–728. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

membranes

MDPI

Article

Clean Energy Based Multigeneration System for Sustainable Cities: Thermodynamic, and Stability Analyses

Uzair Bhatti [1], Hamza Aamir [1], Khurram Kamal [1], Tahir Abdul Hussain Ratlamwala [1], Fahad Alqahtani [2,*], Mohammed Alkahtani [2], Emad Mohammad [3] and Moath Alatefi [2]

[1] Department of Engineering Sciences, National University of Sciences and Technology, Islamabad 44000, Pakistan; buzair6@gmail.com (U.B.); hamzaamir93772@gmail.com (H.A.); khurram.kamal@pnec.nust.edu.pk (K.K.); tahir.ratlamwala@pnec.nust.edu.pk (T.A.H.R.)
[2] Industrial Engineering Department, College of Engineering, King Saud University, Riyadh 11421, Saudi Arabia; moalkahtani@ksu.edu.sa (M.A.); 441106540@student.ksu.edu.sa (M.A.)
[3] Electrical Engineering Department, College of Engineering, King Saud University, Riyadh 11421, Saudi Arabia; 442106835@student.ksu.edu.sa
* Correspondence: afahad@ksu.edu.sa

Abstract: This paper concerns the development and analysis of multigeneration systems based on hybrid sources such as biomass and wind. Industry requires different types of sources to provide several outputs, so the goal of this research was to fulfill the industrial requirement with optimization. The multigeneration cycle supplies enough power to satiate energy demands, i.e., power, cooling, hydrogen, air conditioning, freshwater, hot water, and heating. For this, the multigeneration cycle was modeled in the Engineering Equation Solver (EES) and Simulink to obtain optimized results for the industry. Energy and exergy for the multigeneration cycle were determined to assess the performance of the cycle and to investigate the optimized results for the overall system. This study shows that for configuration selection and design, different thermodynamic, economic, and environmental aspects should be considered. Based on the results, the selection of the best location for this multigeneration system was made. Power output from the wind turbine was around 7 MW and from biogas 0.6 MW. The overall exergy efficiency of the multigeneration system was found to be 0.1401.

Keywords: multigeneration; renewable energy; hydrogen; Simulink; root locus; stability analysis

check for updates

Citation: Bhatti, U.; Aamir, H.; Kamal, K.; Ratlamwala, T.A.H.; Alqahtani, F.; Alkahtani, M.; Mohammad, E.; Alatefi, M. Clean Energy Based Multigeneration System for Sustainable Cities: Thermodynamic, and Stability Analyses. *Membranes* **2023**, *13*, 358. https://doi.org/10.3390/membranes13030358

Academic Editor: José M. Gozálvez-Zafrilla

Received: 16 February 2023
Revised: 9 March 2023
Accepted: 12 March 2023
Published: 20 March 2023

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Energy is an important part of national development and with the advancement of time, it is becoming a more important requirement. People are now looking for many new ways to increase energy production, and with fossil fuels decreasing day by day, renewable energy is becoming a better option going forward. Being the only means of clean, green, and infinite energy, renewable energy mainly has solar, wind, biomass, geothermal, and hydro as the main sources [1]. A multigeneration energy system is used to utilize more than three sources. A multigeneration energy system provides higher efficiency than the combined equal and separate units. When a multigeneration system uses renewable energy, it combines clean and green energy with higher efficiency. In addition, it also supplies different needs of the public unit such as the neighborhood. Using an energy-based multigeneration system, it has been analyzed that exergy efficiency varies from 55% to 65% depending on the amount of cogeneration used. Murat Ozturk et al. [2] showed that, through the integration of various systems, multigeneration increases energy and exergy efficiencies. Furthermore, it has been determined that, due to renewable energy-based multigeneration, the fuel price decreases, as well as harmful pollutant emissions, compared to conventional systems [3].

The objectives of this paper include first proposing and assessing a new integrated multigeneration system using biomass and wind energy with energy and exergy analyses,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

including the determination of overall energy and exergy efficiencies of the multigeneration system and its subsystems; and second carrying out a parametric study to determine the effects of various parameters on the overall energy and exergy efficiencies of the multigeneration system and its subsystems. Challenges faced in this research and study include the difficulty of scheduling and modeling the sources; wind, and biomass in this case. Wind energy is not constant throughout the year. It changes with the temperature and season. However, we can use the average wind speed for analysis. In addition, for biomass, the waste disposal can vary from day to day, but through observation, average waste disposal can be found to be used as a reference for calculation.

Renewable energy can be obtained from the biological remains of the living. It is known as biomass, and it can be a great way to get the most out of waste. All living things present on Earth are comprised of biomass. It can either be converted into other forms such as biofuels or it can be used directly [4]. Biomass is used currently for heating, electricity, and cooling [5]. To obtain large-scale utilization, biomass is directly burned using the combustion process of coal, which is considered the most common method of conversion [6]. There are other methods more efficiently feasible than the combustion process for power generation, which include thermochemical conversion technologies such as gasification and pyrolysis. Economically these technologies are not viable for large-scale utilization, or they lack maturity and reliability [7].

A 2-kW biomass-fired micro-scale CHP system was studied by Liu et al. [8] where they used the organic Rankine cycle with three organic working fluids. Efficiency variation was also assessed by them through a parametric study of the CHP system with selected design parameters. Using biomass as a supplementary fuel, Gnanapragasam et al. [9] studied the optimum conditions for a natural gas combined cycle power generation system. In addition, biomass was also used to increase the temperature of flue gases in a supplementary firing unit. Al-Sulaiman et al. [10] reported energy and exergy analyses of a biomass trigeneration system using an organic Rankine cycle. They also performed a comprehensive parametric study of the system and concluded that there is a significant improvement when trigeneration is used in place of only electrical generation.

A biomass-based integrated comprehensive system with hydrogen production was proposed by Safari and Dincer [11] and production rates for power hydrogen (0.347 kg/h), freshwater (0.94 kg/s), and hot water (1.82 kg/s) were 1102 K W/h. Ahmadi et al. [1], developed an integrated bio-mass multi-generation system and concluded that when the system is multi-generating, the potential for CO_2 emission reduction is extensive. Khalid et al. [12], integrated solar and biomass in the multi-generation system, Moradi et al. [13], considered bio-mass gasification only, and Paakkonen and Joronen [14], restudied the feasibility of a biomass-integrated combined heat and power system. Studies in [12–14], revealed that biomass and biogas are highly feasible for comprehensive and multi-generation systems with maximum energy and exergy efficiency of 72.5% and 30.44% and can be derived from environmental wastes such as chicken manure [15,16], maize silage [17], rice husk [18], etc. Sevinchan et al. [19], developed a multi-generation system powered by maize silage and chicken manure. Rice husk was hybridized with solar energy to power another multi-generation system developed in the literature [20]. The ammonia and hydrogen productions by their system [20] were 79 g/s and 20 g/s. Solar and wind are also considered the most commonly used RE sources of power, co-generation, and multi-generation. Ozlu and Dincer [21], analyzed a multi-generation system based on solar and wind energy and reported the overall energy and exergy efficiencies of the systems to be 43% and 65%.

The wind is one of the most abundant renewable energy sources used nowadays. The wind energy can be extracted by a wind energy conversion system (WECS), which is composed of a wind turbine, electric generator, power electronic converter, and the corresponding control system. Wind energy at different wind velocities has to be converted to electric power at the given grid frequency. To choose other components of the wind energy conversion system (WECS), the speed control strategy should be known. Wind turbine configurations are based on different categories, i.e., horizontal and vertical axes,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

number of blades, and power rating. This paper used a wind turbine of a horizontal-axis type, having three blades and a power output of 0.56 MW [21]. Extended energy, exergy, and economic analyses of a wind turbine were presented in another study and the maximum exergy efficiency was 10.8%. The exergy analysis of a CHP system integrated with wind turbines was presented by Mohammadi et al. [22], and the operating parameters of a hybrid wind–hydrogen system were analyzed energetically and exegetically by Fakehi et al. [23].

Integration of a wind generation system and electrical system development are associated with both benefits and costs. Compromise has been made either in cost or benefit. For example, wind generation required more investment than that of conventional gas or coal plants. Whereas the energy generation from wind saves fuel consumption hence reducing the cost of system operation.

There are some issues related to the integration of wind power into a system. Although the energy produced by a large conventional plant may be displaced by that of wind generation, concerns over system operation costs are focused on whether wind generation will be able to replace the capacity and flexibility of conventional generation plants. Moreover, another important factor is the location of these new sources in assessing the impacts on the transmission and distribution network infrastructure. Wind turbines generally cannot provide a range of system support services (e.g., voltage and frequency regulation) that are provided by thermal and hydro plants.

Wind cannot be considered the sole power generator. It is necessary to retain a portion of conventional plants for backup or to ensure security, especially under conditions of high demand and low wind. This concludes that wind power is variable and not easy to predict, various forms of additional reserves will need to be introduced to maintain a constant balance between supply and demand. So, a conventional generation system cannot be displaced by a wind generation system.

All these studies conclude that a wind energy integrated system is feasible and enhances the performance of the system. The main challenge in this comprehensive system is that most research has been presented on the steady-state condition which gives no insight into the performance of the system while the thermodynamic analysis of wind and biomass for a comprehensive energy system has also been limited. So, the gap can be bridged by developing a novelty for this system. The system will be analyzed in steady-state and time-based conditions and assessing the system by using the Engineering Equation Solver (EES) computer program and Simulink.

2. Materials and Methods

2.1. Developing a Schematic Diagram

For this study, a multigeneration cycle had to be designed to provide power, cooling, heating, freshwater, hydrogen gas, desalinated water, and conditioned air as an output. Multigeneration had to be powered using biogas generated from cow manure as well as wind turbine power. The main aim of this study was to develop a model of the multigeneration cycle using the EES and Simulink for thermodynamic analysis. Finally, the model developed had to be tuned to obtain a steady state for the cycles of the multigeneration system.

Figure 1 shows the system which utilizes wind as a primary source and biomass as a secondary source. The system produces power, cooling, heating, fresh water, hydrogen, hot water, and conditioned air as its output. The components used in this system include generator, compressor, condenser, pump, turbine, expansion valve, electrolyser, evaporator, boiler, heat exchanger, desalination plant, water treatment plant, heat pump, air-conditioning, and refrigeration cycles. Schematic is labelled with total of 31 different states points for which the working fluid or substance for which pressure, temperature, internal energy, enthalpy and entropy had to be determined. All these components work in a flow system to produce the desired output. The schematic of this system is illustrated in Figure 1.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

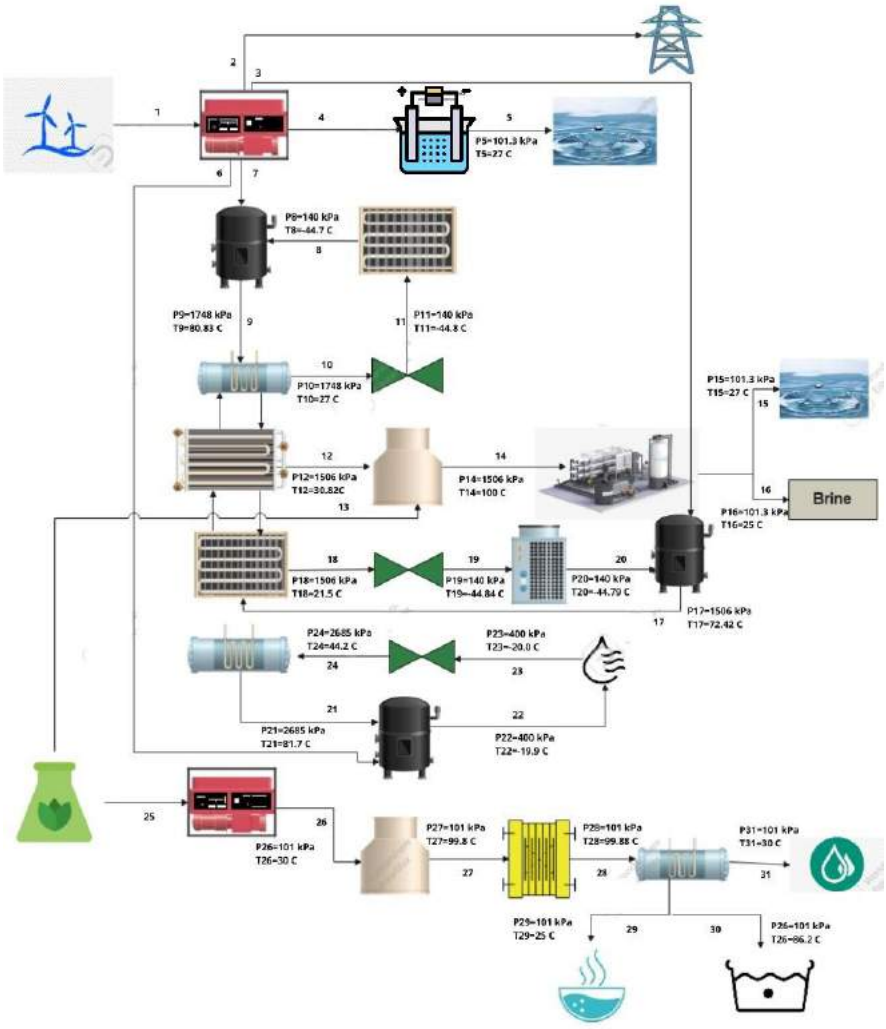


Figure 1. Schematic diagram.

The atmospheric conditions are 28 °C and 101 KPa. Wind velocity is 8 m/s having a power of 1.293×10^6 used to drive the wind turbine that ultimately drives the generator. The wind turbine gives a power output of 1.033×10^7 and this power output is used to produce electricity only. The electrolysis process is performed by using heat from the generator to produce H_2 and O_2. The remaining heat of the generator is used to drive the vapor compression cycle. The working fluid used in the vapor compression cycle is R410, the compressor operates at 80.83 °C, the condenser operates at 27 °C, expansion valve, and the evaporator operates at −44.84 °C. The vapor compression cycle gives cooling as an output. The heat released by the condenser is absorbed by the heat exchanger. The heat exchanger provides water with the heat to initially increase its temperature to 30 °C. The heat exchangers used for this multigeneration system are parallel flow heat exchangers. This heat is utilized by the boiler. The boiler obtains two sources of heat, one from the heat exchanger and the other from biomass. The desalination plant utilizes the steam of the boiler to give fresh water and brine. Thermal desalination is performed using the boiler. Both the boiler and condenser operate at an atmospheric pressure of 101.325 KPa. Water enters the boiler at around 30 °C and leaves as steam. It is then condensed to around room temperature. The temperatures of fresh water and brine are 27 °C and 25 °C.

The heat released by the condenser of the air conditioning cycle is absorbed by the evaporator. The operating temperature of the evaporator is 21.5 °C. The evaporator is also connected to the compressor. Then, the expansion valve opens and the heat pump produces heat. The heat pump then provides the output heat that is used for heating. The

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

compressor of the air-conditioning cycle obtains heat from the wind turbine generator. The air conditioning cycle provides the conditioned air that is used for space heating.

Biomass is used as a fuel for the generator to produce power. The operating condition of the generator is 30 °C. This power is used by the boiler to produce steam. The system heat exchanger absorbs heat from the boiler and gives that heat to the condenser. The condenser obtains cold water from one of its inlets and water leaves as hot water from one of the outlets. After the condensation of steam, treated water is obtained from the system. Treated and hot water are obtained at temperatures of 30 °C and 25 °C respectively. Above all the processes work in rhythm to produce the desired output.

For this multigeneration cycle, several parameters were required. Most of the parameters required were operating intensive properties for the cycle or constraints for the power generation such as wind and biogas. Table 1 shows the parameters required to analyze the whole multigeneration cycle.

Table 1. Parametric table of multigeneration system.

Parameter Value of Multigeneration System	
Wind turbine	
Velocity of the air (V)	8 m/s [24]
Density of the air (p)	1.20 kg/m^3 [24]
Electrical losses	1%
Electricity transmission losses	1.25%
Mechanical losses	3%
Wake losses	5%
Biogas production	
Waste disposal of cow manure per day	20 kg [25]
Volatile solid cow manure per day	1.42 kg [25]
Yield factor	5.5 [25]
Electrolysis	
Voltage for electrolysis (V)	2 V
Energy of hydrogen gas at r.t.p	116648 kJ/k [26]
Energy of oxygen gas at r.t.p	24.68 kJ /kg [26]
Faraday's constant	96485
Vapor compression cycle	
Ambient temperature (To)	25 °C
Compressor isentropic efficiency (n)	0.85
Refrigeration cycle low pressure side (Prc)	140 kPa [27]
Heat pump low pressure side (Php)	140 kPa [27]
Air conditioner low pressure side (Pac)	400 kPa
Refrigerant used for vapor compression	R410a
Mass flow rate of refrigeration cycle (mrc)	14 kg/s
Mass flow rate of the heat pump (mhp)	15 kg/s
Mass flow rate of the air conditioner (mac)	19 kg/s

2.2. Developing Input Source/Components/Process for the Multigeneration Cycle

In the air condition cycle, as shown in Figure 2, analysis was carried out based on the application of the first-order transfer function on different mass values with pressure ranging from 0.2 MPa to 1 MPa. Using the thermostat, the mass flow was controlled by integrating the thermostat between the condenser outlet and the evaporator inlet. The mass flow rate was calculated by using Qin and thus it could be determined how much mass flow rate could be allowed for the conditioning of air.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

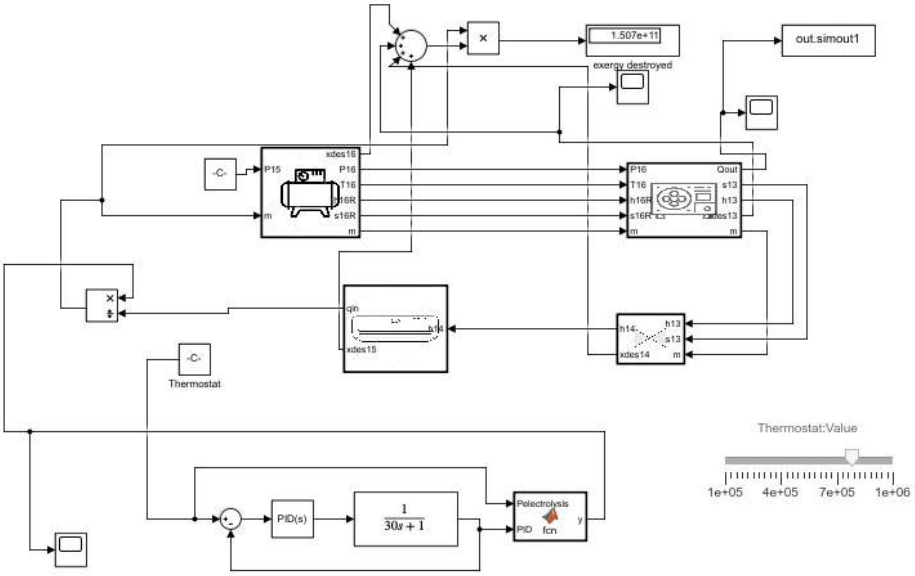


Figure 2. Airconditioning cycle Simulink model.

In the refrigeration process, as shown in Figure 3, the same was conducted based on the application of the first-order transfer function on different mass values with pressure ranging from 0.14 MPa to 0.8 MPa. Using the thermostat, the mass flow was controlled by integrating the thermostat between the condenser outlet and the evaporator inlet. The same method was applied to find the mass flow rate which is by calculation of the Qin of the evaporator and then controlling the mass flow of the refrigerant to obtain the desired cooling.

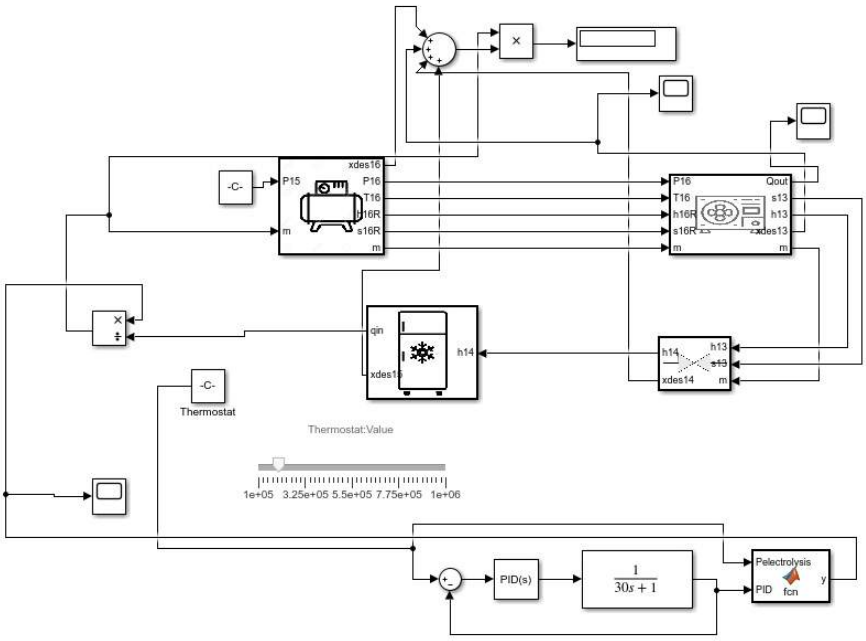


Figure 3. Refrigeration cycle Simulink model.

Almost the same method was applied to the heat pump as shown in Figure 4. Coolprop library was used, and the first order transfer function performed on different mass values: pressure ranges from 0.14 MPa and 0.8 Mpa in the heat pumping also. A thermostat was integrated between the condenser and evaporator, but the only difference observed here is

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

that the useful heat is at the condenser. This heat is used to determine the mass and then it can be varied by changing the mass flow.

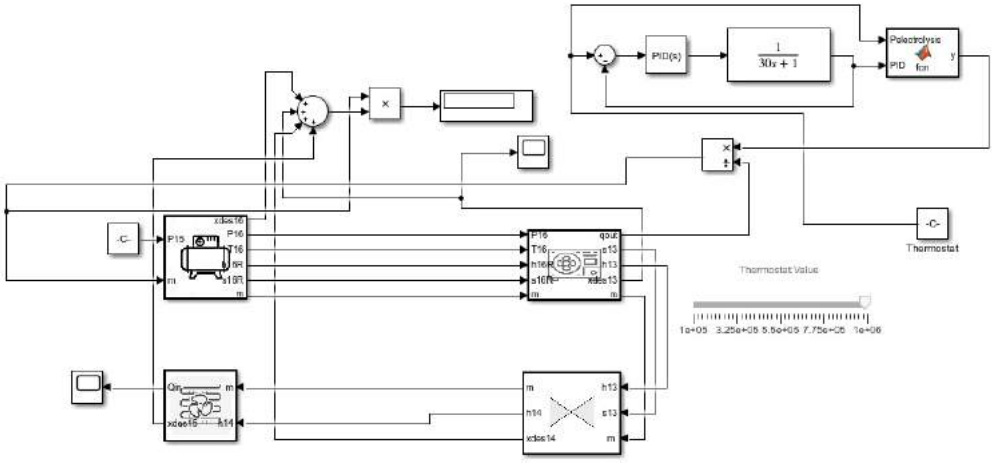


Figure 4. Heat pump Simulink model.

Electrolysis requires the second-order transfer function because it depends on two variables which are the battery response and the hydrogen production rate as shown in Figure 5. When the power is supplied, electrolysis provides the current based on the given power. This current then determines the amount of oxygen and hydrogen produced. So, the production can be varied depending on the two variables that are changed to obtain the best output.

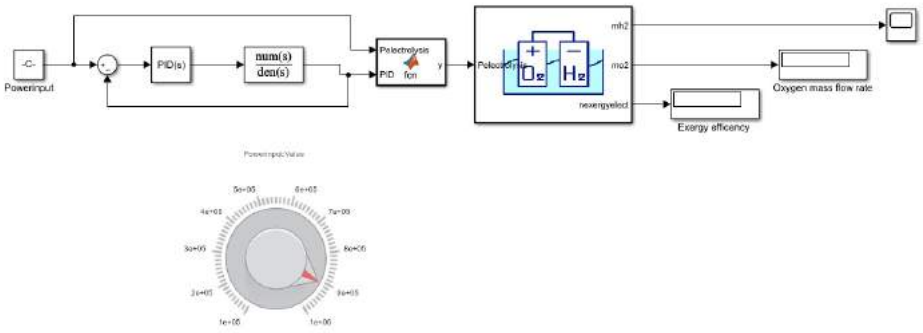


Figure 5. Electrolysis Simulink model.

As in Figure 6 the desalination system is based on the third-order transfer function because it has three different processes which are boiling, condensation, and storage. Output is the treated water against the given power; the water is first boiled which releases brine and steam and then the water vapor is condensed and stored in the collector.

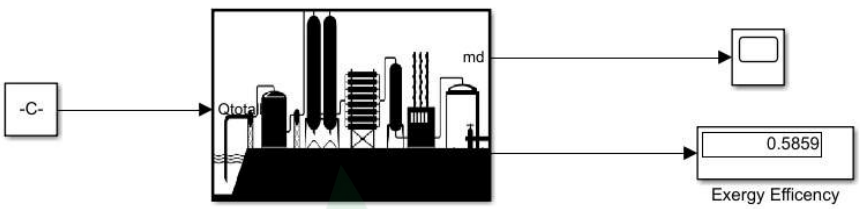


Figure 6. Desalination Simulink model.

As in Figure 7 for the multigeneration system, two renewable energy systems were used, namely wind and biogas. The Betz law and kinetic energy conversion to electrical

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

energy were used to determine total power generation for wind. Biogas energy production was modeled using the estimated power which could be generated from cow manure in a single day. Since the system does not contain major variables which vary with respect to time, for multigeneration sources modeling a zero-order system was assumed.

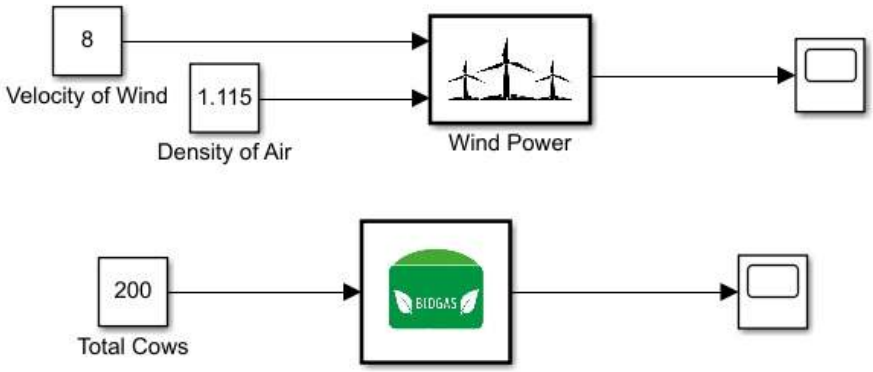


Figure 7. Power generation Simulink model.

As in Figure 8 the hot water system is modeled with respect to time. The mass flow rate cannot be assumed to be zero if the mass flow rate is assumed to approximate zero or the slightest change of heat will result in temperature gain which is greater than zero which results in negative exergy destruction. Exergy destruction can never be negative so modeling steady-state response will result in unreasonable results.

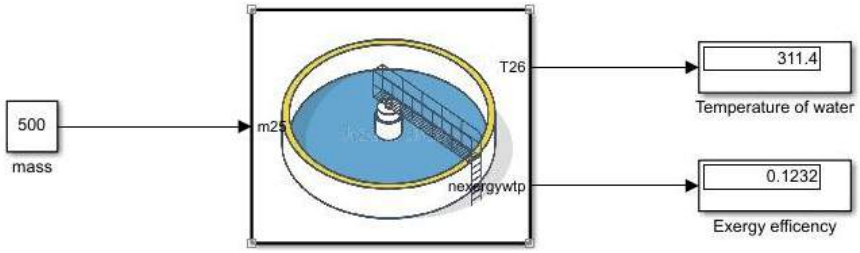


Figure 8. Water treatment Simulink model.

2.3. Approach to Analysis

Exergy can be found by determining the entropy generated between each component of the gas turbine. Exergy destroyed X_{des} is found by multiplying the entropy generated with the outside temperature and exergy destruction can be determined. Where Q_H is heat gained, Q_L is heat released, T_H and T_L are the temperatures at the hot and cold source respectively from initial i to final state f as in Equations (1)–(3)

$$\dot{X}_{dest,\,i-f} = T_0 \dot{S}_{gen,\,i-f} = T_0[\dot{m}\left(s_f - s_i\right) + \frac{\dot{Q}_H}{T_H}] \tag{1}$$

$$\dot{X}_{dest,\,i-f} = T_0 \dot{S}_{gen,\,i-f} = T_0[\dot{m}\left(s_f - s_i\right) + \frac{\dot{Q}_L}{T_L}] \tag{2}$$

$$\dot{X}_{dest,\,i-f} = T_0 \dot{S}_{gen,\,i-f} = \dot{m} T_0\left(s_f - s_i\right) \tag{3}$$

Exergetic efficiency can be found using Equation (4)

$$\eta_{\mathrm{II},des} = \frac{\dot{X}_{\dot{Q}_L}}{\dot{W}_{in}} = \frac{\dot{W}_{min,\,in}}{\dot{W}_{in}} = 1 - \frac{\dot{X}_{dest,total}}{\dot{W}_{in}} \tag{4}$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pelec showed the power transferred to carry out electrolysis as shown in Equation (5) where the current is produced. For the electrolysis, hydrogen and oxygen were produced by consuming the power generated by the generator. Where the amount of the current produced, *fo* is faraday's constant. The equations used for the mass flow rate production of the hydrogen mh_2 and oxygen mo_2 gas are as follows:

$$P_{elec} = I_{cur} \cdot V_i \tag{5}$$

$$mh_2 = \frac{JA_i}{2F} \cdot 0.002 \tag{6}$$

$$mo_2 = \frac{JA_i}{4F} \cdot 0.032 \tag{7}$$

P_{wind} is the maximum expected power generated from the wind turbine in Equation (8) while u is the collective efficiency of the wind turbine. Multiplying P_{wind} with the collective efficiency and Bentz's efficiency P_{output} is determined in Equation (10) which is the actual power consumed.

$$P_{wind} = 0.5\rho v^3 A \tag{8}$$

$$u = (1 - km)(1 - ke)(1 - kt)(1 - kt)C_p \tag{9}$$

$$P_{output} = n_{turb} \cdot u \cdot P_{wind} \tag{10}$$

Applying the approach for energy calculation for small-scale biogas production Equations (11)–(16) are used to determine the estimated amount of energy that could be extracted from the cow's manure [25].

$$T_{waste\ disposal} = totalcows \cdot Wastedisposal \tag{11}$$

$$Total_{volatile\ solid} = Volatile_{solid\ cow} \cdot totalcows \tag{12}$$

$$Conc_{vol\ solid} = \frac{Total_{volatile\ solid}}{Digestor_{vol}} \tag{13}$$

$$S = \frac{Total_{volatile\ solid}}{Volume} \tag{14}$$

$$G = Yieldfactor \cdot S \cdot \frac{Digestor_{vol}}{1000} \tag{15}$$

$$Energy_{prod,days} = 22.08 \cdot G \tag{16}$$

According to the first law of thermodynamics energy balance, the equation has to be applied as in Equation (17). Ein represents the energy input while E_{out} represents the energy output:

$$E_{in} = E_{out} \tag{17}$$

Equations (18) and (19) represent the coefficient of performance for the refrigeration cycle and heat pump cycle:

$$COP_{ref} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} \tag{18}$$

$$COP_{hp} = \frac{Q_H}{Q_L - Q_H} \tag{19}$$

3. Results

After conducting a literature review, and assuming parameters for the energy sources to power the multigeneration cycle; the multigeneration cycle was designed. It was powered by two sources wind and biogas. This cycle can produce hydrogen, provides desalinated water, treated water, and hot water for residential areas, while operating the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

refrigerators, air conditioner, and heat pump. The vapor compression cycle is used to operate the refrigeration cycle, air conditioning, and heat pump cycle. Single stage desalination is performed using a boiler operated by biogas energy, another boiler that receives heat input from the biogas is used to treat water and supply hot water to residential areas. Electrolysis produces hydrogen and oxygen gas which can be used for treating metals, processing food, refinement of petroleum, and as fuel.

Figure 9 shows the relationship between the velocity of air and wind power in the wind cycle using the blue line. With increasing velocity of air, the wind power also increases. For an increase in velocity of air from 4 m/s to 8 m/s the wind power increases from 0 W to 11 MW. The relation can be observed as power increases at an increasing rate since the power output is proportional to the cube of velocity. Most of the power generated from the wind turbine is consumed in electrolysis at around 70%. The remainder is used to power the air conditioning cycle, refrigeration cycle, and heat pump cycle.

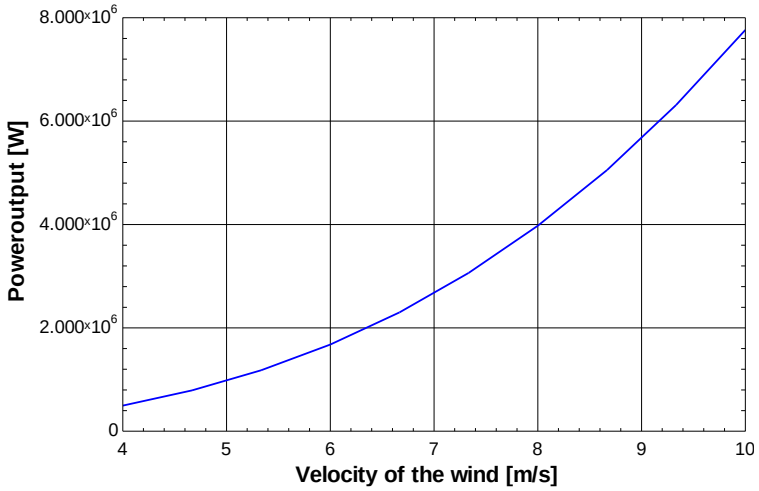


Figure 9. Effect of the velocity of air on wind power.

Figure 10 shows the relationship between the number of cows on a farm and biogas heat generation using the blue line. On increasing the number of cows on the farm, biogas heat generation also increases. For an increase in the number of cows from 50 to 300 the biogas heat generation increase from 0.1 MW to 0.7 MW. Biogas is used to provide heat input to boilers at the single-stage desalination and water treatment plant.

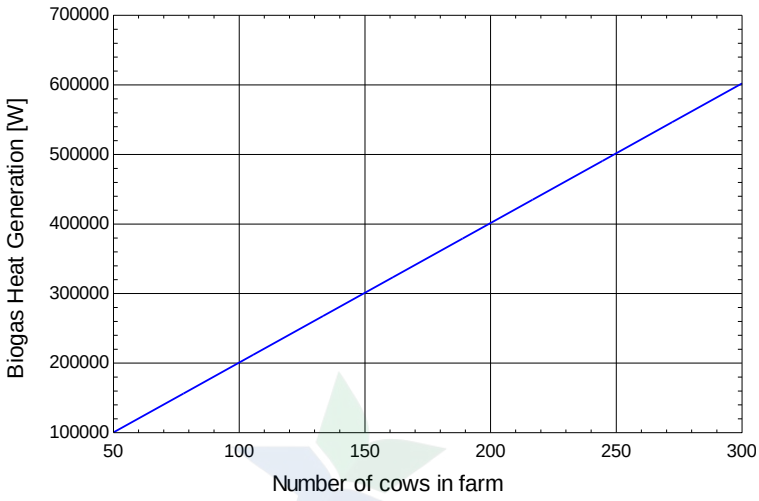


Figure 10. Effect of number of cows on biogas heat generation.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Figure 11 shows the relationship between the velocity of the air and the exergetic efficiency of the air-conditioning cycle, heat pump, refrigeration cycle, and overall exergetic efficiency. It is seen that on increasing the velocity of the air that the exergetic efficiency of the air-conditioning cycle, heat pump, and refrigeration cycle decreases, whereas the overall exergy remains the same. For an increase in the velocity of air from 6 m/s to 8 m/s, the exergetic efficiency varies between 0 to 1.

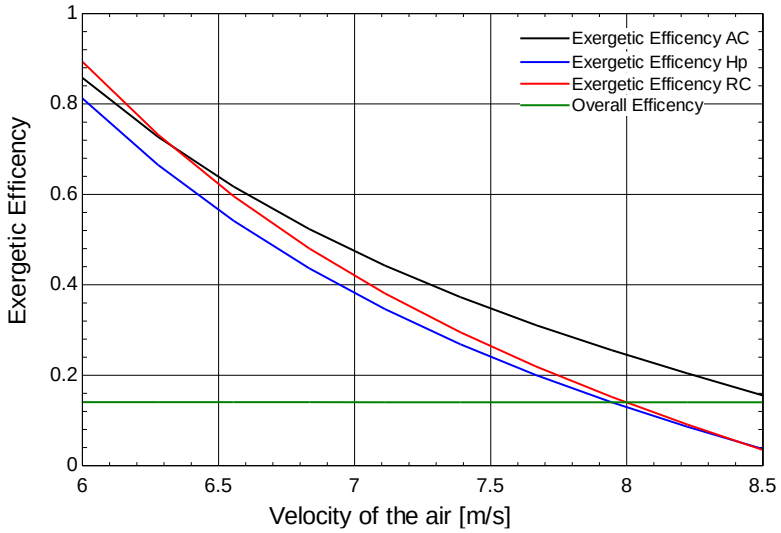


Figure 11. Effect of the velocity of the air on exergetic efficiency of the air-conditioning cycle, heat pump, refrigeration cycle, and overall exergetic efficiency.

Figure 12 shows the relationship between the number of cows on the farm and the exergetic efficiency of the desalination plant, water treatment plant, and overall exergetic efficiency. It can be seen that on increasing the number of cows on the farm from 50 to 120 the overall exergy decreases but later it increases from 120 to 300 and there are two sources which are being powered; one is the desalination plant and the other is the water treatment plant. Overall exergy follows the same trend as for desalination and water treatment. In this case the velocity of the air is kept constant which results in none of the vapor compression cycle varying.

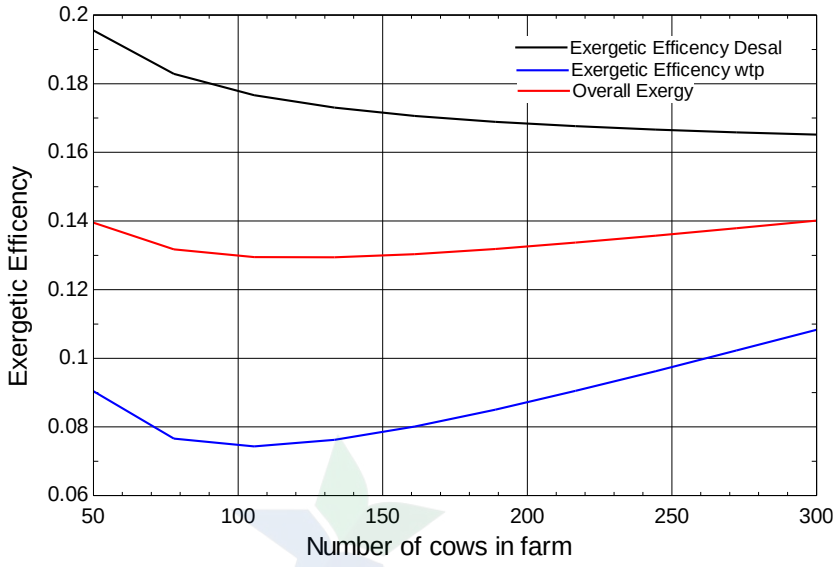


Figure 12. Effect of number of cows on exergetic efficiency of the desalination plant, water-treatment plant, and overall exergetic efficiency.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Figure 13 shows the relationship between the velocity of air and the COP of the air-conditioning cycle, heat pump, and refrigeration cycle. It can be seen that on increasing the velocity of the air the COP of the air-conditioning cycle, heat pump, and refrigeration cycle decreases. For an increase in the velocity of air from 6 m/s to 8 m/s, the COP decreases from 8 to 1.

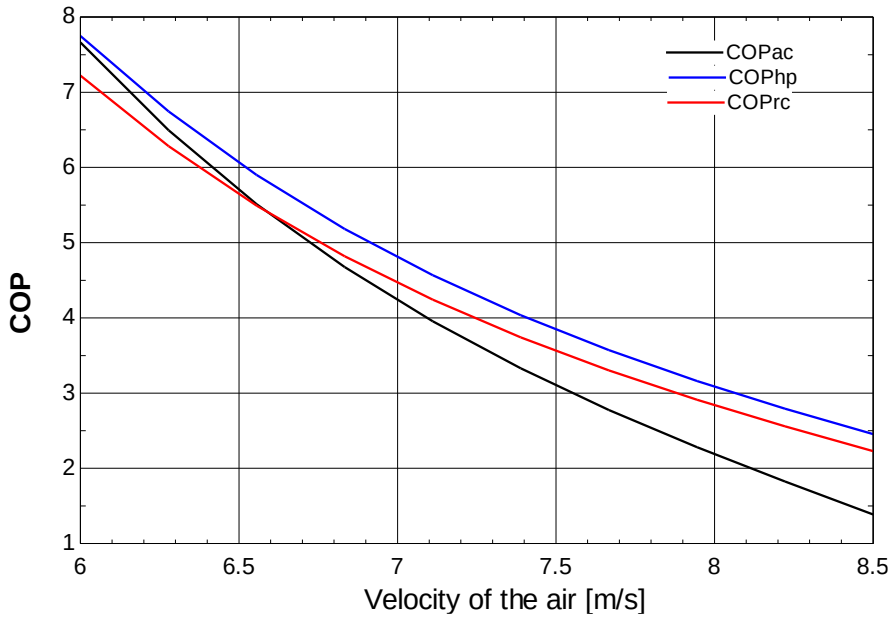


Figure 13. Effect of the velocity of the air on COP of heat pump, refrigeration cycle, and air-conditioning cycle.

Figure 14 shows the relationship between the current and mass flow rate of hydrogen. Most of the power supplied by the wind turbine is consumed for hydrogen production, hence the maximum current is produced; the voltage is kept constant at 2 V for the electrolysis process. It can be observed that with increasing the current the mass flow rate of hydrogen increases. For an increase in current from 0 A to 50 A the mass flow rate of hydrogen increases from 0 to 1.3×10^{-7} kg/s black line. The mass flow rate of oxygen also increases from 0 to 2.5×10^{-8} kg/s green line.

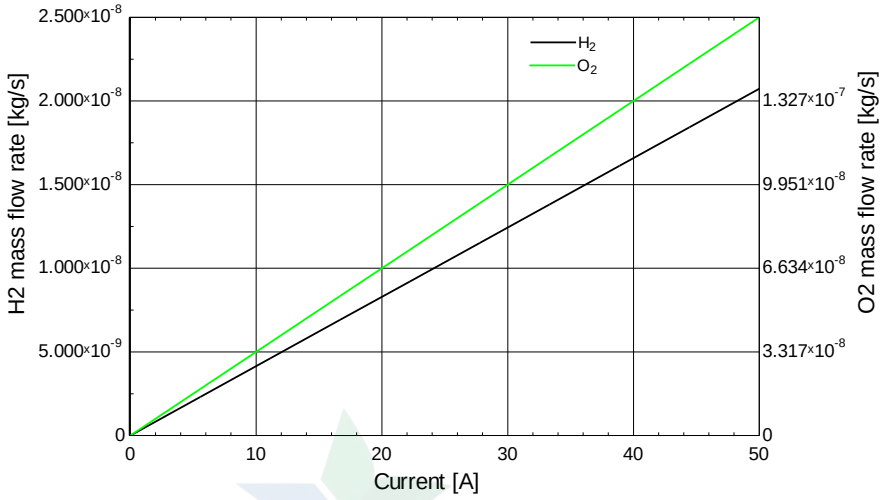


Figure 14. Effect of current on the mass flow rate of hydrogen.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Figure 15 shows the relationship between the number of cows on the farm and the desalinated water flow rate. It can be seen that with increasing the number of cows on the farm the desalinated water flow rate also increases. For an increase in the number of cows on a farm from 50 to 300 the desalinated water flow rate increases from 20 kg/s to 160 kg/s.

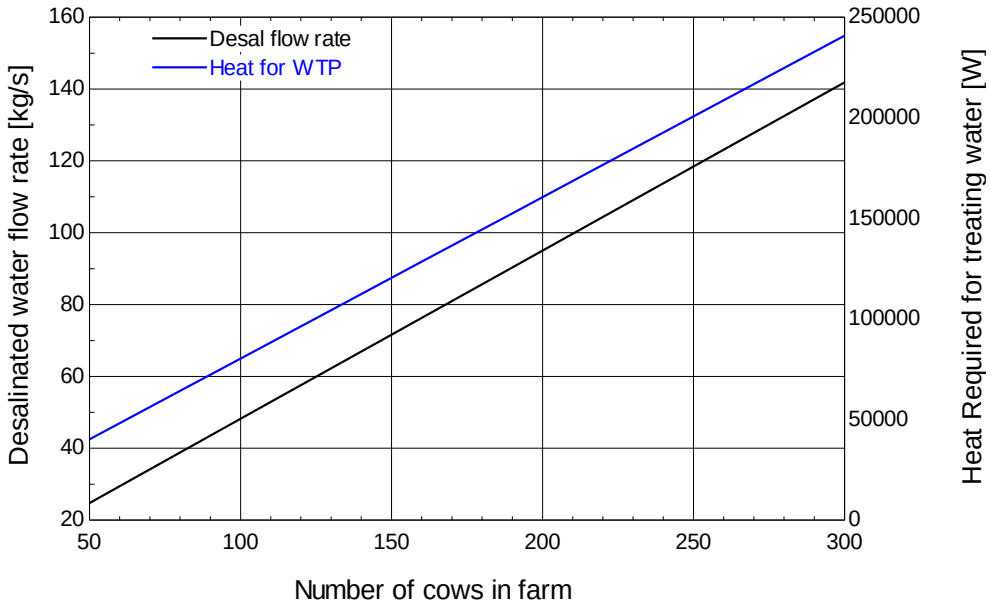


Figure 15. Effect of number of cows on a farm on desalinated water flow rate.

Figure 16 shows the exergy efficiencies of different processes. It can be seen that air-conditioning cycles have the highest exergy efficiency and electrolysis has the lowest exergy efficiency. The exergy efficiencies of air-conditioning, desalination plant, electrolysis process, heat pump, refrigeration cycle, water treatment plant, and overall exergy efficiency are 0.2447, 0.1652, 0.6055, 0.1287, 0.1394, 0.1083, and 0.1401 respectively.

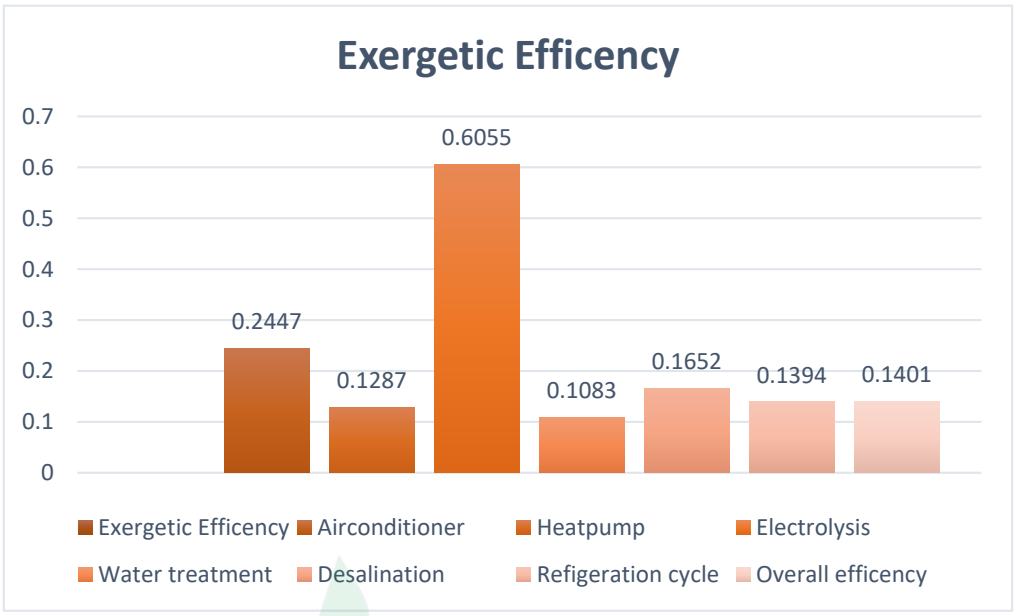


Figure 16. Exergy efficiency of different components.

The root locus method was used to study the stability of the system. If for a bounded input, there is bounded output then the system is said to be stable. If all the poles lie on the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

right-hand side of the poles zero graphs, then the system is stable. If even a single pole lies on the left-hand side of the graph the system is said to be unstable. Root locus varies the gain of the system and plots the poles zero graphs; it allows the user to analyze and identify the parameters of the control system within which the system should be operated. A transfer function could be either a first-order system, second-order system, or at maximum a third order system for the multigeneration cycle. Hence for heat pumps, air conditioners, refrigeration cycle, and electrolysis, a first-order system is used, while for water treatment, desalination, and for power generation a cycle zero-order system is used.

A PID controller is used to stabilize the system response and make the system respond quickly. The PID autotune function is available in MATLAB which provides the best proportional, integral, derivative, and filter coefficient values for the system. In the case of the air conditioner, these values are P = 1.338, I = 0.08912, D = −1.457, and N = 0.126. Figure 9 shows that earlier the tuned response system was highly unstable and the thermostat was not maintained until 100 s, however, afterwards the tuning system can achieve a steady state in 60 s with negligible oscillations.

In the air-conditioner, refrigeration cycle, and heat pump the first-order system was considered. Figure 17 shows that when the root locus is plotted, it results in a horizontal line on the left side of the zero poles graph. Because all the poles are lying on the right-hand side of the graph then any range of mass flow rates could be applied across these sub-cycles hence the system is stable at any available point. In a study conducted by [28], the response time of the compressor was experimentally and mathematically calculated, and the time constant for the air compressor was observed to be 30 s. Hence 30 s was used as the time constant for the refrigeration cycle transfer function. Figure 18 shows the root locus plot of the vapor compression cycle.

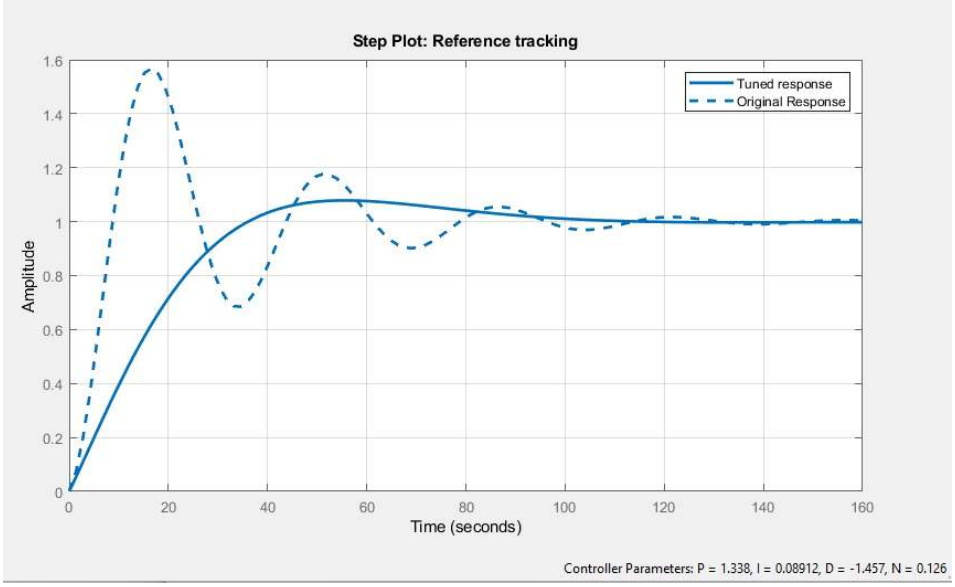


Figure 17. Time response of vapor compression cycle before tuning and after tuning.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

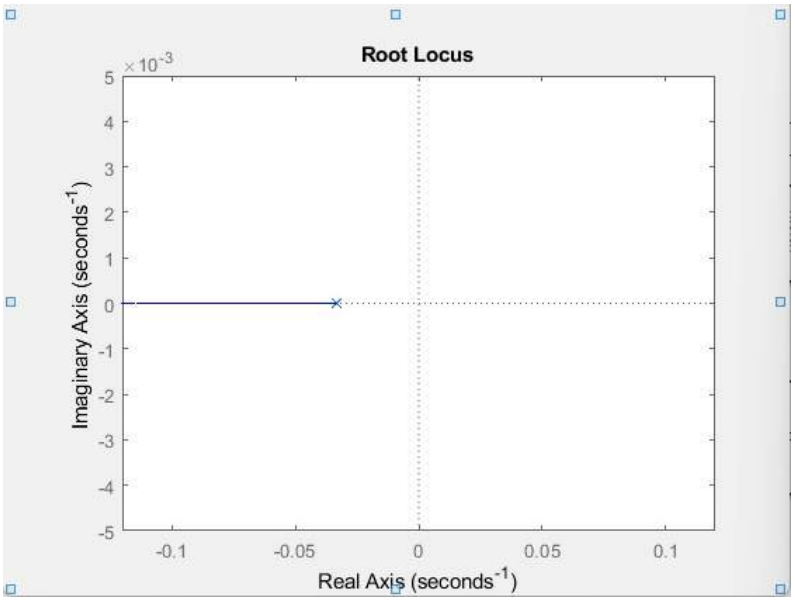


Figure 18. Root locus plot of vapor compression cycle.

For the electrolysis transfer function, the first order system was applied. Electrolysis is performed by supplying DC to a brine solution which results in the production of hydrogen and oxygen gas. The PID was also integrated with electrolysis by Simulink. After tuning, the electrolysis achieved a faster system response and tuned values were obtained as in Figure 19.

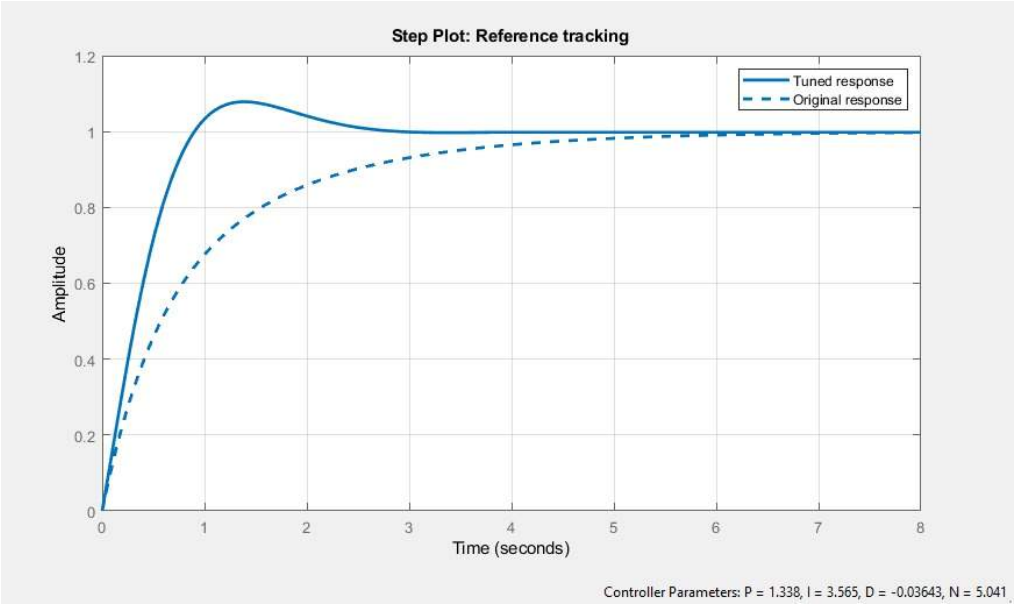


Figure 19. Time response of electrolysis system before tuning and after tuning.

Battery time response has been studied in multiple literature examples. This multi-generation cycle time constant of 0.75 s is in reference to the study by [29] which is used in the Simulink first-order transfer function. Figure 11 shows PID tuned response; obtained values for the tuned response were P = 1.338, I = 3.565, D = −0.03643, and N = 5.041. Before, the tuned response system reaches a steady state at 4 s, afterwards the tuned response system can achieve a steady state at 2 s for the electrolysis system.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Figure 20 shows that when the root locus plot is plotted a horizontal line on the left-hand side of the real axis is generated. Since none of the poles lies on the right side of the pole zero plot, the system is considered stable.

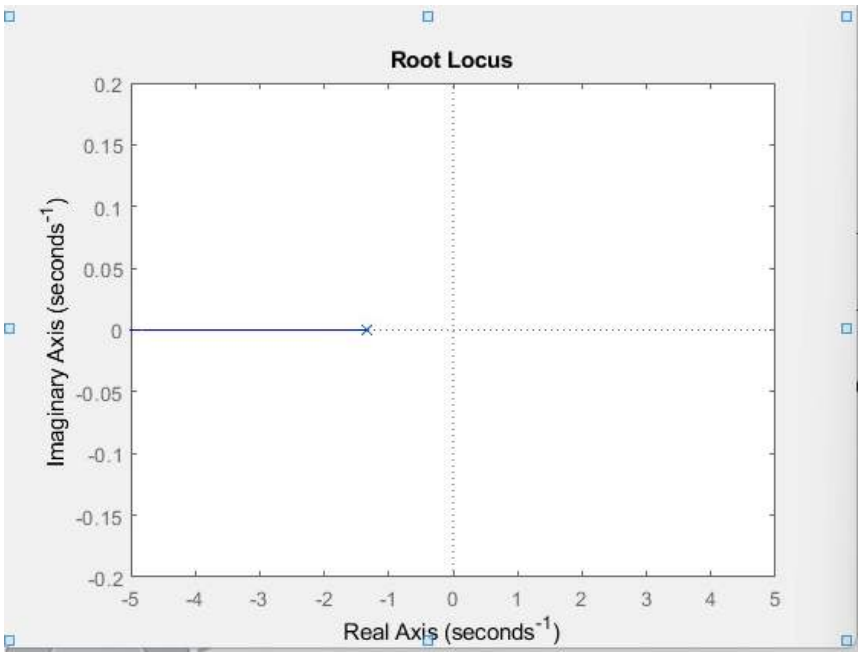


Figure 20. Root locus plot of electrolysis system.

There were several key finding and results obtained from this study. Overall exergetic efficiency for operating this multigeneration cycle was equal to 0.1401. For having wind airspeed of around 7–8 m/s and using biogas produced from the manure of 200–300 cows in a farm, 140 kg/s desalinated water flow rate was obtained, while 5×10^{-7} kg/s of hydrogen gas, and 5×10^{-6} kg/s of oxygen gas were obtained from the electrolysis. The Simulink steady state thermodynamic model was built successfully. In addition, tuned PID parameters were obtained for the individual cycles, and the root locus graph was plotted to determine the stability of the thermodynamic cycles.

4. Discussion

The method used to analyze the multigeneration cycle was performed using the methodology of previous literature. However, the parametric and requirements for this system were different from other studies. To validate the study performed, the system was modeled using the available parameters from the studies. After a comparison of the results, the percentage differences for the gas production, power input, power output, and exergy efficiency from the available literature were obtained. Table 2 shows deviation of the results for the calculations from different sources. Since most of the values are close to each other, the model used tended to generate accurate results like the other similar studies conducted. For the vapor compression cycle, the difference in exergy efficiency is 0.0% from Cengel's [27] vapor compression cycle model. Similarly, for the other cycles like wind power, biogas production, and electrolysis the difference from the literature is negligible. For desalination the thermodynamic model prepared is novel, for this reason energy and exergetic analysis comparison isn't available N/A; this analysis can only be determined by changing the operational standard. A limited library is available for thermodynamic modeling in Simulink. In this study the multigeneration system for sustainable cities was thermodynamically analyzed using both EES and Simulink software. Additionally, the best transfer function obtained for the individual components from the literature was used to obtain steady state response through tuning of the PID controller. Finally, a root locus plot was provided to identify the stability of the processes of the multigeneration system.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 2. Validation table for the results obtained.

	Mass H_2/Power Input/Power Output			Exergy Efficiency			Source
	Present	Published	Difference	Present	Published	Difference	
Vapor Compression Cycle	1.81	1.82	0.5%	56%	56%	0.0%	[27]
Wind Power	8100	7792	4.0%	0.8607	0.845	1.8%	[30]
Biogas Production	9430	9391	0.4%	N/A	N/A	N/A	[25]
Electrolysis	0.06561	0.06562	0.015%	0.6054	0.6055	0.017%	[31]
Desalination	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	[26]

5. Conclusions

For this proposed multigeneration cycle, wind and biogas were used as power generation. For the energetic and exergetic analyses, the cycle was modeled on EES software. The combined exergetic efficiency was equal to 14%; the major contributor to the loss of overall exergy was due to biogas since most of the energy obtained from the biogas is lost. Other results included the COP of the refrigeration cycle and heat pump. The amount of hydrogen and oxygen produced was also calculated for different current cycles. Fresh water was produced using the desalination process and hot water was produced using the heat from the heat exchangers. The cycle was also modeled in Simulink using Python integrated into MATLAB to use the Cool Prop library. After identifying the expected order of the system for each component of the cycle, components were tuned for the PID controller while root locus plots were obtained. Currently, there is a limited library available for thermodynamic modeling in Simulink and for other programming software. The one which is available does not provide accurate readings for some of the refrigerants/working fluids. For future work, the transfer functions could be obtained from the actual compressor, pump, boiler, and heat exchanger to improve accuracy. A better controller could be introduced to improve tuning. In addition, the Simulink model could be improved to model a more complex cycle.

Author Contributions: Conceptualization, T.A.H.R. and K.K.; methodology, U.B. and H.A.; software, F.A. and M.A. (Mohammed Alkahtani); formal analysis, U.B., H.A., T.A.H.R. and K.K.; investigation, F.A. and M.A. (Mohammed Alkahtani), E.M. and M.A. (Moath Alatefi); resources, F.A. and M.A (Mohammed Alkahtani). All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: The authors extend their appreciation to the Deputyship for Research & Innovation, Ministry of Education in Saudi Arabia, for funding this research work through project no. (IFKSURG-615).

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

Acknowledgments: The authors extend their appreciation to the Deputyship for Research & Innovation, Ministry of Education in Saudi Arabia, for funding this research work through project no. (IFKSURG-615).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Ahmadi, P.; Dincer, I.; Rosen, M.A. Development and assessment of an integrated biomass-based multi-generation energy system. *Energy* **2013**, *56*, 155–166. [CrossRef]
2. Ozturk, M.; Dincer, I. Thermodynamic analysis of a solar-based multi-generation system with hydrogen production. *Appl. Therm. Eng.* **2013**, *51*, 1235–1244. [CrossRef]
3. Dincer, I.; Zamfirescu, C. Renewable-energy-based multigeneration systems. *Int. J. Energy Res.* **2012**, *36*, 1403–1415. [CrossRef]
4. Cohce, M.; Dincer, I.; Rosen, M. Energy and exergy analyses of a biomass-based hydrogen production system. *Bioresour. Technol.* **2011**, *102*, 8466–8474. [CrossRef]
5. Filho, P.A.; Badr, O. Biomass resources for energy in North-Eastern Brazil. *Appl. Energy* **2004**, *77*, 51–67. [CrossRef]
6. Hughes, E.E.; Tillman, D.A. Biomass cofiring: Status and prospects 1996. *Fuel Process. Technol.* **1998**, *54*, 127–142. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

7. Lian, Z.; Chua, K.; Chou, S. A thermoeconomic analysis of biomass energy for trigeneration. *Appl. Energy* **2010**, *87*, 84–95. [CrossRef]
8. Liu, H.; Shao, Y.; Li, J. A biomass-fired micro-scale CHP system with organic Rankine cycle (ORC)—Thermodynamic modelling studies. *Biomass-Bioenergy* **2011**, *35*, 3985–3994. [CrossRef]
9. Gnanapragasam, N.V.; Reddy, B.V.; Rosen, M.A. Optimum conditions for a natural gas combined cycle power generation system based on available oxygen when using biomass as supplementary fuel. *Energy* **2009**, *34*, 816–826. [CrossRef]
10. Al-Sulaiman, F.A.; Dincer, I.; Hamdullahpur, F. Energy and exergy analyses of a biomass trigeneration system using an organic Rankine cycle. *Energy* **2012**, *45*, 975–985. [CrossRef]
11. Safari, F.; Dincer, I. Development and analysis of a novel biomass-based integrated system for multigeneration with hydrogen production. *Int. J. Hydrogen Energy* **2019**, *44*, 3511–3526. [CrossRef]
12. Khalid, F.; Dincer, I.; Rosen, M.A. Energy and exergy analyses of a solar-biomass integrated cycle for multigeneration. *Sol. Energy* **2014**, *112*, 290–299. [CrossRef]
13. Moradi, R.; Marcantonio, V.; Cioccolanti, L.; Bocci, E. Integrating biomass gasification with a steam-injected micro gas turbine and an Organic Rankine Cycle unit for combined heat and power production. *Energy Convers. Manag.* **2020**, *205*, 112464. [CrossRef]
14. Pääkkönen, A.; Joronen, T. Revisiting the feasibility of biomass-fueled CHP in future energy systems—Case study of the Åland Islands. *Energy Convers. Manag.* **2019**, *188*, 66–75. [CrossRef]
15. Dalkilic, K.; Ugurlu, A. Biogas production from chicken manure at different organic loading rates in a mesophilic-thermopilic two stage anaerobic system. *J. Biosci. Bioeng.* **2015**, *120*, 315–322. [CrossRef]
16. Yin, D.-M.; Qiao, W.; Negri, C.; Adani, F.; Fan, R.; Dong, R.-J. Enhancing hyper-thermophilic hydrolysis pre-treatment of chicken manure for biogas production by in-situ gas phase ammonia stripping. *Bioresour. Technol.* **2019**, *287*, 121470. [CrossRef]
17. Feng, L.; Ward, A.J.; Guixé, P.G.; Moset, V.; Møller, H.B. Flexible biogas production by pulse feeding maize silage or briquetted meadow grass into continuous stirred tank reactors. *Biosyst. Eng.* **2018**, *174*, 239–248. [CrossRef]
18. Okeh, O.C.; Onwosi, C.O.; Odibo, F.J.C. Biogas production from rice husks generated from various rice mills in Ebonyi State, Nigeria. *Renew. Energy* **2014**, *62*, 204–208. [CrossRef]
19. Sevinchan, E.; Dincer, I.; Lang, H. Energy and exergy analyses of a biogas driven multigenerational system. *Energy* **2018**, *166*, 715–723. [CrossRef]
20. Siddiqui, O.; Dincer, I.; Yilbas, B. Development of a novel renewable energy system integrated with biomass gasification combined cycle for cleaner production purposes. *J. Clean. Prod.* **2019**, *241*, 118345. [CrossRef]
21. Ehyaei, M.; Ahmadi, A.; Rosen, M.A. Energy, exergy, economic and advanced and extended exergy analyses of a wind turbine. *Energy Convers. Manag.* **2019**, *183*, 369–381. [CrossRef]
22. Mohammadi, A.; Ahmadi, M.H.; Bidi, M.; Joda, F.; Valero, A.; Uson, S. Exergy analysis of a Combined Cooling, Heating and Power system integrated with wind turbine and compressed air energy storage system. *Energy Convers. Manag.* **2017**, *131*, 69–78. [CrossRef]
23. Fakehi, A.H.; Ahmadi, S.; Mirghaed, M.R. Optimization of operating parameters in a hybrid wind–hydrogen system using energy and exergy analysis: Modeling and case study. *Energy Convers. Manag.* **2015**, *106*, 1318–1326. [CrossRef]
24. Air-Density vs. Pressure and Temperatures. Available online: https://www.engineeringtoolbox.com/air-temperature-pressure-density-d_771.html (accessed on 14 February 2023).
25. Samah, E. *Measuring Small-Scale Biogas Capacity and Production*; International Renewable Energy Agency (IRENA): Masdar City, United Arab Emirates, 2016.
26. Kalinci, Y.; Hepbasli, A.; Dincer, I. Exergoeconomic analysis and performance assessment of hydrogen and power production using different gasification systems. *Fuel* **2012**, *102*, 187–198. [CrossRef]
27. Cengel, Y.A.; Boles, M.A.; Kanoğlu, M. *Thermodynamics: An Engineering Approach*; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 2011; Volume 5.
28. AbdulKareem, M. Experimental Investigation and Mathematical Modelling of Pressure Transfer Function for Air Compressor. *Int. J. Eng. Technol.* **2018**, *7*, 950. [CrossRef]
29. Amin; Bambang, R.T.; Rohman, A.S.; Dronkers, C.J.; Ortega, R.; Sasongko, A. Energy Management of Fuel Cell/Battery/Supercapacitor Hybrid Power Sources Using Model Predictive Control. *IEEE Trans. Ind. Informatics* **2014**, *10*, 1992–2002. [CrossRef]
30. Chaudhry, Q.Z. An investigation on wind power potential of Gharo-Sindh, Pakistan. *Pak. J. Meteorol.* **2009**, *6*, 5–9.
31. Calculating the Mass of Hydrogen Produced in a Cell. Available online: https://www.nagwa.com/en/videos/890136320897/ (accessed on 14 February 2023).

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

buildings

MDPI

Article

Community-Focused Renewable Energy Transition with Virtual Power Plant in an Australian City—A Case Study

Chengyang Liu, Rebecca Yang *, Kaige Wang and Jiatong Zhang

Solar Energy Application Lab, School of Property, Construction and Project Management, RMIT University, Melbourne, VIC 3000, Australia; chengyang.liu2@rmit.edu.au (C.L.)
* Correspondence: rebecca.yang@rmit.edu.au

Abstract: The global transition to a renewable-powered economy is gaining momentum as renewable energy becomes more cost-effective and energy-efficient. Renewable-energy-integrated Virtual Power Plants (VPPs) are capable of facilitating renewable transition, reducing distributed generator impacts, and creating value for prosumers and communities by producing renewable energy, engaging in the electricity market, and providing electricity network functions. In this paper, we conducted a case study in the City of Greater Bendigo to evaluate the challenges and opportunities of the community-focused renewable energy transition through establishing VPP with community-based renewable generators and storage systems. A reinforcement learning algorithm was formulated to optimise the energy supply, load shifting, and market trading in the VPP system. The proposed VPP system has great potential to improve the economic value and carbon emission reduction performance of local renewable resources: it can reduce 50–70% of the case study city's carbon emissions in 10 years and lower the electricity price from the current range of 0.15 AUD/kWh (off-peak) −0.30 AUD/kWh (peak) as provided by Victorian Essential Services Committee to 0.05 AUD/kWh (off-peak) (peak). Overall, this study proposed a comprehensive framework to investigate community-based VPP in a complex urban environment and validated the capability of the VPP in supporting the renewable transition for Australian communities.

Keywords: community-focused; case study; distributed renewable energy; reinforcement learning; virtual power plant

check for updates

Citation: Liu, C.; Yang, R.; Wang, K.; Zhang, J. Community-Focused Renewable Energy Transition with Virtual Power Plant in an Australian City—A Case Study. *Buildings* **2023**, *13*, 844. https://doi.org/10.3390/buildings13040844

Academic Editors: Benedetto Nastasi and Antonio Caggiano

Received: 16 February 2023
Revised: 11 March 2023
Accepted: 22 March 2023
Published: 23 March 2023

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Cities and their inhabitants consume more than 75% of global energy production and contribute 80% of glasshouse gas emissions [1]. According to the United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA), the global population has increased from 751 million in 1950 to 4.2 billion in 2018, with a projected increase to 7 billion by 2050 [2]. With rising population and energy consumption, it is critical to accelerate the energy transition and urban sustainable development.

There are numerous options to improving urban sustainability, including active approaches, such as introducing renewable energy alternatives, and passive approaches, such as demand shift, demand reduction, etc. Among these options, distributed renewable energy (DRE) such as solar photovoltaic (PV) is garnering increasing interest in both research and the market. DRE can (1) reduce carbon emissions, (2) increase energy fairness, supply security, and independence, and (3) minimise dependency on large-scale energy infrastructure investment [3].

However, there are many challenges faced by DRE in urban areas such as limited physical space for installation, compliance with building safety requirements, reduced access to natural resources due to urban density (i.e., reduced solar exposure caused by shading and instable air flow in high-density built areas), the low conversion rate of the DRE system, unstable output of the DRE, impacts to the public electricity grid, etc.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Therefore, a formidable energy management system is essential amid the growth of DRE in the urban environment.

As a novel energy management concept, virtual power plants (VPPs) are gaining increasing research interest. A VPP is a network of distributed generators (DG) and energy storage systems (ESS), in which these integrated elements are able to participate in the energy market as a single entity and own the function similar to a conventional power plant (CPP) by, for example, participating in the electricity wholesale market, providing electricity network services such as ancillary frequency control and load control, or serve as a backup generator in the circumstance of outage.

In contrast to a CPP, a VPP operates differently in several aspects:

(1) A VPP relies heavily on communication and control systems to adjust its dispatch strategies [4,5];
(2) The primary sources of electricity generation in a VPP are distributed energy resources (DERs) located at various locations [6–8];
(3) The participants in a VPP are often referred to as prosumers, as they not only consume electricity but also produce and contribute to the grid [9,10];
(4) VPPs' functionality in the public grid largely relies on energy storage systems which transform the intermittent power flow of the DERs into stabilised and scheduled outputs [11–13].

With the rapid growth of distributed renewable energy systems in the urban environment, it is important to assess the challenges and opportunities of adopting VPPs for effective regulation and management of the DGs. There are several review papers in this field examining the different factors of VPP studies. In 2012, a review paper [14] provided a general overview of VPPs, including their logical framework, control strategies, and optimization. The authors of this paper investigated numerous studies and European VPPs and identified the need for better prediction tools and optimization methods for real-world VPP projects.

A more recent review paper, [15], provided a detailed review of uncertainties involved in the VPP studies. This review identified and discussed three categories of uncertainty: renewable energy generation, market prices, and electricity demand. The authors pointed out that future studies should pay more attention to the structural uncertainties caused by the connection status of DERs. Another review paper [16] summarised the architecture and optimization techniques of VPPs and provided a summary of the best optimization techniques based on operational strategies. Additionally, ref. [17] assessed the risk management strategies adopted in VPP studies and concluded that current VPP studies still have a limited scope regarding risks, which are mostly related to renewable generation and market dynamics.

These review papers highlighted the need for improved prediction tools that are capable of capturing the increasing uncertainties in a broader operating environment of VPPs, optimization methods that are robust under greater complexities of the VPPs' operating strategies, and risk management approaches that provide thorough consideration in a comprehensive spectrum of VPPs' operation goals. Additionally, they suggest the importance of considering uncertainties and the flexibility of VPPs in energy markets. However, most of the previous papers investigated technical benefits and risks from the standpoint of the VPP system itself.

As pointed out in [17], future VPP studies should consider factors beyond technologies or algorithms. VPPs are sophisticated systems that interact with DERs, electricity infrastructure, urban environment, communities, and the end-users. Therefore, the impacts of VPPs require further investigation from the community level with the consideration of the VPPs' costs and benefits, carbon emission reduction capability, and the impacts to the local supply network. VPPs may have the potential to support the constantly growing penetration of DRE systems in cities and reshape the energy landscape of communities by providing cleaner and cheaper energy. However, changes in urban environments can also have significant impacts on VPPs in many ways. Population density, urban planning, and community

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

socioeconomic status play important roles in urban infrastructure [18,19] and may also affect the development and operation of VPPs. Consequently, suitable problem-solving approaches and effective research framework are required to cope with the uncertainties and complexities of deploying VPPs in diverse communities.

Therefore, this study aims to evaluate the challenges and opportunities of community-focused renewable energy transition through the establishment of VPPs with community-based renewable generators and storage systems. A case study was performed for community-based VPPs with a sample size of 235 communities. A detailed modelling and information capturing was carried out using geospatial analyses and K-Means Clustering, to capture and describe the renewable energy resources and supply and demand profiles. Reinforcement learning was selected as the optimisation and control solution to tackle the uncertainties and complexities of the case study communities' diverse demand and supply conditions. This paper is structured as follows: The rest of Section 1 presents a literature review on the present studies of VPPs in terms of VPP operation strategies, modelling, and problem-solving techniques. Section 2 covers the research design and the process of implementing the VPP framework in the case study. The detailed research methods and processes are presented in Section 3, followed by the findings and discussion in Section 4. Finally, Section 5 discusses the conclusion of this study along with research limitations and recommendations for future work.

1.1. Literature Review

1.1.1. VPPs' Risks and Benefits for Prosumers and Communities

VPP development and operation is a multi-party process involving service providers, consumers, prosumers, legislators, and local communities. However, the majority of the previously stated profit-enhancing or risk-reduction measures are primarily applicable to VPP systems or VPP operators [20]. Although it is critical to ensure that VPPs perform optimally when participating in the electricity market, the success of VPPs is largely dependent on the participation and interaction of all stakeholders, as an electricity supply system that may involve substantial investment and significant impacts on urban development [21].

The previous studies in this domain mostly focus on investigating the economic potential of VPPs by optimising their operation strategies in the energy market. For example, [22,23] provided the optimisation of a VPP's profitability of participating in the energy market through frequency control ancillary services and energy trading. The authors of [24–26] investigated the optimisation of the VPP system's operation cost and penalty due to system instability, while [27,28] evaluated the VPP's cost and benefits through reducing greenhouse gas emission.

Although the previous research has developed a comprehensive understanding of the benefits of VPPs as an entity, there is a lack of consideration for the benefits and risks for end-users and communities where the VPPs are based. The participation of prosumers and the communities is one of the essential criteria in the implementation of VPPs [29], for its reliance on the cooperation and aggregation of distributed prosumers. However, in most previous research, the end-users in the VPP framework are considered as flexible loads [13,30] or simply as the source of revenue for the VPP entities.

Distributed renewable energy systems face challenges in achieving commercial viability due to their low capacity and unstable output, as summarised in [31]. Without a well-performing control and optimisation strategy, these distributed resources can also have negative impacts on the public grid, which may require extra costs for balancing supply and demand [32–34]. Furthermore, DRE systems heavily rely on energy storage systems [3], which can significantly increase costs [32]. These economic uncertainties can pose potential economic risks to the communities and end-users greatly, and hinder the renewable transition.

VPPs can play a crucial role in reducing the economic risks of renewable energy through effective management of DRE systems [17]. By integrating DRE systems into the public grid, VPPs can also contribute to reducing overall electricity prices in the market,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

making renewable energy more affordable for all. In particular, communities with limited purchasing power may benefit from access to cheaper and cleaner energy by participating in VPP networks. Hence, it is essential to gain a deeper understanding of the potential role that VPPs can play in powering communities with distributed renewable resources.

1.1.2. Modelling and Problem-Solving Techniques in VPP Studies

As an energy system interacting with various demand patterns, generation patterns and energy market conditions, the modelling of VPP involves numerous uncertainties such as weather forecasting, demand forecasting, market price forecasting, etc. [15]. The two commonly adopted modelling methods are deterministic modelling, which create sophisticated calculation models for renewable energy systems, the VPP control system, user demand, and energy market [24,35], and stochastic modelling, which represents the VPP components with probability models [22,36,37]. In addition, some studies also use actual data records of generators' output or user demand instead of modelling them [30].

In terms of problem-solving methods such as optimisation and control strategies, the commonly used approaches can be categorised as heuristic approaches and mathematical approaches. Mathematical approaches, such as linear or nonlinear programming, usually adopt regression methods to seek the global or local optimality within the VPP's operation constraints [38,39]. Although these mathematical optimisation approaches are well-developed methodologies, their application to VPP is under critique due to their vulnerability when dealing with uncertainties and their insensitivity to the global optimality [13,15].

Heuristic approaches, such as particle swam optimization, agent-based optimisation, machine-learning-based heuristic control, and optimisation, have more flexibility when dealing with uncertainties and can identify the global optimal more easily [40]. However, as pointed out in [13], these methods may be ineffective for achieving local optimal. This is due to the fact that, given a small population size, the optimisation algorithm typically treats significant contingency events, such as demand spikes and market price spikes, as outliers, despite the fact that these contingencies may be essential for enhancing the energy conservation and economic performance of the VPP.

In addition, with increasing renewable energy options, technique innovation, and a complex operation environment, it was found in [13] that the modelling process for the VPP system is increasing in complexity. Hence, a more robust and effective problem-solving and modelling approach should be introduced to provide optimised decision-making for VPP implementation. As a branch of machine learning, reinforcement learning (RL) is a potent tool for assisting decision making in dynamic situations. RL approaches can provide robust optimisation for different scenarios [41,42] in the application of energy network control and optimisation.

1.1.3. Summary of Literature Review

To sum up the findings of the literature review, it is found that although previous studies in the domain of VPP made significant contributions in investigating the optimisation of VPP operations with various mathematical or heuristic approaches, most of these studies have a limited focus on the VPP's benefits and profitability for the VPP system itself or the operator of the VPP. The risks and benefits for end-users and local communities are rarely discussed. Additionally, current problem-solving techniques for VPP research have met their limitations in dealing with the growing uncertainties and complexities of implementing VPP in urban environments. To address these research gaps and limitations through this research, we conducted a case study in an Australian city with a novel RL-based VPP framework. The case study evaluated VPP's performance in carbon emission reduction, profitability, and benefits for end-users.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

1.2. Research Contributions

VPPs operate in complex and uncertain environments, where temporal and spatial dynamics such as supply/demand conditions, demographic profiles, renewable energy resources, urban growth, population growth, and corresponding demand growth can significantly impact their performance. The implementation of VPPs also faces broader challenges and uncertainties, such as long-term economic viability and socioeconomic values, which require in-depth analyses of VPP operations in urban environments. Therefore, a comprehensive understanding of the operational complexities and potential impacts of VPPs is crucial to ensure their effectiveness and sustainability in the long run. Hence, this study aims to further explore the challenges and opportunities of using VPPs in an Australian city's context. The main research objectives of this study are:

(1) To implement a conceptual VPP framework in an Australian city;
(2) To model the VPP's performance for urban communities across an Australian city;
(3) To optimise VPP performance for urban communities across an Australian city;
(4) To evaluate the technoeconomic impacts of VPP and provide discussion and suggestions for future development and policy making

The significance of this study can be summarised into the following two aspects: (1) This study focuses on the research gaps on community-oriented VPP operation and addresses technoeconomic opportunities and challenges for communities and end-users. (2) This study proposes a research framework in the context of community environment and utilises a multi-disciplinary approach to address the uncertainties and complexities.

2. Case Study of Community-Based VPPs

2.1. VPP Implementation Case Study in an Australian City

To investigate the VPP's efficacy in supporting the community-based renewable energy transition, we conducted a case study in the urban area of the City of Greater Bendigo. The City of Greater Bendigo is located near the geographical centre of Victoria, Australia [43], and is the third largest city in Victoria. The urban and rural areas of Bendigo cover nearly 3000 km^2 [44] and are home to 111 thousand people [45]. The City of Greater Bendigo has a strong commitment towards sustainable urban environment. According to an environment strategy report by the City Council of Bendigo, the city encourages the transition to sustainable urban development and has a target to achieve 100% renewable energy in 20 years. However, it is unclear how the renewable systems can deliver the expected effects in carbon reduction and economic viability. In addition, most of the distributed PV and home battery systems have low visibility to the grid operator, which poses a challenge to the grid's stability and brings more uncertainties for future planning on the electricity supply infrastructure.

In this research, we adopt statistical area level 1 (SA1) as the community unit for modelling and data analysis. The statistical area hierarchy is introduced in Australian Statistical Geography Standard (ASGS) [46] to reflect the social geographic location of people and communities. Among the statistical area hierarchy, SA1 is designed to maximise the geographic detail available for Census of Population and Housing data while maintaining confidentiality. This study covers an area of 235 SA1s in the City of Greater Bendigo (Figure 1). The study area is limited by the light detection and ranging data (LiDAR) coverage area in the City of Greater Bendigo. The LiDAR data collected on March 2020 by the Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP) covers in total 235 SA1s of the City of Greater Bendigo. The LiDAR data were used to identify and measure the rooftop PV coverage, urban solar potential, building parameters, and shading impacts.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

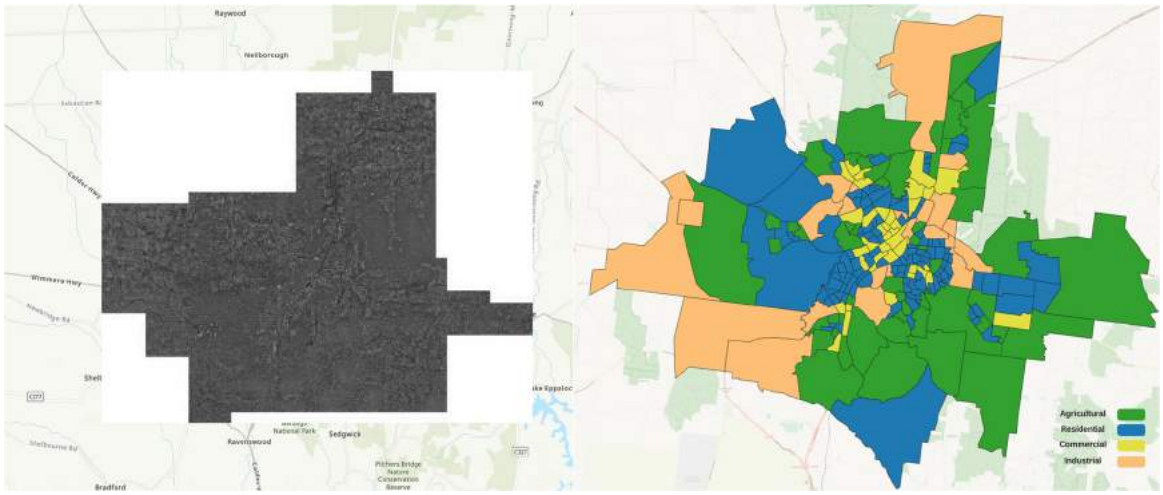


Figure 1. LiDAR coverage in City of Greater Bendigo (**Left**) and the studied SA1s in this project (**Right**).

2.2. Implementing a VPP Research Framework in Community Context

To conduct the case study, a research framework was designed to implement the VPP network in the City of Greater Bendigo (Figure 2). To provide comprehensive analyses of the VPP implementation with the local communities' urban environment conditions, supply–demand conditions, and socioeconomic and demographic profiles, this research employed multiple methods including geospatial information system (GIS) processing and analysis, system modelling, demand data mining, and reinforcement learning.

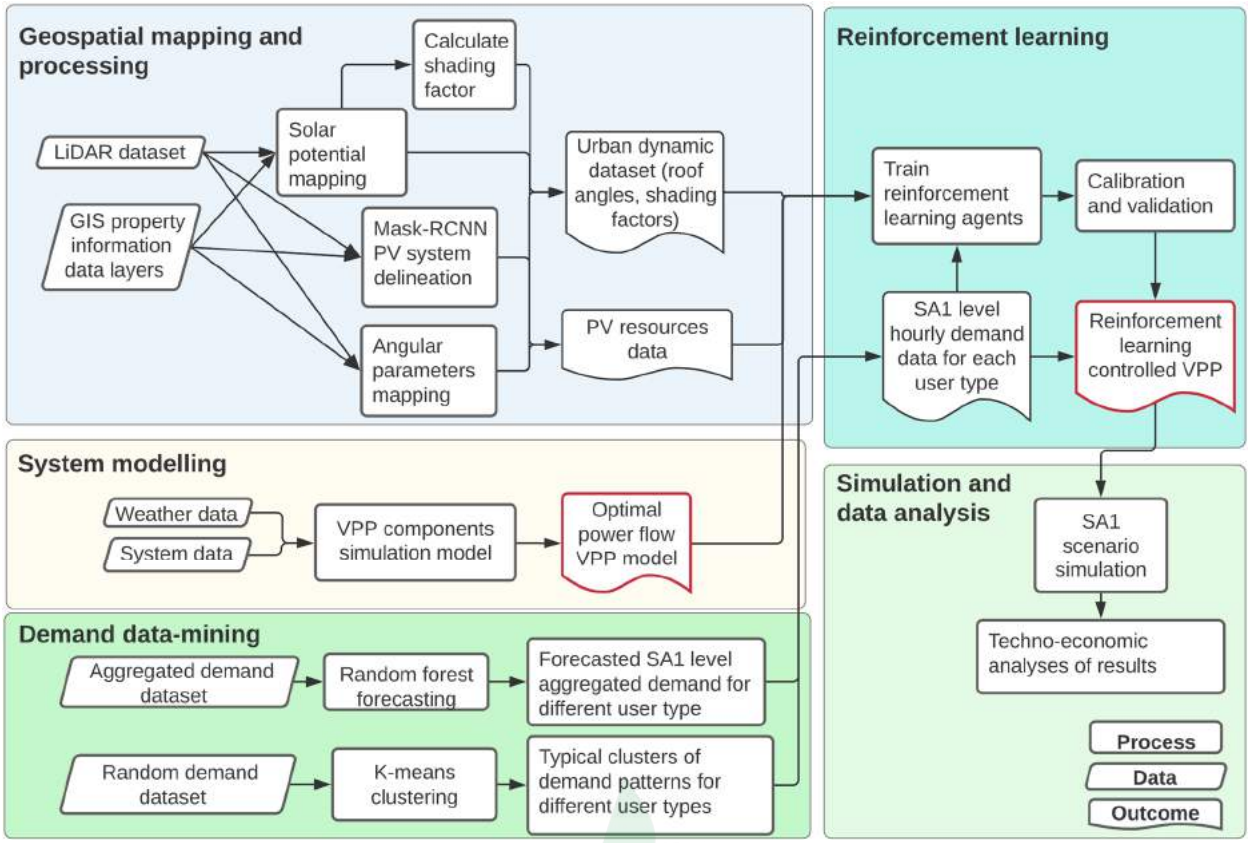


Figure 2. Summary of the research process.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

The research process involved four main steps. Firstly, VPP components were modelled and the supply and demand conditions of multiple communities were characterised using geospatial mapping, demand data mining, and system modelling. Secondly, a reinforcement learning control system was established and trained using random populated sample supply/demand, PV output, and market data to adopt the optimal distributed resources management policy. Thirdly, the trained RL models were deployed to the communities. The VPP simulations were carried out within each of the 235 communities under multiple scenarios of renewable resources and battery capacity. The VPP operation considered the interaction of communities' load, storage capacity, PV generation, and electricity market at an hourly interval. Finally, technoeconomic analyses were conducted to evaluate the VPP's performance in terms of carbon emissions, economic impact, and grid impacts. The detailed process of steps 1–3 is covered in Section 3 and the data analyses results and discussion are presented in Section 4.

3. Data Processing, Modelling, Optimisation, and Simulation for Community-Based VPPs

3.1. Geospatial Mapping and Processing

GIS is a powerful tool which facilitates a better understanding of urban environment dynamics and local resource distribution. In this part of the study, GIS data on the City of Greater Bendigo were collected, and GIS platforms (QGIS and ArcGIS) and processing tools were adopted to analyse the geographic data and map the urban environment and PV resources. In this study, the GIS data were collected from the Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP) of the Victoria State Government. The dataset includes the LiDAR data of digital surface model (DSM), high resolution aerial image, building height model (BHM), and property footprint. The DSM data were used to create the case study city's roof angular profile including azimuth (Figure 3) and tilt angle (Figure 4).

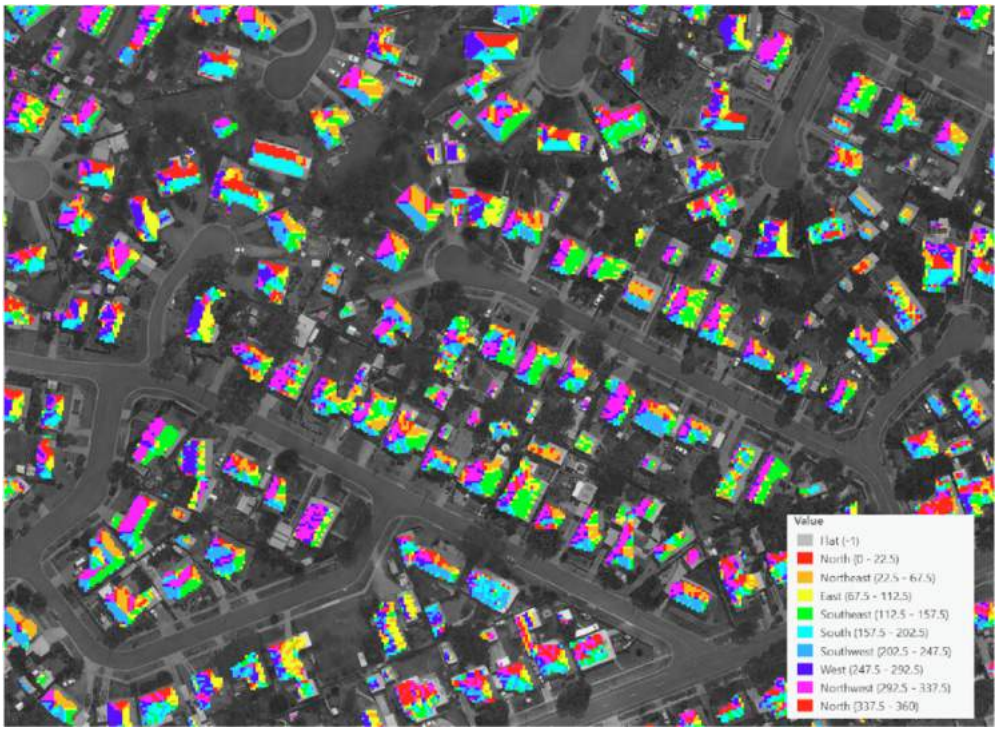


Figure 3. Roof azimuth angle raster layer calculated using BHM and QGIS Aspect function.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

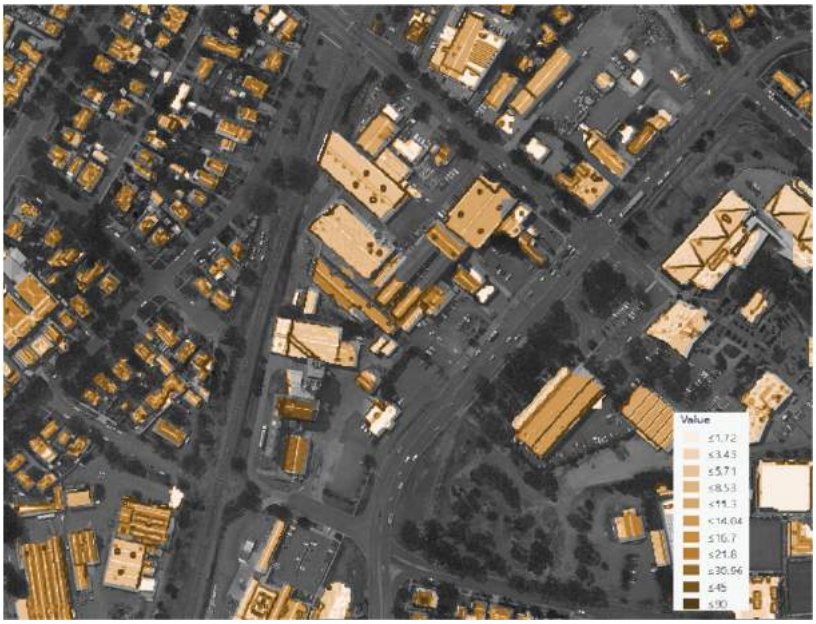


Figure 4. Roof tilt angle raster layer calculated using BHM and QGIS Slope function.

BHM was used as an input raster to determine the azimuth angles of building rooftops. The aspect function in the QGIS toolkit was used to generate the azimuth angle raster layers. A rooftop's azimuth angle (aspect) is its angle of departure from north (0°). It has a range of 0 to 360 degrees, with 0 representing north and 180 degrees indicating south. The aspect function in QGIS returns the azimuth distribution of the input BHM (Figure 3). The azimuth raster was coloured to illustrate different angular values. Each rooftop's azimuth angle was then exported as an attribute table, which was subsequently utilised to simulate rooftop PV.

The tilt angle, like the azimuth angle, is an important angular parameter for simulating PV output. The Slope function in QGIS takes the BHM as input and generates the rooftop tilt angle layer. The tilt angle layer, like the azimuth angle layer, was coloured to show the angle values (Figure 4).

Furthermore, GIS-based approaches were used to identify both existing and potential solar PV resources in the case study city. With the high-resolution aerial image data and the Mask R-CNN [47] image recognition algorithm, the existing PV systems installed on Bendigo rooftops were delineated. Based on the angular parameter and shading impact factor, the solar PV potential mapping of the rooftop PV in the case study area was created (Figure 5). The GIS processing outcome of PV delineation, azimuth angle, tilt angle, and potential mapping was used in the following sections for PV modelling and simulation.



Figure 5. Rooftop solar irradiation potential raster.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

3.2. System Modelling

The system modelling in this study comprises the modelling of the PV system, battery energy storage system (BESS), the control mechanism of the VPP, and the energy market. The modelling was carried out using MATLAB and Simulink. To simulate the operation of the PV system, the following factors were taken into consideration: (1) Plane of array (POA) irradiance; (2) Solar position; (3) Losses caused by heat transfer; (4) Losses caused by the inverter, mismatch, wiring, shading, dust, etc. On the one hand, POA irradiance, solar position, and heat loss are closely related to the GIS-defined urban environment profile, which was sophisticatedly modelled to enable the analysis of different input scenarios. The model adopted the PVlib toolbox developed by Sandia National Lab [48]. The modelling of a storage system mainly requires inputs of system specifications such as charge/discharge rate, maximum capacity, and efficiency. The reference value for BESS is based on the specifications of the TESLA Powerwall [49].

3.3. Demand Data Mining

Energy consumption data were provided by the case study city's local distribution network service provider: PowerCor. The dataset included an aggregated customer-type-based dataset for postal areas and 3000 de-identified samples with categories of different property purposes: residential, commercial, industrial, agricultural (coded as R, C, I, and A, respectively). A data-mining approach integrating Random Forest (RF) and *K*-means Clustering was used to extract the features of the sample demand data and reconstruct the demand dataset for the four user types in each SA1 cluster.

The data mining process comprised the following steps: (1) Train the RF model with sample postal-area-level input features and validate the results at the postal area level, (2) Establish the RF forecasting model on expanded postal-area-level input features and validate the results at the postal area level, (3) Train the RF model on postal-area-level input features to forecast the SA1-level consumption profile, (4) *K*-means clustering of the de-identified sample to extract the consumption profile for each type of user, and (5) Reconstruct SA1-level demand patterns based on clustered profiles and the forecasted SA1-level consumption profile.

Additional input variables of the user type composition, population density, and dwelling density for each SA1 and postal area were acquired from ABS to create a prediction model with RF that could estimate a SA1-level aggregated consumption profile from postal area demand data. The following input features were labelled on the aggregated postal area demand data: (1) Season, (2) User type, (3) User type count, and (4) User type ratio.

The *K*-means approach was adopted for the clustering of the random sample data to identify the typical demand patterns among different user types in the City of Greater Bendigo. *K*-means is one of the most fundamental but efficient unsupervised learning algorithms for data mining [50]. The goal of *K*-means clustering is to seek the optimal clustering policy that has the minimal total squared errors across all defined clusters, which can be described using the following equations:

$$E_K(a, b) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (a - b_i)^2} \quad (1)$$

where, E_K is the Euclidean distance of each cluster, a is the cluster mean, and b_i are the members of the defined cluster. The objective of the *K*-means approach is to minimise the aggregated E across all K clusters:

$$\min(E_K) = \sum_{j=1}^{K} E_K(a, b) \quad (2)$$

The process of using *K*-means clustering to establish typical demand patterns is shown in Figure 6. The dataset was divided into four sections by user type during the pre-processing stage. Following that, each sub-dataset was divided into four seasons, which generated sixteen independent datasets. The K parameter should be established

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

after the sixteen independent datasets are ready for clustering. Because the goal of *K*-means clustering is to minimise total squared errors across all clusters, inertia analysis was performed to calculate the within-cluster sum of squared errors (WCSS). In the inertia analysis, the WCSSs in each *K* were displayed in a line chart to show the reduction in inertia. A suitable *K* divides the dataset into *K* clusters, resulting in a considerable reduction in inertia when compared to the inertia in *K* 1 clusters. Following the selection of *K*, each independent dataset was grouped into *K* clusters using the *K*-means algorithm. Each cluster indicates a group of people who have the same customer type and use similar amounts of electricity during a given season.

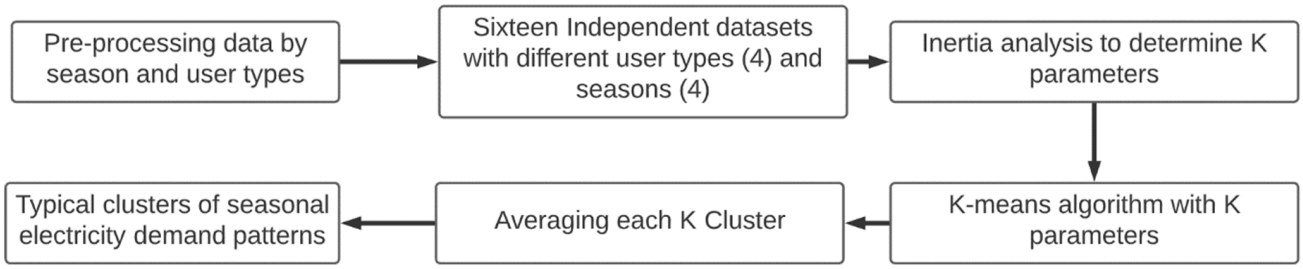


Figure 6. Establishing typical seasonal SA1 demand profiles with *K*-means.

Shown in Figure 7 is a sample of the reconstructed demand pattern. Each row of Figure 7 shows one month's electricity demand profile (kWh) for all residential users in one sample SA1. The outcome is the hourly interval demand data for each type of user in each SA1 of the City of Greater Bendigo. The reconstructed hourly demand pattern was then amplified to fit the aggregated SA1 electricity consumption in each SA1 for each user type. The models used in the demand data mining process were cross-validated multiple times at the postal area level to ensure its efficacy as far as possible. However, it remains a limitation that the true fidelity of this approach cannot be verified on a more detailed level (i.e., SA1 level), due to the lack of ground truth data at the SA1 level and the de-identification of the sample user data.

3.4. Reinforcement Learning VPP Operation Model

To operate the VPP under uncertainties and complexities in the urban environment and provide optimised control decisions, this study applied an RL-based approach to model the VPP control system. The concept of RL is very similar to human behaviour patterns when we observe and learn about the world. We learn something by obtaining sufficient positive feedback and learn that something is incorrect or dangerous by receiving negative feedback. Similar to human learning, the foundation of RL is the Markov Decision Process (MDP), which defines the procedure by which RL agents interact with the environment. MDP provides a control model for decision making in a discrete and stochastic process. The MDP creates an environment for the decision maker, in our case, an artificial intelligent entity (agent). In the MDP environment, the agent generates actions to change the states of the environment randomly. The changes result in the reward the agent can obtain and the probabilities of future state transitions. The agent's objective is to select actions to maximise the long-term measure of total reward.

In this study, the RL-controlled VPP system is capable of adjusting electricity trading and scheduling strategies based on the observation and forecast of the users' demand, the national energy market (NEM) electricity price for wholesale and ancillary services, and the renewable energy systems' output. In total, four RL agents were trained under the four demand patterns, namely A, C, I, and R. The RL agent applies the deep deterministic policy gradient (DDPG) algorithm to construct its deep neural network through training iterations. The VPP system structure was modelled in Simulink with a MDP environment embedded. The RL system's objective function is to maximise the economic benefits and minimise the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

losses in the operation of a VPP by providing demand shifting and participating in the electricity market. The objective function can be formulated as the following equation:

$$max\ CF = \sum_{t=1}^{T} p_{vpp}(t) \times k_{market}(t) + abs(p_{ancillery}\ (t)) \times k_{ancillery}\ (t) \quad (3)$$

where CF is the total cashflow of all timesteps, $k_{market}(t)$ is the AEMO-recommended retail price used to estimate the cash flow for trading with the public grid, and $k_{ancillery}\ (t)$ is the AEMO ancillary services market price used for estimating ancillary services incomes.

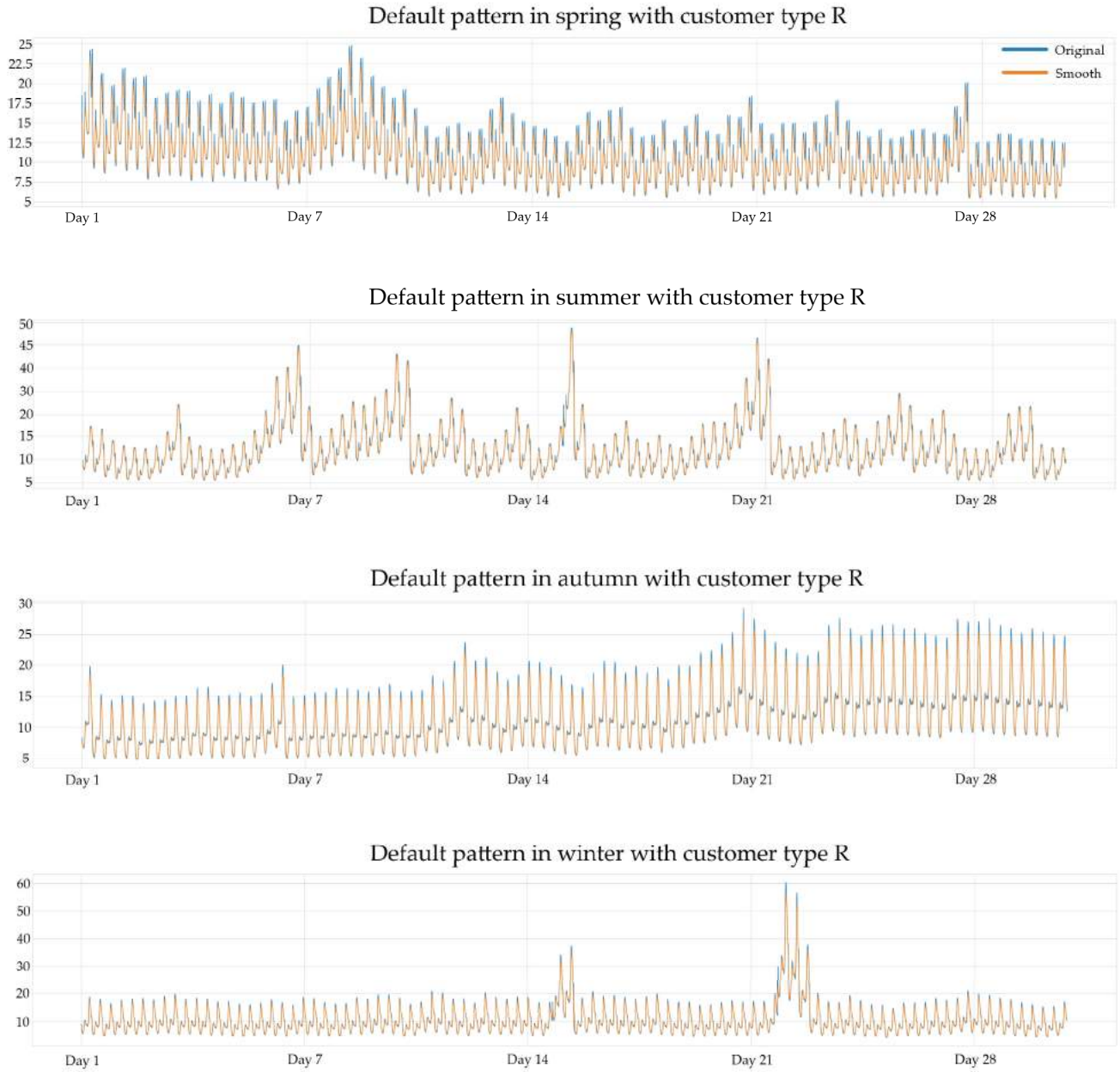


Figure 7. Sample reconstructed SA1 level demand pattern for residential users in four seasons (kWh).

With the objective function defined, the reward function for the RL system can then be formulated with the following three components: (1) the objective reward (R_{obj}), (2) the step reward (R_{move}), and (3) the finishing reward (R_{madeit}). The reward function for the RL system can be described as:

$$max\ R = \sum_{t=1}^{T} [R_{obj}(t) + R_{move}(\mathrm{t})] + R_{madeit} \quad (4)$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

R_{obj} is modified from the objective function (Equation (4)) to represent the actual cash flow of the VPP system.

3.5. Multi-Scenario Simulation and Analysis

The multiple scenario analysis of this study simulated and investigated the impacts of different VPP operation strategies under the different scenario cases. When generating scenario cases, this research considered the spatial and temporal dynamics of the urban environment in terms of the demand/supply changes, market changes, etc. The following aspects were considered in the scenario settings:

Scenario group A: Scenarios of potential PV coverage

Based on the PV system delineation results, the PV coverage scenario was established, considering solar potential, rooftop orientation, the slope of the roof, and the rooftops' financial viability for deploying PV systems. The scenarios were as follows: (1) Base case with currently detected solar panels, (2) Medium coverage ratio scenario (25% of total available rooftop), (3) High coverage ratio scenario (50% of total available rooftop).

Scenario group B: Scenarios of electricity storage facilities

The PV/battery ratio is an essential factor to be considered when designing a distributed PV system. Many studies have investigated the coverage ratio impact of PV systems and battery systems on self-sufficiency capability and economic performance [51–54]. However, most of these studies applied scenario analyses that investigate different ratios' performance. The recommended ratio ranges from 50% to 200%, as can be found in these studies. Based on a recommended system ratio from an Australian State Government document, the baseline ratio in this research was set for 70% of the PV system capacity [55]. For scenario group B, three cases were introduced: (1) base case scenario without battery capacity, which affects the base case VPP operation scenario only, (2) battery capacity of 70% PV capacity, (3) battery capacity of 140% PV capacity, and (4) battery capacity with 210% PV capacity.

Scenario group C: Scenarios for electricity demand growth

This study considered a demand growth of 5 years to reflect the future demand conditions. The current demand is based on the demand data as introduced in Section 3.3. The 5 years' demand growth is forecasted using the estimated demand growth rate recommended by Australian Department of Industry, Science, Energy and Resources (DISER) [56]. In the DISER's 2020 report, the recent growth rate for 2019–2020 is used to estimate the five years' growth in the near future.

4. Findings and Discussions

This section discusses the feasibility of a distributed renewable energy management system—VPP from the following aspects: (1) Carbon emission reduction, (2) Project economic performance, (3) User electricity price reduction and (4) Consumption efficiency measured by load factor.

4.1. Carbon Emission Reduction Performance of VPPs

Figure 8 presents the histogram of the simulation results of carbon emission reduction ($CO_{2\text{-e}}$) with VPP implemented in each SA1. The emission reduction was calculated using Equation (5), where C_{e-VPP} is the emission of CO_2 with VPP implemented, $C_{e-Total}$ is the total CO_2 emission, and C_{e-R} is the emission reduction rate:

$$C_{e-R} = \left(1 - \frac{C_{e-VPP}}{C_{e-Total}}\right) \times 100\% \quad (5)$$

The carbon emission reduction factor was calculated based on the carbon dioxide (CO_2) emission factor provided in [57] for electricity purchased from the grid. According to the report, in Victoria, Australia, the emission factor for CO_2 is 0.98 kg/kWh. As can be seen in Figure 8, with low PV coverage levels, the vast majority of SA1s have carbon emission reduction rates lower than 10%, and the frequency of the 0–10% group increases while

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

the demand growth scenario changes from current to future years. Increased PV coverage scenarios have a significant effect in increasing the rate of reduction of CO_2 emissions. It can also be noticed that within the same PV coverage scenario, increasing BESS capacity enlarges the group size of SA1s with higher carbon emission reduction rates.

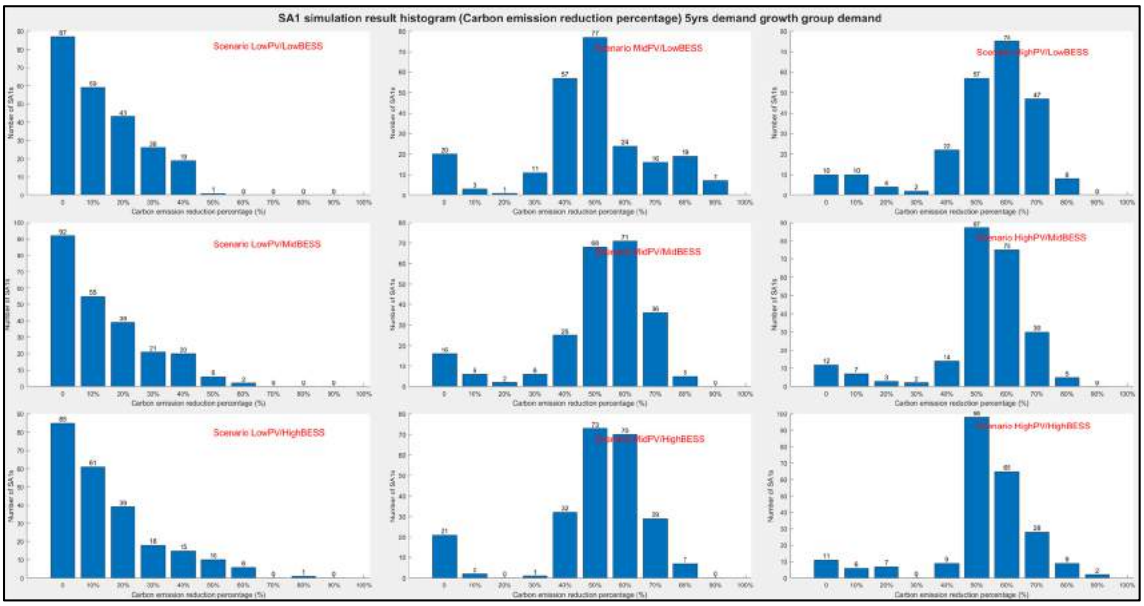


Figure 8. Histogram plots of SA1 simulation results for carbon emission reduction rate.

Figure 8 presents the histogram plots of SA1 communities' carbon emission reduction rate under different VPP operation scenarios. The X-axis represents the 10% interval of carbon emission reduction rates being measured. The Y-axis represents the count of observations that fall within each interval.

Based on Figure 8, VPPs have the potential to reduce communities' reliance on fossil fuel-based electricity. However, this capability depends on the capacity of available PV and BESS in the VPP systems. Furthermore, the figure shows that even with medium or high levels of PV coverage, around 20–30 communities in the second and third columns have low carbon emission reduction rates of less than 20%. This is likely due to extreme consumption levels in some industry or agriculture-focused communities that cannot be effectively offset by renewable generation. Therefore, while VPPs perform well in most communities with higher renewable energy and storage penetration, they may not be a one-size-fits-all solution for all communities with various demand patterns. Future investments and policy making should consider each community's suitability when evaluating VPP as a carbon emission reduction approach.

4.2. Economic Performance of VPPs Measured by 25 Years Net Present Value (NPV)

As presented in Section 4.1, the VPPs tend to have a better performance among the communities when exposed to more renewable resources and BESS capacity. Nevertheless, the increasing size of distributed PV and BESS will involve a greater amount of capital investment. Hence, it is essential to examine VPPs' costs and benefits among the multiple scenarios.

To measure the financial viability of investing in VPPs, this study calculated the VPP project's life cycle net present value (NPV) for each SA1. The NPV calculation considers a 25-year lifetime for PV and BESS systems. In the life cycle, the cost of the project includes: (1) The cost of PV systems, (2) the cost of BESS systems, (3) the cost of construction, (4) the cost of maintenance and replacement, and (5) the cost of electricity purchased from the grid. The income of the project includes: (1) Income from selling electricity wholesale, and (2) income from participating in FCAS services.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

The NPV calculation is this research applied the following equation:

$$CF_{n=1} = \frac{\left(C_{PV}+C_{BESS}+C_{E_purchase_grid}+C_{Maintenance}+I_{wholesale}+I_{FCAS}+S_{E_consumer}\right)}{(1+R)^{(n-1)}}$$
$$CF_{n} = \frac{\left(C_{E_purchase_grid}+C_{Maintenance}+I_{wholesale}+I_{FCAS}+S_{E_consumer}\right)}{(1+R)^{(n-1)}} \quad (6)$$
$$NPV = \sum_{n=1}^{25} CF_n$$

where, CF_n is the present value of annual cashflow at year n, C is the cost item, I is the income item, $S_{E_consumer}$ is the saving in expenditure on electricity by offsetting users' demand, and R is the discount rate.

Figure 9 shows the histogram of the VPPs' economic performance in each community measured by 25 years NPV. The X-axis has a range from AUD −7 to 10 million with an interval of AUD 1 million. The Y-axis shows the count of observations within each interval.

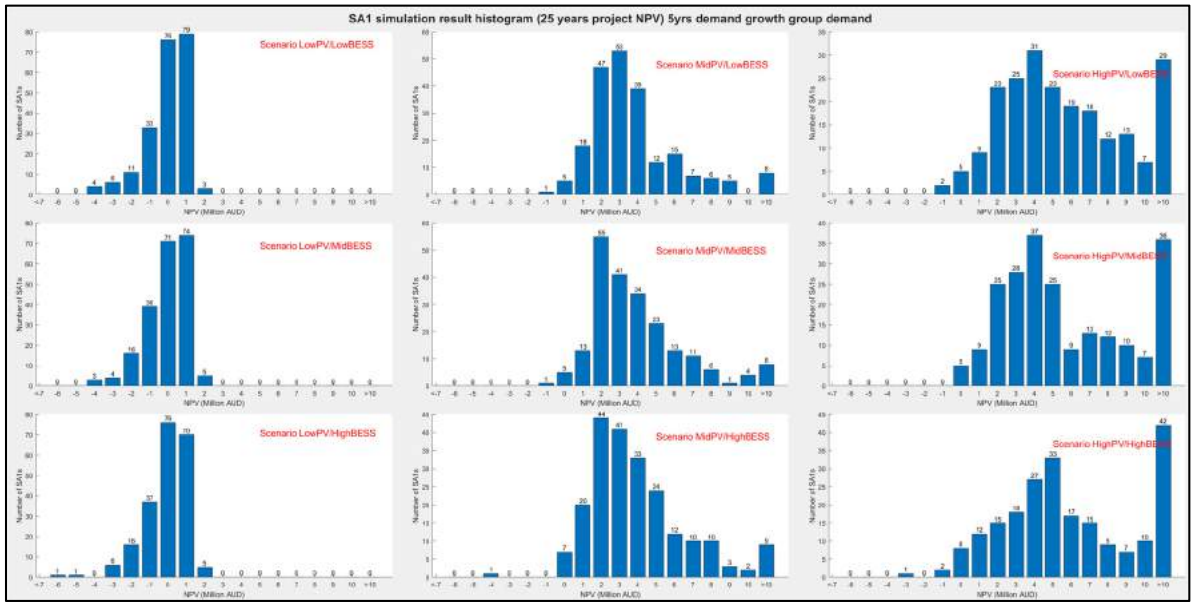


Figure 9. Histogram plots of SA1 simulation results for 25 years NPV.

It was found that the financial performance of VPP largely relies on the capacity of renewable generators and storage systems. When the capacity remains at the current level, the forecasted net present value (NPV) for investing in community-level VPP will be low. The simulation results on the 25 years project NPV indicate that with current PV coverage, most of the SA1s have low NPV or negative NPV values and the lowest NPV is around AUD −5 to −4 million. In the current scenario, around 34–35% of the SA1s have positive NPV values. This indicates that the investment in VPP with current installed PV capacity will have a relatively low expected financial payback.

When the PV coverage increases to medium or high level, the NPV among SA1s shows an increasing pattern, with over 88% of the SA1s populated above AUD 1 million in the 5-year scenario. The percentage grows up to above 90% of the SA1s with a higher NPV than AUD 1 million in the 10-year scenario. Increasing PV capacity will have a positive impact on the VPP's NPV among the SA1s. However, the increase in BESS capacity can have a double-sided effect on the project NPV. For example, if an SA1 community already has a higher estimated profit (above AUD 10 million 25-year NPV), extra BESS capacity will be more likely to further increase the profit level. On the contrary, if an SA1 community has an estimated profit of less than AUD 1 million, the extra BESS capacity that incurs more initial cost and maintenance cost will have a higher chance of reducing the exiting profit.

In summary, the economic payback and project value of the future VPP deployment largely rely on the capacity of PV and BESS system. Higher PV and BESS system capacity

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

gives VPP greater capability in demand offset and energy trading. It can also be found that the high BESS capacity can sometimes reduce project economic feasibility, which may be due to the high capital cost and maintenance cost of the BESS system.

4.3. Economic Benefits of VPP for Communities and End-Users

Based on the calculation of the NPV, this research also provides an estimation of the electricity retail price which can fully offset the cost of the VPP. The adjusted electricity was calculated using the ratio of the users' net demand after the demand offset action of VPP and the 25-year NPV in each SA1, as shown in the following equations:

$$\begin{aligned} CF'_{n=1} &= \frac{\left(C_{PV}+C_{BESS}+C_{E_purchase_grid}+C_{Maintenance}+I_{wholesale}+I_{FCAS}\right)}{(1+R)^{(n-1)}} \\ CF'_{n} &= \frac{\left(C_{E_purchase_grid}+C_{Maintenance}+I_{wholesale}+I_{FCAS}\right)}{(1+R)^{(n-1)}} \\ NPV' &= \sum_{n=1}^{25} CF'_{n} \\ P_{adjusted} &= \frac{\sum_{n=1}^{25} \left(E_{Total}-E_{VPP_User}\right) \Big/ (1+R)^{(n-1)}}{NPV'} \end{aligned} \tag{7}$$

where E_{Total} is the total demand in each SA1 and E_{VPP_User} is the user demand offset by VPP.

Figure 10 is the histogram plots of the simulation results for the adjusted electricity price with VPP operating under each scenario. The X-axis has a range from 0 to 0.1 AUD/kWh with an interval of 0.01 AUD/kWh. The Y-axis shows the count of observations (i.e., the number of SA1 communities) falling into certain intervals.

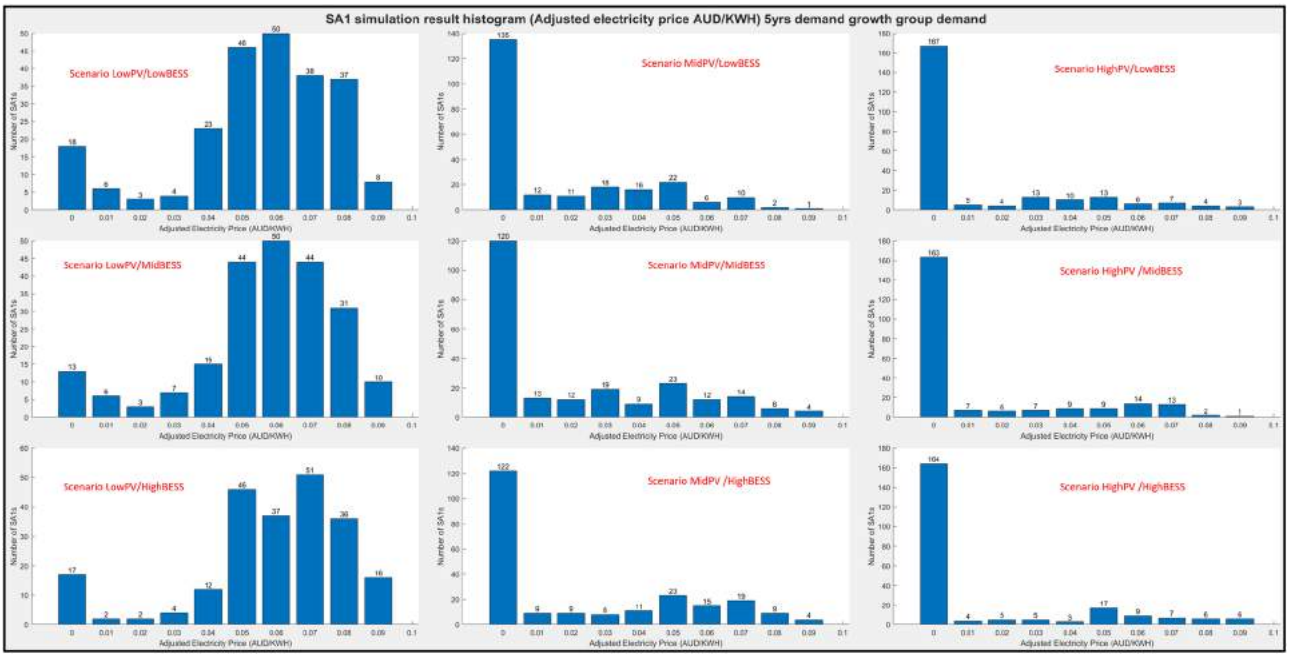


Figure 10. Histogram plots of SA1 simulation results for adjusted electricity price.

The resulting histogram plots are shown in Figure 10. It can be found that VPP's economic performance has a strong impact on reducing the electricity cost for the local communities, even with the current PV installation capacity. Most of the SA1s with current PV capacity and low BESS capacity have reduced electricity price ranging from 0.05 to 0.08 AUD/kWh, while over 50% of the SA1s have an electricity price of less than AUD 0.01. This illustrates a significant reduction compared to the Default Offer electricity price (ranging from 0.1297 to 0.3091 AUD/kWh, excluding the service charge) provided by the Essential Services Commission (ESC) of Victoria [58]. This demonstrates that the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

VPP has significant capacity in reducing the users' electricity expenditure with different demand profiles.

The results from the adjusted electricity price indicate that VPPs offer significant benefits to end-users, even at the current level of renewable energy and BESS coverage. Comparing the first column of Figures 9 and 10, it can be seen that despite the NPVs of investment being suboptimal at low-PV and BESS coverage levels, end-users would still benefit from much lower electricity prices by using VPPs. Therefore, it is recommended that government bodies and potential investors take into account the positive impact on end-users when considering VPP deployment. The successful implementation of VPPs largely depends on the increase in distributed renewable energy and storage capacity. Since a large portion of the procurement for such distributed generators comes from prosumers or households, it is crucial to demonstrate the direct benefits of participating in VPPs to end-users, prosumers, and the wider community.

4.4. Consumption Efficiency Measured by Load Factor

The load factor is an essential indicator for assessing the effects of load on the power grid. As a distributed generator network, VPP has a significant impact on grid stability. The load factor is defined as the ratio of the average load over time to the peak load over time. The electricity infrastructure is built to sustain peak loads rather than normal loads. When the load factor in a user cluster is higher, it signifies that the average load of the users is close to the peak load, indicating that the energy infrastructure in this cluster is more efficient. In contrast, if the load factor is low, it suggests that the consumers' electricity consumption is substantially lower than the peak demand that the electricity network is designed to meet most of the time. As a result, a higher load factor indicates that the electricity network is more efficient, whereas a lower load factor indicates that the network is less efficient, and the network requires more ancillary service capacity to mitigate imbalanced frequency or voltage when demand is much lower than the designed capacity.

This section provides an assessment of the VPP model's impact on the grid's consumption efficiency using load factor as an indicator. The load factor in this study was calculated using the following equation:

$$F_L = \frac{\overline{\sum_n E_{\frac{h}{n}}}}{\max\left(E_{\frac{h}{n}}\right)} \times 100\% \tag{8}$$

where F_L is the load factor as a percentage and $E_{\frac{h}{n}}$ is the hourly user demand in a year.

In this study, a comparison was made between the original load factor and the load factor under VPP control. The original load factor was calculated using the current demand data in each SA1, and a histogram plot was created (Figure 11) to show the distribution of the load factors among the SA1s. The X-axis in Figure 11 represents the range of load factor from 50 to 80% with an interval of 10%, while the Y-axis shows the count of observations that belong to each interval. The figure shows that, of the 235 SA1s, over 50% have load factors of around 60–65% and approximately 30 SA1s have load factors ranging from 65% to 80%. Over one quarter of the SA1s have load factors below 60%.

The load factor results for VPP-controlled scenarios are shown in the histogram (Figure 12). Compared with the original load factor histograms in Figure 11, the histograms of low-PV scenarios in Figure 12 show a significant decrease in the distribution pattern, with over 50% of the SA1s having lower load factors than 55%. This indicates that, when applying the VPP system at current PV coverage level, the VPP will have a negative impact on the efficiency and stability of Bendigo's electricity network. The reason is that PV has a higher output during the daytime while the users do not make their peak demand. However, the PV output is not high enough to last in the system until the peak demand. The consequence is that the PV output only reduces the average demand while the peak demand cannot be mitigated. As a result, the load factor becomes higher than in the situation without PV.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

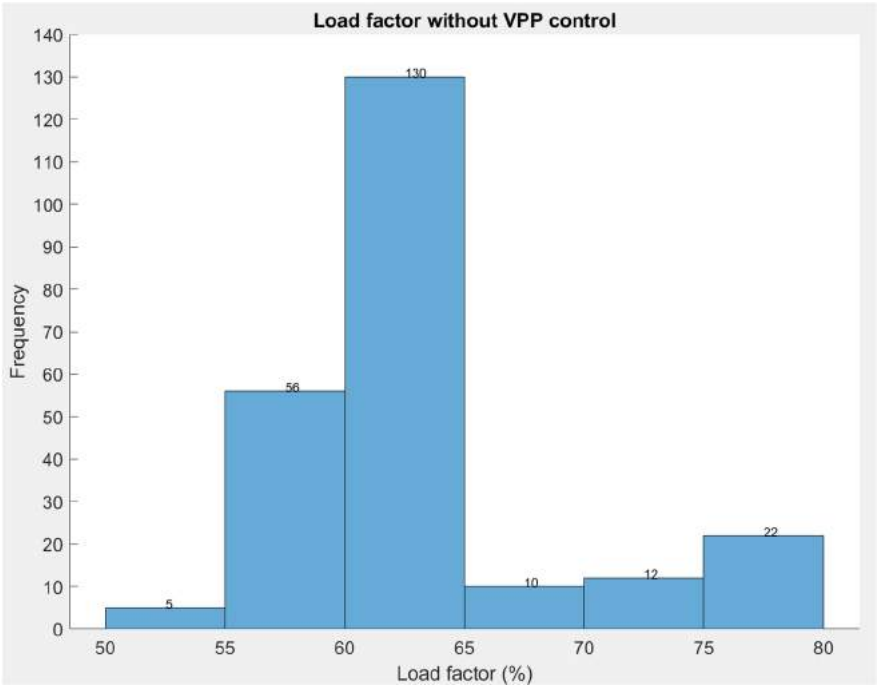


Figure 11. Histogram of SA1s' original load factors without VPP control.

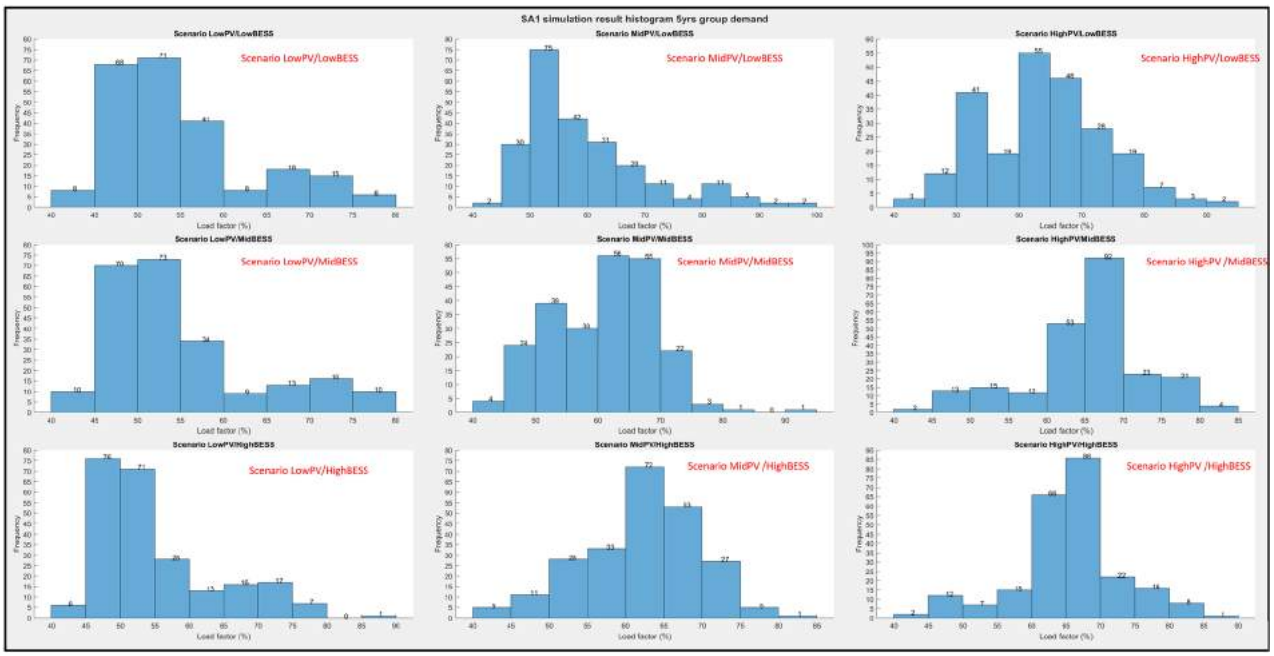


Figure 12. Histogram plots of SA1 simulation results for load factor (%).

The load factor situation is improved as the PV coverage level increases. As Figure 12 shows, in scenarios with high PV coverage and medium–high BESS scenarios, less than 25% of the SA1s have load factors lower than 60%. Furthermore, the BESS capacity shows its benefits in the medium–high PV coverage scenarios, where the scenarios with higher BESS capacity have more SA1s located in the load factor range of 65–75% compared to the scenarios with low BESS capacity.

In summary, the results of load factors presented in Section 4.4 demonstrate that there is a significant impact on the public electricity network in terms of consumption efficiency when PV and BESS coverage are low. The current renewable and storage capacity in the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sample communities are not sufficient to effectively offset the peak load among users, resulting in a reduced load factor. This could cause unexpected frequency and voltage turbulence during peak hours, which should be a concern for local network distributors. Increasing the PV and BESS capacity can significantly improve the load factor of most sample communities. However, approximately 10–20 communities experience a drop in load factors even with medium–high PV and BESS coverage. This suggests that VPP may not be a suitable option for these communities from the perspective of grid stability. It is important to consider the balance between the deployment of VPPs and the stability of the public electricity network when planning future investments and policies.

5. Conclusions and Further Research

This paper reports the results of a case study of an implementation of community-focused VPP system in an Australian city. The aim of this study is to investigate the VPP's benefits and risks for end-users and local communities. In this study, a novel VPP model with an RL-based control mechanism is introduced which is capable of operating under various demand and supply profiles within each SA1 community. Geospatial mapping and data mining approaches were utilised to capture the local renewable resources and reconstruct the demand patterns for community-based user clusters. Based on the simulation results, the data analysis provides an overview of the VPP's performance in terms of carbon emission reduction, project economic performance, electricity cost benefits for end-users and communities, and the impacts on the grid consumption efficiency.

From the investment perspective, it was found that at current PV coverage level, the implementation of VPP is not a feasible option due to the risks of low economic value, and relatively poor performance in carbon emission reduction. Nevertheless, analysis of the PV and BESS growth scenarios proves that the VPP has great potential to support the future growth of the city's renewable energy system and unlock the distributed system's values among the communities.

Ideally, with an increase in PV rooftop coverage to 25%, over 50% of the SA1 communities will have a significant reduction in carbon emissions. When the PV coverage further increases to 50% of rooftop are, over 70% of the SA1 communities will reduce the carbon emissions by half. The increasing BESS capacity has the effect of maintaining carbon emission reduction against demand growth. Compared with the scenario groups with low BESS capacity, those with mid to high systems capacity will maintain a higher carbon emission reduction rate even as the electricity consumption continues to grow.

For end-users, VPPs have great capacity in reducing the user's expenditure on electricity in all the scenarios when the adjusted electricity price lower than the Default Offer as provided by the Victoria Essential Service Commission.

The analysis of load factor indicated that with current levels of renewable energy penetration, VPPs tend to have a negative impact on the local electricity network that will lower the consumption efficiency. It is a result of the insufficient PV and BESS capacity, which reduces the average load but fails to significantly reduce the peak load. The alternative scenarios suggested that, with increasing PV and BESS capacity, VPP is capable of improving the load factors compared to the default situation.

Due to the limitations in the data collection, this research does not consider the detailed VPP operation from an electrical engineering perspective. The interaction among VPPs operating in different communities are not considered as this requires single line diagrams of the supply, distribution, and transmission network. The operating voltage and frequency of the VPPs are not considered in this study, as they require further data input and modelling of the grid-connected inverters and the feeder network. It is recommended that future research may further expand the scope of research to include detailed simulation of VPPs to include more aspects of electricity network impact factors such as voltage control and frequency regulation. It is recommended that future studies may considerably expand VPP modelling and functionalities, for example, by integrating a game-theory-based bidding system in the market end of the VPP system model.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

To sum up, this research validates the VPP benefits for end-users and the communities in terms of reducing carbon emissions and reducing electricity costs. However, the financial viability and the grid impacts of VPP projects largely depend on the availability and capacity of the renewable energy generators and storage systems.

Author Contributions: Conceptualization, C.L. and R.Y.; Methodology, C.L. and K.W.; Software, C.L. and K.W.; Validation, R.Y. and J.Z.; Formal analysis, C.L.; Investigation, C.L., K.W. and R.Y.; Resources, R.Y.; Data curation, K.W. and J.Z.; Writing—original draft preparation, C.L.; Writing—review and editing, K.W., J.Z. and R.Y.; Visualization, C.L.; Supervision, R.Y.; Project administration, R.Y.; Funding acquisition, R.Y. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by Centre for New Energy Technologies (C4NET), the City of Greater Bendigo and RMIT University, grant number [200928_58].

Data Availability Statement: The point-cloud geospatial data used in this study is publicly available via the Department of Environment, Land, Water and Planning, Victorian State Government, Australia (Maps & spatial (land.vic.gov.au)). The energy market data used in this study is publicly available via Australian Energy Market Operator (AEMO | NEM data dashboard). Restrictions apply to the availability of the electricity demand data used in this study, which was provided by the distributed network service provider of City of Greater Bendigo—PowerCor. Data are available from the authors with the permission of PowerCor.

Acknowledgments: This research project reported here is supported by 'Transitioning Bendigo's energy economy—a feasibility study of renewable energy transition across an entire regional city [200928_58]' funded by the Centre for New Energy Technologies (C4NET), the City of Greater Bendigo and RMIT University. The researchers acknowledge the data contributions and support of PowerCor, the Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP) of the Victorian Government, and CoGB's local community members who have a great passion for and an exceptional vision of the transition to renewable energy.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. UN. Energy-UN Habitat. 2012. Available online: https://unhabitat.org/urban-themes/energy/ (accessed on 30 August 2022).
2. UN. 2018 Revision of the World Urbanization Prospects. 2018. Available online: https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html (accessed on 30 August 2022).
3. Kammen, D.M.; Sunter, D.A. City-integrated renewable energy for urban sustainability. *Science* **2016**, *352*, 922. [CrossRef] [PubMed]
4. Nosratabadi, S.M.; Hooshmand, R.-A.; Gholipour, E. A comprehensive review on microgrid and virtual power plant concepts employed for distributed energy resources scheduling in power systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *67*, 341–363. [CrossRef]
5. Mashhour, E.; Moghaddas-Tafreshi, S.M. Bidding Strategy of Virtual Power Plant for Participating in Energy and Spinning Reserve Markets—Part II: Numerical Analysis. *IEEE Trans. Power Syst.* **2011**, *26*, 957–964. [CrossRef]
6. Pudjianto, D.; Ramsay, C.; Strbac, G. Virtual power plant and system integration of distributed energy resources. *IET Renew. Power Gener.* **2007**, *1*, 10–16. [CrossRef]
7. Asmus, P. Microgrids, Virtual Power Plants and Our Distributed Energy Future. *Electr. J.* **2010**, *23*, 72–82. [CrossRef]
8. Zamani, A.G.; Zakariazadeh, A.; Jadid, S. Day-ahead resource scheduling of a renewable energy based virtual power plant. *Appl. Energy* **2016**, *169*, 324–340. [CrossRef]
9. Qiu, J.; Meng, K.; Zheng, Y.; Zhao, Y. Optimal scheduling of distributed energy resources as a virtual power plant in a transactive energy framework. *IET Gener. Transm. Distrib.* **2017**, *11*, 3417–3427. [CrossRef]
10. Zafar, R.; Mahmood, A.; Razzaq, S.; Ali, W.; Naeem, U.; Shehzad, K. Prosumer based energy management and sharing in smart grid. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2018**, *82*, 1675–1684. [CrossRef]
11. Wang, X.; Liu, Z.; Zhang, H.; Zhao, Y.; Shi, J.; Ding, H. A Review on Virtual Power Plant Concept, Application and Challenges. In Proceedings of the 2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies—Asia (ISGT Asia), Chengdu, China, 21–24 May 2019.
12. Sikorski, T.; Jasiński, M.; Ropuszyńska-Surma, E.; Węglarz, M.; Kaczorowska, D.; Kostyla, P.; Leonowicz, Z.; Lis, R.; Rezmer, J.; Rojewski, W.; et al. A Case Study on Distributed Energy Resources and Energy-Storage Systems in a Virtual Power Plant Concept: Technical Aspects. *Energies* **2020**, *13*, 3086. [CrossRef]
13. Naval, N.; Yusta, J.M. Virtual power plant models and electricity markets—A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2021**, *149*, 111393. [CrossRef]
14. Nikonowicz, Ł.; Milewski, J. Virtual Power Plants—General review: Structure, application and optimization. *J. Power Technol.* **2012**, *92*, 135–149.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

15. Yu, S.; Fang, F.; Liu, Y.; Liu, J. Uncertainties of virtual power plant: Problems and countermeasures. *Appl. Energy* **2019**, *239*, 454–470. [CrossRef]
16. Pal, P.; Parvathy, A.K.; Devabalaji, K.R. A broad review on optimal operation of Virtual power plant. In Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC), Chennai, India, 21–23 August 2019.
17. Linna, H.; Yingzhi, M.; Juning, S. A Review on Risk Management of Virtual Power Plant. In Proceedings of the 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP), Xi'an, China, 21–24 October 2019.
18. Liu, T.; Wang, Y.; Wilkinson, S. Identifying critical factors affecting the effectiveness and efficiency of tendering processes in Public–Private Partnerships (PPPs): A comparative analysis of Australia and China. *Int. J. Proj. Manag.* **2016**, *34*, 701–716. [CrossRef]
19. Pandit, A.; Minné, E.A.; Li, F.; Brown, H.; Jeong, H.; James, J.; Newell, J.P.; Weissburg, M.; Chang, M.E.; Xu, M. Infrastructure ecology: An evolving paradigm for sustainable urban development. *J. Clean. Prod.* **2017**, *163*, S19–S27. [CrossRef]
20. Yang, M.; Wang, Y.; Gao, S.; Zhang, Q.; Li, Z.; Wang, D. A bidding model for virtual power plants to participate in demand response in the new power market environment. In Proceedings of the 2021 International Conference on Power System Technology (POWERCON), Haikou, China, 8–9 December 2021.
21. Liu, C.; Yang, J.; Yu, X.; Sun, C.; Wong, P.S.P.; Zhao, H. Virtual power plants for a sustainable urban future. *Sustain. Cities Soc.* **2021**, *65*, 102640. [CrossRef]
22. Tan, Z.; Tan, Q.; Wang, Y. Bidding Strategy of Virtual Power Plant with Energy Storage Power Station and Photovoltaic and Wind Power. *J. Eng.* **2018**, *2018*, 11. [CrossRef]
23. Zhang, T.; Qin, Y.; Wu, W.; Zheng, M.; Huang, W.; Wang, L.; Xu, S.; Yan, X.; Ma, J.; Shao, Z. Research on Optimal Scheduling in Market Transaction for the Participation of Virtual Power Plants. In Proceedings of the 2019 6th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), Shanghai, China, 20–22 December 2019.
24. Kasaei, M.J.; Gandomkar, M.; Nikoukar, J. Optimal management of renewable energy sources by virtual power plant. *Renew. Energy* **2017**, *114*, 1180–1188. [CrossRef]
25. Kong, X.; Xiao, J.; Wang, C.; Cui, K.; Jin, Q.; Kong, D. Bi-level multi-time scale scheduling method based on bidding for multi-operator virtual power plant. *Appl. Energy* **2019**, *249*, 178–189. [CrossRef]
26. Wang, H.; Riaz, S.; Mancarella, P. Integrated techno-economic modeling, flexibility analysis, and business case assessment of an urban virtual power plant with multi-market co-optimization. *Appl. Energy* **2020**, *259*, 114142. [CrossRef]
27. Hadayeghparast, S.; Farsangi, A.S.; Shayanfar, H. Day-ahead stochastic multi-objective economic/emission operational scheduling of a large scale virtual power plant. *Energy* **2019**, *172*, 630–646. [CrossRef]
28. Shafiekhani, M.; Badri, A.; Shafie-khah, M.; Catalão, J.P.S. Strategic bidding of virtual power plant in energy markets: A bi-level multi-objective approach. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* **2019**, *113*, 208–219. [CrossRef]
29. Wang, L.; Guo, Z.; Zhang, Y.; Liang, Y.; Wang, Q.; Ji, Z. A Review of Virtual Power Plant: Concepts and Essential Issues. In Proceedings of the 2021 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC), Nanjing, China, 23–25 December 2021.
30. Wei, C.; Xu, J.; Liao, S.; Sun, Y.; Jiang, Y.; Ke, D.; Zhang, Z.; Wang, J. A bi-level scheduling model for virtual power plants with aggregated thermostatically controlled loads and renewable energy. *Appl. Energy* **2018**, *224*, 659–670. [CrossRef]
31. Allan, G.; Eromenko, I.; Gilmartin, M.; Kockar, I.; McGregor, P. The economics of distributed energy generation: A literature review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2015**, *42*, 543–556. [CrossRef]
32. McKenna, R. The double-edged sword of decentralized energy autonomy. *Energy Policy* **2018**, *113*, 747–750. [CrossRef]
33. Bracco, S.; Delfino, F.; Ferro, G.; Pagnini, L.; Robba, M.; Rossi, M. Energy planning of sustainable districts: Towards the exploitation of small size intermittent renewables in urban areas. *Appl. Energy* **2018**, *228*, 2288–2297. [CrossRef]
34. Singh, B.; Sharma, J. A review on distributed generation planning. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *76*, 529–544. [CrossRef]
35. Rahimiyan, M.; Baringo, L. Strategic Bidding for a Virtual Power Plant in the Day-Ahead and Real-Time Markets: A Price-Taker Robust Optimization Approach. *IEEE Trans. Power Syst.* **2016**, *31*, 2676–2687. [CrossRef]
36. Baringo, A.; Baringo, L. A Stochastic Adaptive Robust Optimization Approach for the Offering Strategy of a Virtual Power Plant. *IEEE Trans. Power Syst.* **2017**, *32*, 3492–3504. [CrossRef]
37. Khorasany, M.; Raoofat, M. Bidding strategy for participation of virtual power plant in energy market considering uncertainty of generation and market price. In Proceedings of the 2017 Smart Grid Conference (SGC), Tehran, Iran, 20–21 December 2017.
38. Naval, N.; Yusta, J.M. Water-Energy Management for Demand Charges and Energy Cost Optimization of a Pumping Stations System under a Renewable Virtual Power Plant Model. *Energies* **2020**, *13*, 2900. [CrossRef]
39. Wozabal, D.; Rameseder, G. Optimal bidding of a virtual power plant on the Spanish day-ahead and intraday market for electricity. *Eur. J. Oper. Res.* **2020**, *280*, 639–655. [CrossRef]
40. Gao, Y.; Zhou, X.; Ren, J.; Wang, X.; Li, D. Double Layer Dynamic Game Bidding Mechanism Based on Multi-Agent Technology for Virtual Power Plant and Internal Distributed Energy Resource. *Energies* **2018**, *11*, 3072. [CrossRef]
41. Lütjens, B.; Everett, M.; How, J.P. Certified Adversarial Robustness for Deep Reinforcement Learning. In Proceedings of the Conference on Robot Learning, Osaka, Japan, 30 October–1 November 2019; pp. 1328–1337.
42. Al-Nima, R.R.O.; Han, T.; Al-Sumaidaee, S.A.M.; Chen, T.; Woo, W.L. Robustness and performance of Deep Reinforcement Learning. *Appl. Soft Comput.* **2021**, *105*, 107295. [CrossRef]
43. Plaque to Mark Exact Centre of Victoria. 2006. Available online: https://web.archive.org/web/20110314154704/http://www.bendigo.vic.gov.au/page/page.asp?page_Id=1711&h=0 (accessed on 30 August 2022).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

44. About Greater Bendigo. 2019. Available online: https://www.bendigo.vic.gov.au/About/About-Greater-Bendigo (accessed on 30 August 2022).
45. Australian Bureau of Statistics 2016 Census Data—Bendigo. Available online: https://quickstats.censusdata.abs.gov.au/census_services/getproduct/census/2016/quickstat/202 (accessed on 30 August 2022).
46. Statistics, A.B. *Australian Statistical Geography Standard (ASGS)*, 3rd ed.; Australian Bureau of Statistics: Canberra, ACT, Australia, 2011.
47. He, K.; Gkioxari, G.; Dollár, P.; Girshick, R. Mask r-cnn. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Venice, Italy, 22–29 October 2017.
48. Holmgren, W.; Hansen, C.; Mikofski, M. pvlib Python: A python package for modeling solar energy systems. *J. Open Source Softw.* **2018**, *3*, 884. [CrossRef]
49. TESLA Australia-Powerwall Product Inforamtion. 2022. Available online: https://www.tesla.com/en_au/powerwall (accessed on 30 August 2022).
50. Wu, J. *Advances in K-Means Clustering: A Data Mining Thinking*, 1st ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2012.
51. Tang, Y.; Zhang, Q.; Mclellan, B.; Li, H. Study on the impacts of sharing business models on economic performance of distributed PV-Battery systems. *Energy* **2018**, *161*, 544–558. [CrossRef]
52. Sun, S.I.; Kiaee, M.; Norman, S.; Wills, R.G.A. Self-sufficiency ratio: An insufficient metric for domestic PV-battery systems? *Energy Procedia* **2018**, *151*, 150–157. [CrossRef]
53. Keiner, D.; Breyer, C. Modelling of PV Prosumers using a stationary battery, heat pump, thermal energy storage and electric vehicle for optimizing self-consumption ratio and total cost of energy. In Proceedings of the 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdam, the Netherlands, 25–29 September 2017.
54. Warmuz, J.; De Doncker, R.W. Pv-and battery-ratio for very large modular pv parks with dc coupled battery converters. In Proceedings of the 2019 IEEE 10th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), Xi'an, China, 3–6 June 2019.
55. *Fact Sheet: Home Battery Systems*; Independent Pricing and Regulatory Tribunal—NSW State Government: Sydney, NSW, Australia, 2018.
56. *Australian Energy Statistics 2020 Energy Update Report*; Department of Industry, Science, Energy and Resources, Australian Government: Canberra, ACT, Australia, 2020.
57. *Australian National Greenhouse Accounts*; Australian Government Department of Industry, Science and Resources: Canberra, ACT, Australia, 2020.
58. *Victorian Default Offer Price Determination 2022–23*; Essential Services Commission: Melbourne, VIC, Australia, 2022.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Economic, environmental and energy analysis of the utilization of renewable energy based on Analytic Hierarchy Process: a case study

Salam Ollah Mohammadi-Aylar, Morteza Almassi* and Hossein Bakhoda
Department of Agricultural Mechanization, Science and Research Branch, Islamic Azad University, 1477893855 Tehran, Iran

Abstract

Due to the growing reduction of fossil fuels and, on the other hand, the emission of pollution due to the use of these fuels, renewable energy is a very good alternative to produce the required energy. In the meantime, wind and solar energy are very important due to simple technology and production of energy with high capacities. To make the best use of renewable energy, the first step is to measure the potential of the studied areas using the analytic hierarchy process method. To do this, economically influential variables (investment, maintenance costs, energy costs, revenue, rate of return on investment) and environmental variables (global impact (greenhouse gases), regional pollution, health) for utilization of renewable energy (solar, wind, biomass) were studied in eight cities of Ardabil province. The combined system of photovoltaic cell with wind turbine in Ardabil city makes it the most prone area in the province with a return on investment of 2.61 yr. The amount of energy produced for this region is 47944 kW hr/yr.

Keywords: economic analysis; environmental analysis; sustainable development; renewable energy

*Corresponding author:
morteza.almassi@gmail.com
Received 9 December 2021; revised 13 January 2022; accepted 26 January 2022

1 INTRODUCTION

Due to the reduction of fossil fuels and the increase of pollution caused by fossil fuels, the use of alternative energy has increased day by day [1, 2]. In order to use renewable energy, which can be the best alternative to fossil fuels, factors must be considered. The main factors in the use of renewable energy are environmental, economic and social factors [3–5]. The development of renewable energy helps to achieve the goals of economic, social and environmental development, which is one of the key factors in achieving sustainable development in any country [6–9]. It is imperative to use new energy sources instead of fossil fuels today. Today, new energies are rapidly expanding and penetrating and neglect will be irreparable. Solar, wind, biogas and geothermal energy are the main sources of clean energy [10–13]. The access of developing countries to new types of energy sources is essential for their economic development. Due to the lack of access to renewable energy at all times of the year, the use of hybrid systems in this technology is of great importance. Therefore, in designing energy systems based on renewable energy, two or more sources such as sun, wind and biogas should be used [14–16].

Thus far, many researches have been conducted in relation to the concurrent electrical energy with the renewable energy considering smart grid using HOMER software [14–16]. A majority of countries including Iran [17], Pakistan [18], Iraq [19], China [20], India [21], Australia [22] and USA [23] have fulfilled studies on utilization of smart grid based on renewable energies. In other researches, in order to justify the utilization of renewable energies, an analysis of the economic and environmental factors was conducted [24–26]. Some of the researches that considered the utilization of renewable energy can be seen in Table 1.

Decisions about evaluation of the most stable energy resource are significant and complicated. Due to the difficulties of multi-dimensional decision-making, using of analysis of multi-criteria decision-making is essentially appropriate and useful. Therefore, this decision-making problem is promoted from economic and environmental perspective. The aim of this study is the determination of opportunities of renewable energy utilization regarding bio-environmental elements and economic aiming supplement of maximum of required load using analytic hierarchy process method.

International Journal of Low-Carbon Technologies 2022, 17, 430–435
© The Author(s) 2022. Published by Oxford University Press.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
https://doi.org/10.1093/ijlct/ctac017 Advance Access publication 11 March 2022

Table 1. *Literature review for electrifying.*

Source, year	Purpose of study	Analysis and method used	Results
[27], 2019	Off-grid hybrid renewable energy system for rural healthcare centers: a case study in Nigeria	HOMER software	Optimal hybrid renewable off-grid energy system model that supplies a typical rural healthcare center across the six regions in Nigeria
[28], 2020	Optimization of cost of smart grid: a case study of Kutch, Gujarat using HOMER software	HOMER software	Economical method to reduce the cost of an area by using green energy technology
[29], 2020	Optimal operational strategy of hybrid PV/wind renewable energy system using homer: a case study	HOMER software	Optimal configuration of a hybrid renewable energy source with a wind turbine and a photovoltaic system
[30], 2020	Feasibility analysis of solar photovoltaic–wind hybrid energy system for household applications	HOMER software	6 kW photovoltaic–wind hybrid system seems to offer significant economic savings

Table 2. *Coordinates of the study areas.*

Cities	Latitude	Longitude
Namin	38.426333	48. 482625
Bilehsavar	39.381094	48.345625
Sareyn	38.151875	48.071203
Ardabil	38.24848	48.30013
Meshginshahr	38.398111	47.677711
Khalkhal	37.624719	48.53135
Germi	39.022022	48.094689
ParsAbad	39.650319	47.91355

2 MATERIALS AND METHODOLOGY

First, the status of potential use of renewable energy for the regions of Ardabil province is determined. Based on the existing potential, the ability to convert to various renewable energies is determined and then the influencing factors are examined. And based on that, the priority of energy utilization is determined. The influential economic factors include investment, maintenance cost, energy cost, income and rate of return on investment. The influential environmental factors include global impact (greenhouse gases), regional pollution and health.

In this research, the possibility of access to various energies in Ardabil province is investigated to be able to take effective measures based on it within the framework for an appropriate strategic plan for the development of new energies. In the long run, prioritization is determined and all economic and environmental factors are feasible and formulated in the form of strategic studies during the necessary researches.

2.1 Geographical characteristics of the study area

The cities of Ardabil province that were studied are listed in Table 2.

2.2 Investigation of wind in the study area

First, wind potential measurement of the eight cities in Ardabil province that were studied was determined based on the results obtained from wind power density. In order to calculate the wind power density, the air density of the area must be determined first. To calculate the air density of the region, indicators such as temperature and humidity of the region must be specified. In this research, information about the temperature and humidity of the cities has been obtained from the General Meteorological Department of Ardabil province. Figure 1 shows the intensity of winds in different cities.

2.3 Examine the intensity of solar radiation in the study area

In this phase of the research, first the required information such as geographical coordinates of the studied cities, air filtration coefficient and the intensity of solar energy radiation were obtained. Then, the average traditional energy solar diagram of the cities of Ardabil province was obtained using HOMER software. Tables and graphs of average solar radiation during the year in the cities of Ardabil province have been determined through HOMER software and are given in Figure 2.

The present work used solar cell and wind turbine to design a hybrid system. Equations governing the function of these devices are presented in Eqs. 1 and 2, respectively [27–30]:

$$P_{pv} = Y_{pv} \times f_{pv} \times \frac{\overline{H_T}}{\overline{H_{T,STC}}} \tag{1}$$

$$P_{WTG} = \frac{\rho}{\rho_0} \times P_{WTG.STP} \tag{2}$$

In the optimization phase of this software, the planned designs are fully examined for a maximum energy and cost reduction [23]. Economic calculations are carried out based on total net present cost (NPC) and load cost of energy (LCOE) parameters [22, 23], with the most optimum system having the least total NPC.

$$NPC = \frac{C_{ann,total}}{\frac{i\,(1+i)^N}{(1+i)^N-1}} \tag{3}$$

$$LCOE = \frac{C_{ann,total}}{E_{Load\ served}} \tag{4}$$

Information on equipment price, size and other design specifications of the renewable hybrid system is indicated in Table 3.

In order to be able to economically analyze renewable energy systems, a certain amount of electrical charge must be considered

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

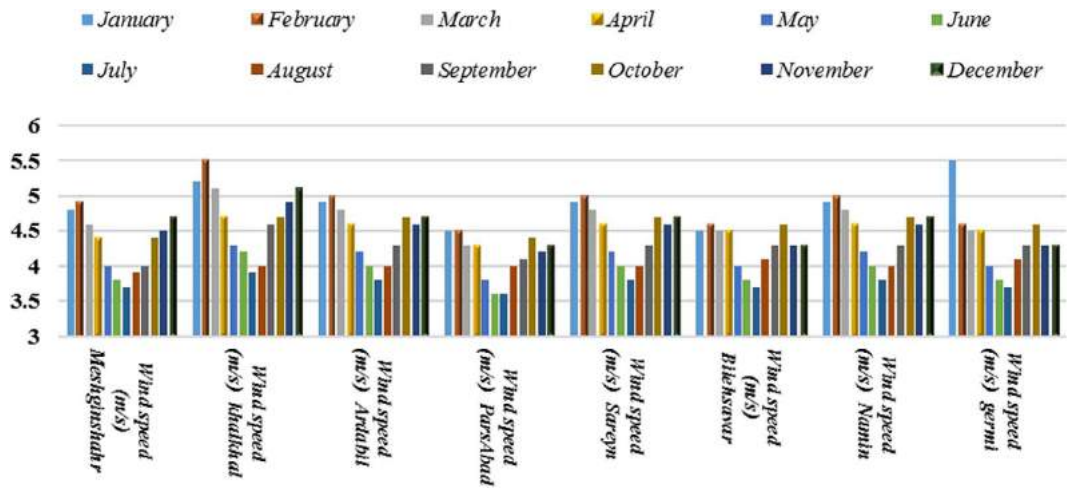


Figure 1. *Wind speed in Ardabil cities (source of Ardabil Meteorological Department) (https://www.irimo.ir/far/wd/732).*

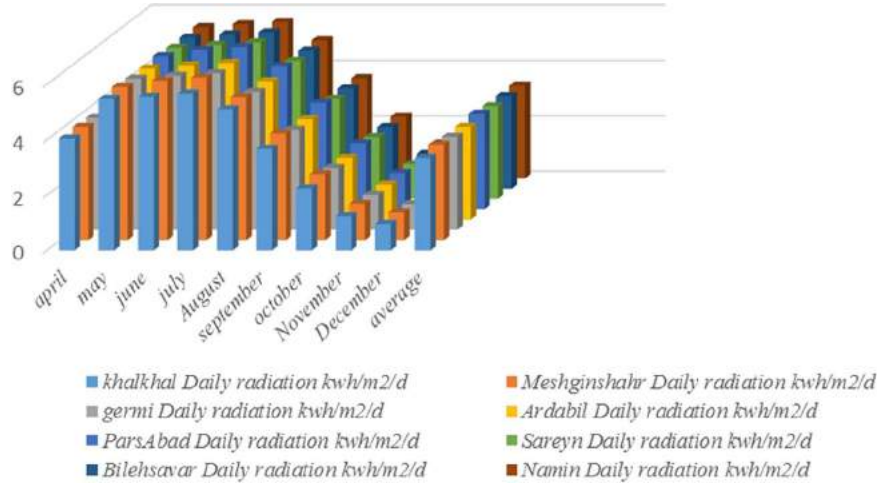


Figure 2. *Solar Radiation in Ardabil cities (source of Ardabil Meteorological Department) (https://www.irimo.ir/far/wd/732).*

Table 3. *Information on the studied system.*

Equipment	Cost, $			Size, kW	Other information
	Capital	Replacement	O&M		
Converter [30]	138	138	10	0–5	Lifetime: 15 yr Inverter efficiency: 95% Rectifier efficiency: 95%
Photo voltaic [30]	350	350	10	0–5	Lifetime: 25 yr Derating factor: 85% Temp. coeffic. of power: −0.38%/°C Nominal operating cell temp.: 45 °C Efficiency at std. test condition: 16.25%
Wind turbine [30]	242	242	12	0–2	Lifetime: 25 yr Hub height: 2.75 m Rated power: 0.1 kW DC

equally for all renewable energies. According to Figure 3 it is the standard load. Figure 4 also shows the layout of the system under study.

Influential factors of utilization from solar and wind energy respective to the sustainability development for case study area including influential economic factors such as total investment,

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

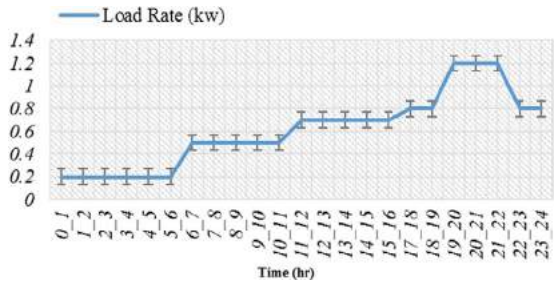


Figure 3. *Daily household consumption (https://www.tavanir.org.ir/).*

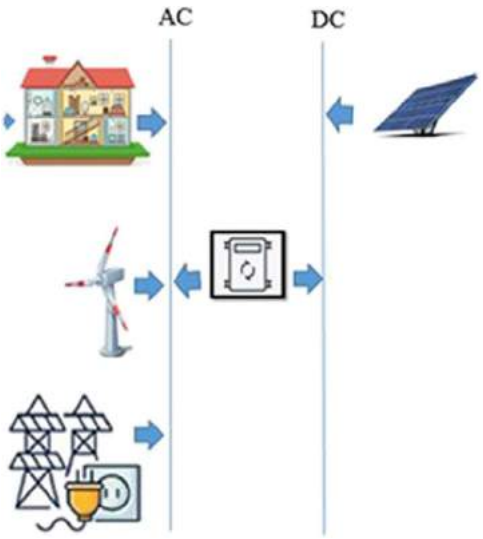


Figure 4. *The system under study.*

cost of production energy, revenue and capital return rate and environmental factors Spm, Co_2, Nox, So_2, Hc and Co can be seen in Figure 5.

3 RESULTS

3.1 Economic analysis

In economic analysis, HOMER software is weighed based on the amount of electricity generated. In weighing the economic analysis of operation, because the rate of return on investment is similar, we determine the weight coefficient based on the amount of electricity generated. The highest amount of electricity generated has the highest weight factor and other cities also calculate the highest weight factor. The results of economic analysis are given in Table 4 . The amount of electricity generated by considering renewable wind and solar energy sources separately by city and also the amount of production of each of these sources can be seen in Figure 6.

Based on Table 4, the investment cost and return on investment, as well as the cost price per unit of electricity generation in the area, can be seen. It can be concluded that the lowest investment cost is related to Meshginshahr. For this region,

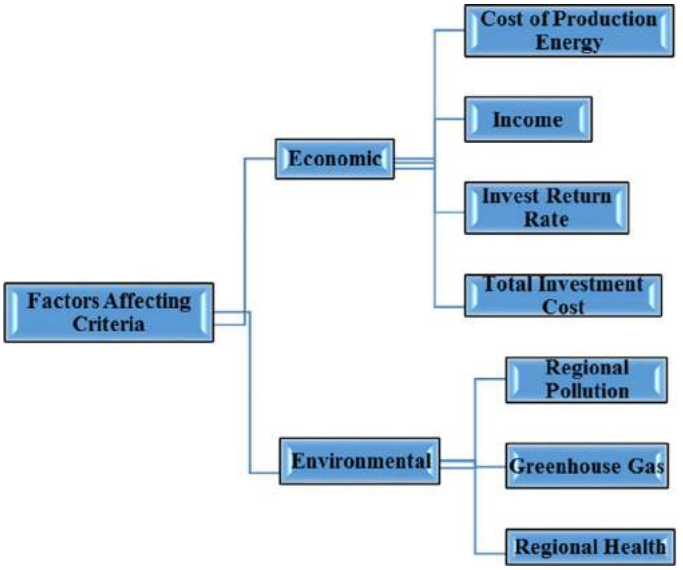


Figure 5. *Factors affecting renewable energy under study.*

the price of each energy unit is $1.41 per kW and the return of investment is 3.41 yrs.

As can be observed in Figure 6, the highest production of the studied system is related to Ardabil city, which is 47944 kW h/yr. From this amount, 30362 kW h/yr is related to power generation by wind turbine and 17582 kW h/yr is related to power generation from photovoltaic cells.

3.2 Environmental analysis

According to the previous information and using the economic analysis tables in the previous part of this research, we multiply the amount of electricity produced by solar and renewable wind energy by the amount of pollution in the table above to determine the amount of pollution that prevents the use of renewable energy. The results of the environmental analysis are given in Table 5.

According to Table 5, the lowest level of non-pollution related to CO is related to the city of Bilesvar with a value of 11.26 gr/kw h. The lowest amount of non-pollution caused by CO2 is related to the production capacity of photovoltaic cells in Bilesvar city with the amount of 9.997 Ton/kW h.

4 CONCLUSION

The potential assessment section based on the results obtained from the research on wind energy in Namin city was first with a wind rate of 5.78 m/s. The power of this wind is 159.15 w/m^2. The solar energy of Parsabad and Meshgin Shahr was in the first priority with the radiation intensity of 3,449 kW h/m^2/yr in both cities.

According to the potential table in Ardabil province in terms of wind power density, which was calculated based on parameters such as air density, temperature, humidity and other parameters,

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Table 4. *Results of the economic and electrical analysis.*

Cities	Energy sources	Total investment cost, $	Cost of production energy, $/kw hr	Revenue, $	Capital return rate, yr
Ardabil	Solar	110187	1.580	42196.8	2.610
	Wind	187042	2.727	72868.8	2.56
Khalkhal	Solar	108431	1.560	28245.6	3.830
	Wind	187042	2.727	71844	2.6
Sarein	Solar	108431	1.560	28430.4	3.830
	Wind	187042	2.727	72868.8	2.56
Meshginshahr	Solar	98555	1.418	28888.8	3.410
	Wind	187042	2.729	72888	2.56
Namin	Solar	108431	1.560	24771.6	3.830
	Wind	187042	2.727	72868.8	2.56
Garmi	Solar	108431	1.560	28437.6	3.810
	Wind	187042	2.727	72784.8	2.56
Pars Abad	Solar	98555	1.418	28888.8	3.410
	Wind	187042	2/727	72818/4	2/56
Bilesvar	Solar	108431	1.560	28173.6	3.840
	Wind	187042	2.727	72784.8	2.56

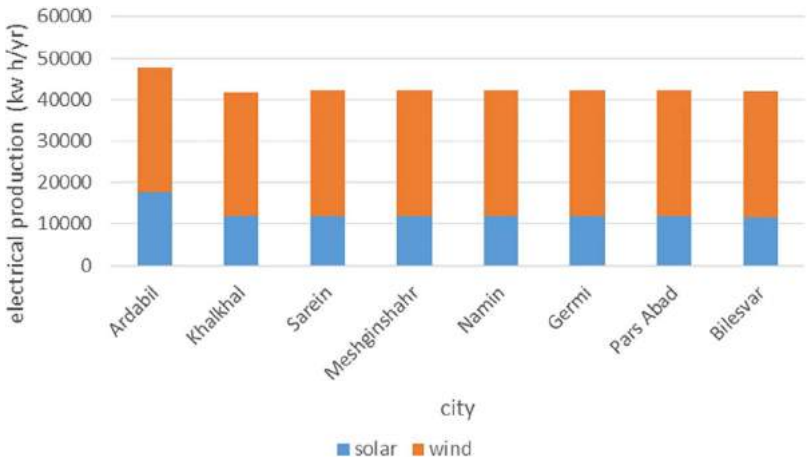


Figure 6. *The amount of electrical energy produced per wind and solar sources.*

Table 5. *Results of the environmental analysis.*

Cities	Energy sources	Nox, Gr/kw hr 0/75	Co_2, ton/kw hr 850	Spm, Gr/kw hr 0/09	Hc, Gr/kw hr 0/029	Co, Gr/kw hr 0/0009	So_2, Gr/kw hr 2/2
Ardabil	Solar	13186/5	14.944700	1582/38	509/87	16/878	38680/4
	Wind	22771	25.807700	2732	880	27	66796
Khalkhal	Solar	8826/75	10.003650	1059/21	341/30	11/298	25891/8
	Wind	22451	25.444750	2694	868	26	65857
Sarein	Solar	8884/5	10.069100	1066/14	343/53	11/372	26061/2
	Wind	22771	25.807700	2732	880	27	66796
Meshgin-shahr	Solar	9027/75	10.231450	1083/33	349/07	11/555	26481/4
	Wind	22777	25.814500	2733	880	27	66814
Namin	Solar	8847	10.026600	1061/64	342/08	11/324	25951/2
	Wind	22771	25.807700	2732	880	27	66796
Garmi	Solar	8886/75	10.071650	1066/41	343/62	11/375	26067/8
	Wind	2477	25.777950	2729	879	27	66719
Pars Abad	Solar	9027/75	10.231450	1083/33	349/07	11/555	26481/4
	Wind	22755	25.789850	2730	879	27	66750
Bilesvar	Solar	8804/25	9.978150	1056/51	340/43	11/269	25825/8
	Wind	2277	25.777950	2729	879	27	66719

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Table 6. *Conclusion.*

Priority 1	Priority 2	Priority 3	Priority 4	Priority 5	Priority 6	Priority 7	Priority 8
Khalkhal	Germi	Ardabil	Meshgin Shahr	Namin	Parsabad	Bilehsavar	Sarein

Namin city area was recognized as the most potential area for installing wind turbines. It is recommended for policy and investment in the field of wind energy in Namin city, Ardabil province. In the case of solar energy, Meshgin Shahr and Parsabad are in investment priority.

In economic analysis, the use of solar energy in Ardabil was the first investment priority. Meshgin Shahr wind energy was in the first priority and other cities were in the next priority with a small difference. Based on the results obtained from the environmental analysis of renewable energy in Ardabil province, the first priority is Khalkhal and the last priority is Sarein.

REFERENCES

[1] Shindell D, Smith CJ. Climate and air-quality benefits of a realistic phase-out of fossil fuels. *Nature* 2019;**573**:408–11.

[2] Alayi R, Ahmadi MH, Visei AR *et al.* Technical and environmental analysis of photovoltaic and solar water heater cogeneration system: a case study of Saveh City. *Int J Low Carbon Technol* 2021;**16**:447–53.

[3] Ozorhon B, Batmaz A, Caglayan S. Generating a framework to facilitate decision making in renewable energy investments. *Renew Sust Energ Rev* 2018;**95**:217–26.

[4] Chapman AJ, McLellan BC, Tezuka T. Prioritizing mitigation efforts considering co-benefits, equity and energy justice: fossil fuel to renewable energy transition pathways. *Appl Energy* 2018;**219**:187–98.

[5] Alayi R, Zishan F, Mohkam M *et al.* A sustainable energy distribution configuration for microgrids integrated to the national grid using back-to-back converters in a renewable power system. *Electronics* 2021;**10**:1826.

[6] Alayi R, Kumar R, Seydnouri SR *et al.* Energy, environment and economic analyses of a parabolic trough concentrating photovoltaic/thermal system. *Int J Low Carbon Technol* 2021;**16**:570–6.

[7] Elum ZA, Momodu AS. Climate change mitigation and renewable energy for sustainable development in Nigeria: a discourse approach. *Renew Sust Energ Rev* 2017;**76**:72–80.

[8] Schroeder P, Anggraeni K, Weber U. The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. *J Ind Ecol* 2019;**23**:77–95.

[9] Caiado RGG, Leal Filho W, Quelhas OLG *et al.* A literature-based review on potentials and constraints in the implementation of the sustainable development goals. *J Clean Prod* 2018;**198**:1276–88.

[10] York R, Bell SE. Energy transitions or additions: why a transition from fossil fuels requires more than the growth of renewable energy. *Energy Res Soc Sci* 2019;**51**:40–3.

[11] Brockway PE, Owen A, Brand-Correa LI, Hardt L. Estimation of global final-stage energy-return-on-investment for fossil fuels with comparison to renewable energy sources. *Nat Energy* 2019;**4**:612–21.

[12] Alayi R, Jahangiri M, Guerrero JWG *et al.* Modelling and reviewing the reliability and multi-objective optimization of wind-turbine system and photovoltaic panel with intelligent algorithms. *Clean Energy* 2021;**5**:713–30.

[13] Kåberger T. Progress of renewable electricity replacing fossil fuels. *Global Energy Interconnection* 2018;**1**:48–52.

[14] Alayi R, Rouhi H. Techno-economic analysis of electrical energy generation from urban waste in Hamadan, Iran. *Int J Des Nat Ecodyn* 2020;**15**:337–41.

[15] Alayi, Zishan F, Seyednouri SR *et al.* Optimal load frequency control of island microgrids via a PID controller in the presence of wind turbine and PV. *Sustainability* 2021;**13**:10728.

[16] Kibaara SK, Murage DK, Musau P, Saulo MJ. Comparative analysis of implementation of solar PV systems using the advanced SPECA modelling tool and HOMER software: Kenyan scenario. *HighTech Innov J* 2020;**1**:8–20.

[17] Ebrahimi S, Jahangiri M, Raiesi HA, Ariae AR. Optimal planning of on-grid hybrid microgrid for Remote Island using HOMER software, Kish in Iran. *Int J Energy* 2019;**3**:13–21.

[18] Ullah Z, Elkadeem MR, Kotb KM *et al.* Multi-criteria decision-making model for optimal planning of on/off grid hybrid solar, wind, hydro, biomass clean electricity supply. *Renew Energy* 2021;**179**:885–910.

[19] Alayi R, Jahangiri M, Najafi A. Energy analysis of vacuum tube collector system to supply the required heat gas pressure reduction station. *Int J Low Carbon Technol* 2021;**16**:1391–6.

[20] He L, Zhang S, Chen Y *et al.* Techno-economic potential of a renewable energy-based microgrid system for a sustainable large-scale residential community in Beijing, China. *Renew Sust Energ Rev* 2018;**93**:631–41.

[21] Sharma KK, Gupta A, Kumar R *et al.* Economic evaluation of a hybrid renewable energy system (HRES) using hybrid optimization model for electric renewable (HOMER) software—a case study of rural India. *Int J Low Carbon Technol* 2021;**16**:814–21.

[22] Das BK, Tushar MSH, Zaman F. Techno-economic feasibility and size optimisation of an off-grid hybrid system for supplying electricity and thermal loads. *Energy* 2021;**215**:119141.

[23] Singh A, Singh O, Tripathi R. 2021. Modelling of a micro-grid for Bali village using HOMER software. In *Innovations in Electrical and Electronic Engineering*. Singapore: Springer. 39–48.

[24] Charfeddine L, Kahia M. Impact of renewable energy consumption and financial development on CO2 emissions and economic growth in the MENA region: a panel vector autoregressive (PVAR) analysis. *Renew Energy* 2019;**139**:198–213.

[25] Inglesi-Lotz R, Dogan E. The role of renewable versus non-renewable energy to the level of CO2 emissions a panel analysis of sub-Saharan Africa's Big 10 electricity generators. *Renew Energy* 2018;**123**:36–43.

[26] Suárez-Eiroa B, Fernández E, Méndez-Martínez G, Soto-Oñate D. Operational principles of circular economy for sustainable development: linking theory and practice. *J Clean Prod* 2019;**214**:952–61.

[27] Babatunde OM, Adedoja OS, Babatunde DE, Denwigwe IH. Off-grid hybrid renewable energy system for rural healthcare centers: a case study in Nigeria. *Energy Sci Eng* 2019;**7**:676–93.

[28] Verma N, Vadhera S. 2022. Optimization of cost of smart grid: a case study of Kutch, Gujarat using HOMER software. In *Soft Computing for Security Applications*. Singapore: Springer. 529–37.

[29] Zhang G, Xiao C, Razmjooy N. Optimal operational strategy of hybrid PV/wind renewable energy system using homer: a case study. *Int J Ambient Energy* 2020;1–14.

[30] Al-Turjman F, Qadir Z, Abujubbeh M, Batunlu C. Feasibility analysis of solar photovoltaic-wind hybrid energy system for household applications. *Comput Electr Eng* 2020;**86**:106743.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Energetic, environmental and economic aspects of a hybrid renewable energy system: a case study

Ersin Akyuz[1], Zuhal Oktay[1*] and Ibrahim Dincer[2]

[1]Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Balikesir University, 10110 Balikesir, Turkey; [2]Faculty of Engineering and Applied Science, University of Ontario Institute of Technology (UOIT), 2000 Simcoe St. N., Oshawa, ON, Canada L1H 7K4

Abstract

In this study, the solar irradiation and wind speed data of Balikesir in Turkey are analyzed to assess the techno-economic viability and environmental performance of a hybrid power system. Energy is estimated for a typical commercial poultry house, and a system is then designed to satisfy the load demand. As hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER) software is used for the simulation of four respective cases: Diesel only, photovoltaic (PV)–diesel–battery, wind–diesel–battery and photovoltaic–wind–diesel–battery. We also evaluate the cost, environmental advantages and benefit of the demand-side management (DSM) when renewable hybrid energy options are applied to the poultry farming. By implementing light control system and high-efficiency fans (with about 20% efficiency increase), annual electricity consumptions can be reduced by 15% with DSM. When DSM was applied to the cost of energy, certain parameters including unmet electric load, excess electricity and greenhouse gas emissions are calculated for each case. Greenhouse gas emissions are also investigated for the hybrid energy system (by integrating PV and wind turbine only into diesel system). The hybrid system thus reduces CO_2 emissions from 21.8 to 10 t, particulate matter (PM) from 4.1 to 1.9 kg, NO_x from 0.421 to 0.221 t. A break-even analysis is performed to decide the optimum distance where the hybrid energy system is more economical than the extension of the transmission line. Consequently, the results indicate that installation of the hybrid energy system is more economical than the conventional electricity network when the distance is more than 3.21 and 3.13 km for PV–wind–diesel–battery and wind–diesel–battery, respectively.

Keywords: energy; demand-side management; environment; hybrid energy system; life-cycle costing; greenhouse gases; renewable energy

*Corresponding author:
zuhal.oktay@gmail.com

Received 21 May 2009; revised 11 August 2010; accepted 20 September 2010

1 INTRODUCTION

Implementing sustainable energy strategies is one of the most important aspects for a sustainable world. Future energy policies and strategies should put more emphasis on the development of potential energy sources, which should form the base of future global energy structure. Agriculture's role in energy consumption is well known. Farm-based energy production—biofuels and wind-generated electricity—has grown rapidly in recent years, but still remains small relative to the total national energy needs. Energy obviously plays an important role in poultry production [1]. Therefore, the present study investigates the technical and economic potentials of renewable hybrid energy options for poultry farms in Balikesir, Turkey. The poultry sector is one of the most important areas of the food industry in Turkey. At present, there are ~12 700 broiler companies in this sector and the majority of broiler chicken production is carried out by integrated companies [2]. According to Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) production statistics, Turkey occupied the 19th rank in the world poultry production. Total poultry meat production reached to 1 063 795 t in 2005. In this regard, poultry production has a great potential in the Balikesir area, which occupies the second rank in poultry production and third rank in total agricultural production in Turkey. In addition, there are about 3000 broiler companies in the Balikesir area [3]. Therefore, this study is expected to serve as a kind of guidance to the respective poultry sector with respect to how efficiently

International Journal of Low-Carbon Technologies 2011, 6, 44–54
© The Author 2010. Published by Oxford University Press. All rights reserved. For Permissions, please email: journals.permissions@oup.com
doi:10.1093/ijlct/ctq041 Advance Access Publication 19 November 2010

and effectively energy can be used and how effectively emissions can be minimized. It is also expected to provide better demand-side management (DSM) strategies.

In the literature, one of the very first studies was conducted by Ref. [4] on the potential of solar electric applications for Delaware's poultry farms in April 2005 and on the feasibility of photovoltaic (PV) system used in poultry farms. The researchers carried out a feasibility study using a simulation model approach and testing alternative scenarios and cost conditions. Their study shows that solar energy is economical for the state's producers under certain policy scenarios. Their results indicate that the electricity needs of an economical PV system used in a typical Delaware poultry house was 1.5 kW. The environmental impact study demonstrated that the 1.5 kW PV system avoided 112 t of CO_2 emissions during its lifetime as well as reducing 1.8 t of sulfur dioxide (SO_x) and 0.4 t of nitrogen oxides (NO_x) [4]. Bazen and Brown [5] analyzed broiler production in five different regions in Tennessee, which accounted for about 46% of total production in the state. They investigated not only the economic feasibility of solar PV energy integration, but also the impact of alternative energy programs and other factors in several solar regions within Tennessee's poultry industry.

The utilization of PV–wind–diesel hybrid energy sources can significantly reduce the system fuel costs. Also, it has positive effects on the system reliability [6]. In the past, high investment rate was an important barrier for consumers. PV price has dropped from US$25 to 3.5 per W in the past 30 years [5]. Several authors have discussed the energy requirements of PV solar energy conversion systems and their energy pay-back-time [7–9]. Wichert *et al.* [10] published an evaluation of technical and economic characteristics of hybrid power systems, and outlined the expected future directions for the development of hybrids. Hybrids are in a more favorable position when the cost of diesel fuel transportation is incorporated in the analysis. Sizes of many hybrid systems have been studied and optimized by the economic analysis based on life-cycle cost (LCC) and energy cost [11–13]. Studying cost and environmental impacts of such hybrid PV–wind–diesel–battery generator systems on other systems is of great importance to diminish global warming problem. Baring [14] outlines the foundations for analysis and design of some hybrid power systems.

One of the purposes of this study is to evaluate the cost, environmental advantages and the benefits of the DSM when renewable hybrid energy options are used in poultry farming. This concept has been applied to renewable energy (RE) electrification system in order to reduce the peak energy demand and also to have an arrangement where poultry energy operations can be matched to the high potential period of electrical energy produced from hybrid system during the day [15]. To achieve a cost-effective electrical system, components of the system must be chosen carefully and the system must be operated in a way to minimize costs. Generally, more efficient electrical components have higher initial cost, which should be weighted against the future savings to be realized in terms of reduced energy charges [16]. For RE systems, DSM becomes beneficial to strengthen their use. DSM has been used to smooth the daily peaks and fill valleys in the load profile to make the most efficient use of energy resources [e.g. 17,18].

2 METHODOLOGY

2.1 Input parameters for simulation

In the simulations, the actual data including the hourly global solar irradiations on tilted plane (39°) for 2003 and average hourly wind speed were collected from the Department of Turkish State Meteorological Services in Balikesir airport and employed for calculations as given in Table 1. Solar irradiation level is higher in the summer months. The monthly solar global radiation values range from 1.8 to 7.49 kW h/m^2 between December and July. On the other hand, the annual average daily solar global radiation level is determined as 4.48 kW h/m^2. Average monthly wind speed at 25 m varies from 2.80 to 5.83 m/s.

2.2 Description of the poultry house

In general, the design of a hybrid energy system is site-specific and depends upon the available resources and the load profile. For the systems, such as the PV–diesel, wind–diesel and PV–wind–diesel, the design capacity was determined and optimized using the HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) software program. It was able to test all the proportions regarding the cost of energy (COE) and determine the minimum COE as the optimal design capacity. Hourly wind speed, solar radiation, load profile, and component price were used as input data of the HOMER software.

Energy needs were determined in terms of all actual electrical equipments used in the farmhouse. There was a generator with capacity of 10 kW in the facility. Therefore, no change was made for the backup diesel generator capacity in the simulation for Case 1. Simulations were carried out, and have been applied to design a stand-alone hybrid power system in order to generate energy for a poultry house in Balikesir (39°30′N–28°1′E). The farmhouse is considered to have an average

Table 1. *Monthly average wind speed and global irradiation values.*

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Radiation (kW h/m^2)	2.07	2.82	3.98	5.30	6.37	7.32	7.49	6.75	5.54	3.56	2.28	1.80
Wind speed[a] (m/s)	3.49	3.61	4.91	3.09	3.56	3.77	4.23	5.57	6.43	4.63	1.84	3.17

[a]10 m.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

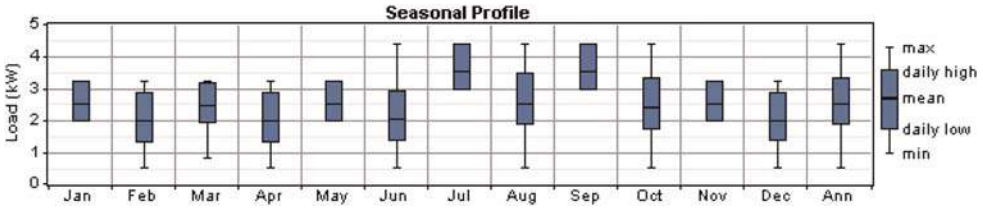


Figure 1. *Load profile for poultry house (without-DSM).*

energy consumption of about 60 kW h per day, with a peak demand of 4.37 kW and mean demand of 2.5 kW. The daily load demand is given in Figure 1. A DSM was considered to make a more efficient design. When DSM was considered, the generator capacity was chosen as 5 kW as being close enough to the peak load. Depending on this consideration, a lower capacity generator could obviously be selected.

A number of broiler companies were interviewed to assess their energy needs in order to estimate the electricity demand. Energy plays an important role in broiler production. In a typical commercial poultry house, energy is used for heating system circulation pumps, ventilation and lighting, and feed lines motors. In winter months, 45% of this potential electric load is derived from ventilation, 25% from lighting, 10% from administrations home, 10% from water pump and 8% from feed lines, etc. However, in summer months, 60% of this potential electric load results from ventilation, 17% from lighting, 8% from administration's homes, 9% from water pumps and 6% from feed lines. Electrical equipment used in the poultry house are presented in Table 2. There is a significant difference in load profile between summer and winter seasons. Owing to the high cooling and ventilation needs, the load demand in broiler companies is higher in summer, while average daily electricity consumptions annually are of 21893 kW h. Temperature and humidity levels in poultry houses are controlled automatically. Temperature of the poultry houses varies from 33°C, in the first week, to 25°C, in the seventh week, as determined by the grower's contract. Most of the poultry houses have 23 000 broilers in the home area of 10 000 m^2 as an average size in Balikesir. There are six growing periods in a year for broilers and each growing period is about 45 days, and 15 days are used for cleaning and preparation.

2.3 Energy management for poultry house

DSM is used in the areas where RE electrification system is supplied to the utilities. DSM has certain benefits to strengthen the RE system. Implementation of energy efficiency measures is projected to reduce the total site load by 18505 kW h/year, about 15% of the present value. In Table 3, two different types of 24-h load profile were identified for poultry farming in Balikesir:

(i) The conventional applications are low energy efficient and not optimized for energy efficiency (without DSM). The daily consumptions are 60 kW h/day, peak load is 4.37 kW and average load is 2.5 kW (Case 1).
(ii) Systems with DSM 'high efficiency' is rather scarce on the market and has a higher price than conventional appliances. The daily consumption is 51 kW h/day, peak load and average load are 3.31 and 2.11 kW, respectively (Case 2).

Table 2. *Electrical equipments which are used in poultry house.*

Device	Number	Voltage	Power (W)	Total power (W)
0.91 m Sidewall fans	6	380	300	1800
1.22 m Tunnel fans	4	380	1000	4000
Lighting	50	220	9	450
Water pump	1	380	1000	1000
Feed line motors	2	380	500	1000
Total (W)				8250

For Case 2, fans are replaced with highly efficient ones and used for the ventilation and optimization of lighting. For this case, parameters like the peak load demand, average daily load and annual electricity consumptions are reduced by 24, 15 and 15%, respectively, when DSM is applied. Optimization of ventilation system means the substitution of the existing fan technology with a more efficient one. At present, asynchronous motors are in use and an even more efficient drive is an electronically commutating (brushless) DC motor. For example, a standard 1.22 m box fan would have an average efficiency of 28.8 m^3/W h, while a high efficiency 1.22 m box fan would move 33.82 m^3/h W or more than a 20% of increase in efficiency [18].

These case systems were modeled for an average commercial poultry house, and accordingly, simulations were carried out. Equipment options included lighting control and highly efficient fans. Lighting and ventilation are potentially the largest-end uses when achieving the recommended lighting and ventilation levels. Results show that peak demand of the poultry farm house reduced from 4.37 to 3.1 kW. In addition, the cost of electricity for hybrid system also decreased.

3 ANALYSIS

3.1 Simulated hybrid energy system

A hybrid energy system, consisting of two or more energy systems, an energy storage system, power conditioning

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Table 3. *Twenty-four hours load profiles identified for poultry farming in Case 1 (a) and Case 2 (b).*

For winter (Case 1)																										
	Power (W)	Hour																								DAILY TOTAL (W)
		01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	
Fans (6)	4200	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	8,064
Small fans (4)	1200	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	17,280
Feeding motors (4)	2796	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	4,800
Lightings (60)	450	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	14,400
Hidrafor (1)	932				300			300			300			300			300			300			300			2,100
Admirator home (1)	2000	166	132	124	117	117	110	117	157	221	283	414	423	335	270	274	256	289	336	334	322	285	241	194	134	5,651
Boiler (1)	1000	200		200		200		200		200		200		200		200		200		200		200		200		2,400
Water pump	5100		500		500			500		500		500		500		500		500		500		500		500		5,500
Hourly total		2222	2488	2180	2773	2173	1966	2973	2013	2777	2439	2970	2279	3191	2126	2830	2412	2845	2192	3190	2178	2841	2397	2750	1990	60,195
For summer (Case 1)																										
	Power (W)	Hour																								DAILY TOTAL (W)
		01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	
Fans (6)	4200	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	20160
Small fans (4)	4000	1200	200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	28800
Feeding motors (4)	2796	200	200	200	200	200	200	200	200	300	200	300	200	300	200	200	300	200	300	200	200	200	200	200	200	5300
Lightings (60)	450	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	14400
Admirator (1)	2000	166	132	124	117	117	110	117	157	221	283	414	423	335	270	274	256	289	336	334	322	285	241	194	134	5651
Water pump	5100		500		500			1020		1020		1020		1020		1020		1020		1020		1020		1020		10180
Hourly total		3006	3472	2964	3457	2957	2950	3977	2997	4181	3123	4374	3263	4295	3110	4134	3196	4149	3276	4194	3162	4145	3081	4054	2974	84491
For winter (Case 2)																										
	Power (W)	Hour																								DAILY TOTAL (W)
		01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	
Fans (6)	3360	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	8064
Small fans (4)	1200	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	13824

Continued

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/ijlct/article/6/1/44/782989 by guest on 24 March 2023

Downloaded from https://academic.oup.com/ijlct/article/6/1/44/782989 by guest on 24 March 2023

Table 3. *Continued*

For winter (Case 1)

	Power (W)	Hour																							DAILY TOTAL (W)
		01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	
Feeding motors (4)	2796	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	4800
Lightings (60)	450	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	12000
Hidrafor (1)	932				300			300			300			300			300			300			300			2100
Admirator home (1)	2000	166	132	124	117	117	110	117	157	221	283	414	423	335	270	274	256	289	336	334	322	285	241	194	134	5651
Boiler (1)	1000	200		200		200		200		200		200		200		200		200		200		200		200		2400
Water pump	5100		400		400			400		400		400		400		400		400		400		400		400		4400
Hourly total		1978	2144	1936	2429	1929	1722	2629	1769	2433	2195	2626	2035	2847	1882	2486	2168	2501	1948	2846	1934	2497	2153	2406	1746	53239

For summer (Case 2)

	Power (W)	Hour																							DAILY TOTAL (W)
		01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	
Fans (6)	4200	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	538	12912
Small fans (4)	4000	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	23040
Feeding motors (4)	2796	200	200	200	200	200	200	200	200	300	200	300	200	300	200	200	300	200	300	200	200	200	200	200	200	5300
Lightings (60)	450	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	12000
Admirator (1)	2000	166	132	124	117	117	110	117	157	221	283	414	423	335	270	274	256	289	336	334	322	285	241	194	134	5651
Water pump	5100		500		500			600		600		600		600		600		600		600		600		600		6400
Hourly total		2364	2830	2322	2815	2315	2308	2915	2355	3119	2481	3312	2621	3233	2468	3072	2554	3087	2634	3132	2520	3083	2439	2992	2332	65303

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 4. *Technical and cost data considered for hybrid energy systems in the analysis.*

Units	Values	Units	Values
PV		Diesel generator units	
Capital (US$/kWp)	7500		
Life time (year)	25	Replacement (US$)	800
Operation and maintenance (US$/year)	0	Capital cost (US$/kW)	800
Tilt angle PV modules	Lat:39°30′N	Operation and maintenance (US$/h)	0.15
Replacement (US$)	6500	Batteries	
Wind		Type of batteries	6FM200D
Southwest Whisper500		Nominal voltage (V)	12
Capital Cost (US$)	8500	Nominal capacity	200 Ah
Nominal Electrical Output (kW; DC)	3	State of charge (SOC; %)	70
Replacement (US$)	7000	Capital cost (US$/kW)	800
Operation and maintenance (US$/year)	50	Replacement (US$/kW)	600
Life time (year)	25	Dispatch/operating strategy	Multiple diesel load following
Inverter		Operation and maintenance (US$/year)	0
Nominal Output (kW)	10		
Capital (US$/kW)	1000		

equipment and a controller, is the most appropriate energy producer for isolated communities, especially in remote areas. There are generally two accepted hybrid energy system configurations, namely: (a) systems mainly based on diesel generators with RE used for reduction of the fuel consumption; (b) systems relying on the RE source with a diesel generator used as a back-up supply for the extended periods of low RE input or high load demand.

Some software tools that assess the performance of an RE system for system configurations are SIRENE, RAPSIM and SEU-ARES. Most of these software tools simulate the predefined hybrid RE system based on a mathematical description of the component characteristic operation and system energy flow, and often, financial costing of the system configuration. These packages are valuable to assess certain hybrid system designs and enable viewing the effects of changing component sizes and settings manually. Better system performance and lowered costs could be achieved with many of these designs if the system configurations could be optimized. HYBRID2, developed by NREL in 1993, is simulation software aiming to provide a versatile model for the technical and economical analysis of hybrid system performance. The software INSEL, written at the University of Oldenburg, is a logistic simulation model for RE systems. SIRENE, developed in 1991 by Bezerra *et al.* [19], aims to simulate the electrical network and economic performance of a given type of hybrid system supplying electricity to an isolated grid in order to avoid costly parameter adjustment work during installations [20].

In this study, four systems, namely (i) diesel-only, (ii) PV–diesel–battery, (iii) wind–diesel–battery and (iv) PV–wind–diesel systems, are considered and simulated by HOMER [21] software to assess their techno-economic viability. The HOMER was developed by the National Renewable Energy Laboratory (NREL) in the USA as a potential simulation and optimization tool for RE systems. The HOMER performs three principal tasks: simulation, optimization and sensitivity analysis. In the simulation process, HOMER models the performance of a particular micro power system configuration for each hour of the year to determine its technical feasibility and LCC. In the optimization process, HOMER simulates many different system configurations in search for the one that satisfies the technical constraints at the lowest LCC. In the sensitivity analysis process, it performs multiple optimizations under a range of input assumptions to gauge the effects of uncertainty or changes in the model inputs. The optimization study determines the optimal values of the variables over which the system designer has control, such as the mix of components that make up the system and the size or quantity of each. A sensitivity analysis helps assess the effects of uncertainty or changes in the variables over which the designer has no control, such as the average wind speed or the future fuel price.

PV–wind-generated energy stored in batteries can be retrieved during nights. Use of diesel system with PV–wind–battery reduces battery storage requirements. Hybrid combination of PV–diesel–battery system represents an economically acceptable compromise between the high capital cost of PV autonomous system and high operation and maintenance and fuel cost of generators [22]. The technical data and economic assumptions of PV, Wind, diesel generator unit, DC–AC inverter and batteries are presented in Table 4.

3.2 Economic analysis

The economic analysis involves calculation of the simple payback time (SPBT) for the PV module and calculation of energy payback time (EPBT) for the PV array. In order to calculate the EPBT it is essential to know the energy required in the construction of the PV array (so-called: embodied energy). In this method, the total energy required is the sum of energies required for raw materials and the energy required in the various processes involved to convert the raw materials into the PV array. The embodied energy of a PV system is given by

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Wies *et al.* [23] as:

$$\begin{aligned} \text{kW h}_{\text{emb}} &= 5600\,\text{kW}_{\text{p}} = 33\,600\,\text{kW h} \\ \text{EPBT} &= \frac{\text{kW h}_{\text{emb}}}{E_{\text{pv}}} = \frac{33\,600}{8176} = 4.10\ \text{year} \end{aligned} \tag{1}$$

The SPBT can be calculated using the simple formulation below (Equation (2)), [23,24].

$$\text{SPBT} = \frac{\text{Excess cost of hybrid system}}{\text{Rate of saving}} \tag{2}$$

The SPBTs for the options without DSM hybrid are calculated as 7.9, 5.7 and 12.6 years for PV–wind–diesel–battery, wind–diesel–battery and PV–diesel–battery, respectively. On the other hand, SPBT for the options with DSM hybrid is found as 5.3, 4.7 and 7.3 years for PV–wind–diesel–battery, wind–diesel–battery and PV–diesel–battery, respectively.

The LCC analysis is a tool used to compare the ultimate delivered costs of technologies with different cost structures. Rather than comparing only the initial capital costs or operating costs, LCC analysis seeks to calculate the cost of delivering a service during the whole period of the project. The final cost per kW h is estimated independent of the technology used to deliver the electricity. Levelized energy cost (LEC) can be explained with total present value (TPV), and annual load (AL) kW h, as follows [22]:

$$\begin{aligned} \text{TPV} = {} & \text{Initial cost} + \Sigma\text{O\&M} + \Sigma\text{Replacement} \\ & + \Sigma\text{Fuel cost} \end{aligned} \tag{3}$$

$$\text{LEC} = \frac{\text{TPV} * \text{CRF}}{\text{AL}} \tag{4}$$

where CRF is the capital recovery factor and defined as:

$$\text{CRF} = \frac{(1+R)^N * R}{(1+R)^N - 1} \tag{5}$$

Here, R is of 10% of the net discount rate and N is of 25% of the economic evaluation period.

3.3 Break-even analysis

A break-even distance analysis was carried out for hybrid energy system and extension of transmission line. Break-even distance analysis showed how far the site of the stand-alone energy system should be from the existing utility grid in order to make the system cost-effective compared with using conventional transmission line [25]. The total cost obviously changes according to the length of the transmission line. Such a cost is the sum of the operation cost and investment cost. Operational costs of the grid system are the electricity consumption fee and the maintenance costs. Total cost of extension has two parameters; fixed cost and variable cost as given in Table 5. The capital cost per kilometer is calculated as US$ 40 000, O&M cost as 300 $/km/year, grid power price as 0.17 US$/kW h:

Table 5. *Cost parameters of grid extension for break-even analysis.*

Fixed cost	Pile (2790 kg), Distributor transformer: 31.5 kV, 50 kVA, Transformer platform: PL-250 (700 kg), Current transformer: 75/5 A OG fuses: 36 kV, 2–20 A, Fuse separator: 36 kV–630 A, Ground separator: 36 kV–630 A, Power panel, Electric meter 220/380 V Circuit breaker 3 * 80 A compact
Variablecost	Pile installation, Pile transportation, Wire (110 kg/km), Pile 8–12 (2170 kg)

$$C_{\text{Ex,T}} = C_{\text{i}} + C_{\text{op}} \tag{6}$$

where $C_{\text{Ex,T}}$, C_{i} and C_{op} represent the total cost of extension, initial cost and operation cost, respectively.

The total operation cost of the extended transmission line is given by

$$C_{\text{op,T}} = C_{\text{M,T}} + C_{\text{E,T}} \tag{7}$$

where $C_{\text{op,T}}$, $C_{\text{M,T}}$ and $C_{\text{E,T}}$ represent total operation cost, total maintenance cost and total electric cost, respectively.

As can be seen from Table 6, the result of the break-even analysis shows that the distance was more than 4.7 km for PV–wind–diesel–battery, 4.8 km for wind–diesel–battery and 6.15 km for PV–diesel–battery. Results also were calculated with DSM option; and the distance was found to be more than 3.21 km for PV–wind–diesel–battery, 3.13 km for wind–diesel–battery and 4.11 km for PV–diesel–battery.

3.4 Environmental impact

Increasing concerns over global warming as a potential result of greenhouse gas emissions caused by fossil-fuel-based energy sources have motivated many to do research on cleaner and greener energy options, e.g. PV, and wind systems for various applications. The environmental benefits of integrating hybrid RE in poultry farming are very important in terms of greenhouse gas emissions. The amount of pollutant emissions was calculated and compared with the diesel-only option. The annual pollutant emissions are given for each system in Figure 2. The diesel-only electricity generation mainly depends on fuel. Therefore, the amount of fuel usage and its negative effects on the environment are high. As it is shown in Figure 2, diesel-only system produced 27 997 kW h electric energy and 36.8 t of CO_2, 6.9 kg of PM, 0.812 t of NO_x emission in a year time as a result of diesel fuel usage. Replacing the diesel-only system with 4 kW PV array and 9 kW wind turbine reduces the greenhouse gas emission to 10.8 t for CO_2, 2.02 kg for PM and 0.239 t for NO_x and produces 339 196 kW h of electricity on top of that.

In the diesel-only system for DSM simulation, greenhouse gas emission is reduced to 21.8 t for CO_2, 4.1 kg for PM and 0.421 t for NO_x. Integrating PV and wind turbine with a diesel

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Table 6. *Simulation results for each system studied (without-DSM: Case 1 and with-DSM: Case 2).*

Parameters	PV–wind–diesel–battery		Wind–diesel–battery		PV–diesel–battery		Diesel-Only	
	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
COE (US$/kW h)	1.039	0.872	1.061	0.855	1.306	1.069	1.76	1.143
Fuel consumed (l/year)	4120	4450	4645	4238	5750	5200	13880	8272
CO_2 emitted (t/year)	10.84	10	12.23	11.1	15.14	13.7	36.8	21.78
PM emitted (kg/year)	2.02	1.87	2.28	2	2.82	2.55	6.86	4.05
NO_x emitted (kg/year)	239	221	269	246	333	302	812	480
System load (kW h/year)	21900	18505	21900	18505	21900	18505	21900	18505
Total energy (kW h/year)	39771	26614	43196	33747	29637	21824	27996	19704
PV (kW h)	4kWp 5450 (14%)	3kWp 4088 (14%)	0	0	9kWp 12264 (41%)	6kWp 8176 (37%)	0	0 (0%)
Wind (kW h)	3*3 kW 21852 (55%)	2*3 kWp 14568 (50%)	4*3 kW 29136 (67%)	3*3 kW 21852 (69%)	0	0	0	0 (0%)
Generator (kW h)[a]	12162 (%31)	10359 (%36)	14060 (33%)	9685 (31%)	17374 (59%)	13648 (63%)	27490 (100%)	19704 (100%)
Renewable fraction (%)	69	64	67	69	41	38	0	0
Excess electricity (kW h)	12187 (31.5%)	7914 (27.3%)	15314 (35.5%)	11563 (36.7%)	1283 (4.33%)	1142 (5.2%)	5590 (20.3%)	568 (2%)
Autonomy (h)	8.06	5.45	13.8	5.45	6.91	5.45	0	0
Grid extension (km)	4.7	3.21	4.82	3.13	6.15	4.11	8.58	4.45

[a]10 kW for Case 1, 5 kW for Case 2.

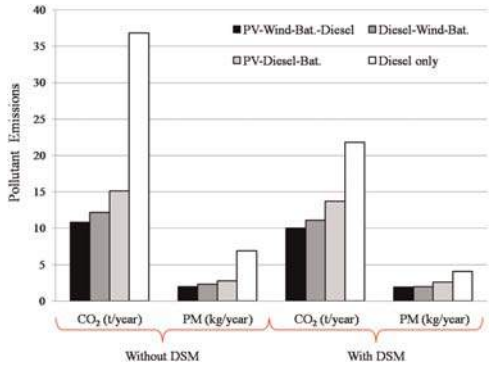


Figure 2. *Comparison of pollutants for various cases.*

only system reduces the greenhouse gas emissions to 10 t for CO_2, 1.9 kg for PM and 0.221 t for NO_x.

4 RESULTS AND DISCUSSION

Both load profiles for poultry house (with/without DSM) were developed and simulated with HOMER in order to evaluate the operational characteristics, namely the annual electrical energy production, excess electricity, renewable fractions. Annual diesel consumption and environmental impact parameters namely carbon emissions were calculated. In addition, a break-even analysis was performed to decide the optimum distance where the hybrid energy system should be more economical than the extension of the transmission line. Moreover, a cost analysis of the hybrid power system and a sensitivity analysis for the effect of diesel price on the COE produced by the hybrid systems were also conducted. At present, the average diesel price in Turkey is 1.45 US$/l. An annual interest rate of 10% and a project lifetime of 25 years were used in the economic calculations. Both percent and annual energy productions of each sources are shown in Figure 3 for both cases. The results of the simulation showed that the PV–wind–battery–diesel system had a total annual electrical energy production of 39 771 kW h. When DSM was applied, PV–wind–diesel–battery annual energy output was reduced to 26 614 kW h.

The variations of solar and wind energy generations do not match with the time distribution of the load demand. As given in Table 6, the PV–wind–diesel–battery hybrid system is suitable for the load profile without DSM in terms of COE, and the wind–diesel–battery is suitable for DSM load profile. This option change is to the reason that the COE depends mostly on fuel consumption. When the four options were compared in terms of fuel consumed rate, PV–wind–diesel–battery option was found as 4120 l/year, which is the lowest value for without the DSM case. Also, for the DSM case, fuel consumed rate of wind–diesel–battery was found to be the lowest. Because of low fuel consume rate, both COE and greenhouse gas emissions (CO_2, PM, NO_x) emitted to atmosphere became lower. In addition, the load profile of system matches the RE generations. PV–wind–diesel–battery system, COE of Case 1 and Case 2 is smaller than PV and wind options. This result can be attributed to the fact that the fuel consumption is lower than the other systems. Also, load profile of system matched with RE generations.

The results of sensitivity analysis are presented for without DSM in Figure 4. As can be seen in this figure, in the sensitivity analysis, seven diesel price values (from 1.45 to 2 US$/l) were

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

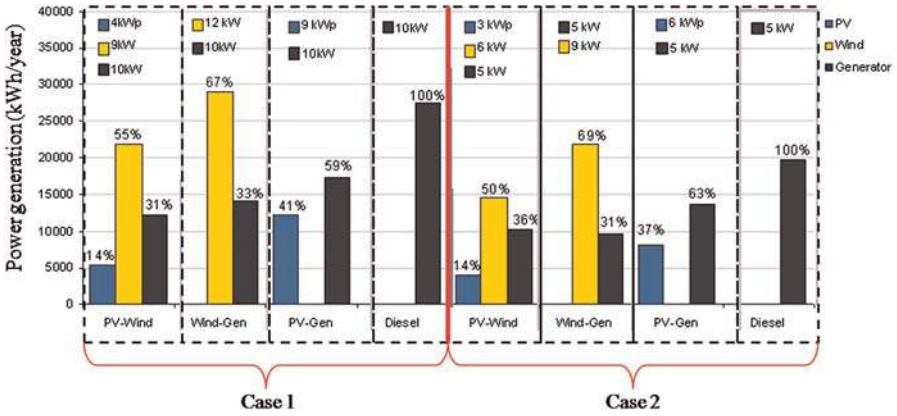


Figure 3. *Utilization of each option for both cases.*

Table 7. *Comparison for LEC for diesel price 1.45 US$/l.*

Parameters	PV–wind–diesel–battery		Wind–diesel–battery		PV–diesel–battery		Diesel-Only	
	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
Capital (US$)	84 700	54 900	71 200	40 900	95 100	60 400	8000	4000
Replacement (US$)	75 132	33 510	81 726	24 887	93 757	35 107	47 811	23 909
O&M (US$)	21 664	25 598	24 744	37 965	28 149	35 795	140 234	70 133
Fuel (US$)	63 764	59 056	71 892	65 598	88 997	80 493	216 770	128 044
Total cost (US$)	242 988	172 266	247 973	168 841	305 306	211 090	412 334	225 853
AL (kW h)	21 900	18 505	21 900	18 505	21 900	18 505	21 900	18 505
COE (U$/kW h)	1.039	0.872	1.061	0.855	1.306	1.069	1.76	1.143

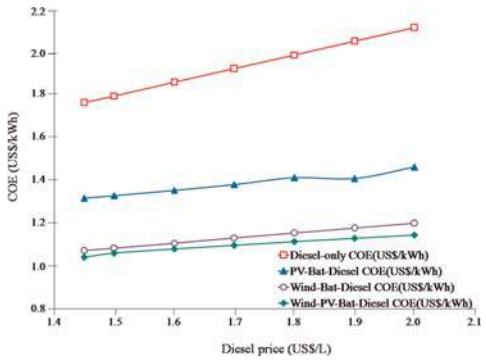


Figure 4. *Effect of diesel fuel price on COE for Case 1.*

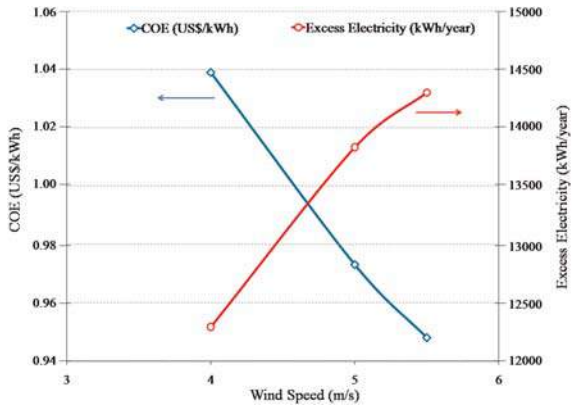


Figure 5. *Effect of varying wind speed on COE and excess electricity of PV–wind–diesel–battery system for Case 1.*

used to calculate the COE energy of each systems. The increase rate is the lowest for PV–wind–diesel–battery option. PV–diesel–battery system and only diesel options are mostly dependent on fuel price. When DSM was applied, COE ranged from US$ 0.872–0.974 for wind–PV–diesel–battery system. As the diesel price increased in sensitivity analysis, fuel cost also increased for both DSM and without DSM cases. Different wind speed and solar irradiation values were used in the sensitivity analysis in order to calculate the COE for various locations around Balikesir. In addition, the effect of wind speed was also investigated and shown in Figure 5. Wind speed values varying between 4 and 5.5 m/s were used as sensitivity variables to calculate the effect of COE and excess electricity produced from system. As can be seen from Table 7, wind–diesel–battery is a suitable case in terms of COE. It is clear in Figure 5 that while COE decreases from US$ 1.039–0.95 for the wind values varying between 4 and 5.5 m/s for Case 1 option, excess electricity increases from 12 187 to 14 350 kW h. If DSM is applied to the system (Case 2), COE decreases from US$ 0.853–0.669 for the wind values varying between 4 and 5.5 m/s and excess electricity needs decrease from 12 829 to 19 180 kW h.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 8. *Testing for the reliability of the program results.*

	HOMER	Calculation
Generator output (kW)	9724.4	10 627.6
Wind output (kW))	21 673	21 677.9
Generator fuel (l)	4320	4635
Annual cost ($)	15 858	16 413
COE ($/kW)	0.857	0.887
	Error	3.38%

The simulation results of wind–diesel–battery system for Case 2 are selected to test the reliability/validity of the program. The output power of WS Whisper 500 wind turbine power is fitted with a sixth degree polynomial curve, and wind output power is calculated with a MS Excel program using hourly (8760 h) wind speed data. The amount of time required for diesel generator to work is determined for a farm, the hourly load demand of which is known, and fuel consumption is calculated depending on this value. For economic calculations, the unit prices, 25-year economic life and inflation rates of components used in simulation were taken into account to calculate the annualized cost. Reliability of the program results is shown in Table 8.

5 CONCLUSIONS

This study has examined a hybrid, RE-based power generation system and studied electrical loads of a poultry farm in the Balikesir region for potential replacements to system components and other energy efficiency improvements which will help reduce the peak and overall electrical load at the poultry farm houses.

Four power generation systems have then been simulated. The base system is that of a stand-alone diesel generator. Other alternative systems include a combination of PV and wind as a generation source. The 25-year LCCs associated with each power system was calculated for each case. Besides, break-even distance analysis was carried out for hybrid energy systems and extension of transmission line. The distance, more than 4.7 km for PV–wind–diesel–battery, was found economical. In addition, the distance more than 3.12 km was also economical when DSM was implemented.

At present, RE-based hybrid energy systems may not appear as cost-competitive against conventional fossil-fuel-based stand-alone or grid interfaced power sources. As a result of the need for cleaner energy sources, improvements in alternative energy technologies and increase in fuel price, it is expected that there will be widespread use of various alternative energy sources in the future.

In future studies, it is planned to investigate the simulation models experimentally. In order to reduce the greenhouse gases emission and have the system work more reliably, some fuel cell and small hydro options will also be integrated to the hybrid system. Integration of the hybrid energy system with hydrogen storage, which is system excess energy, will enable the system to work more efficiently.

REFERENCES

[1] El Bassam N, Behl RK, Prochnow B. Biological life support systems under controlled environments. In El Bassam N., *et al.* (eds). *Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry*, **Vol. 2**. James James Science Publishers, 1998, 214–6.

[2] Civaner EC. Poultry Meat from Turkey. Export promotion center of Turkey Report 2007.

[3] Balikesir Governorship official website URL: http://www.balikesir.gov.tr/ (20 January 2009, date last accessed).

[4] Byrne J, Glover L, Hegedus S, *et al.* The potential of solar electric applications for Delaware's poultry farms. Working paper. Center for Energy and Environmental Policy, University of Delaware, 2005.

[5] Ernest FB, Matthew A. Brown. Feasibility of solar technology (photovoltaic) adoption: a case study on Tennessee's poultry industry. *Renewable Energy* 2009;**34**:748–54.

[6] Karki R, Billinton R. Reliability/cost implications of PV and wind energy utilization in small isolated power systems. *Energy Conversion IEEE Trans* 2001;**16**:368–73.

[7] Alsema EA. Energy requirements of thin-.lm solar cell modules—a review. *Renew Sust Energy Rev* 1998;**2**:387–415.

[8] Alsema EA, Frankl P, Kato K. Energy pay-back time of photovoltaic energy systems: present status and prospects. In: Schmid J, Ossenbrink HA, Helm P, Ehmann H, Dunlop ED (eds). *Proceedings of the 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Energy Conversion*. Office of EU Publications, 1998, 2125–30.

[9] Keoleian GA, Lewis GM. Application of life-cycle energy analysis to photovoltaic module design. *Prog Photovoltaics* 1997;**5**:287–300.

[10] Wichert B, Dymond M, Lawrance W, *et al.* Development of a test facility for photovoltaic-diesel hybrid energy systems. *Renew Energy* 2001;**22**:311–9.

[11] Bakirtzis AG, Gavanidou ES. Optimum operation of a small autonomous system with unconventional energy sources. *Electr Power Syst Res* 1992;**23**:93–102.

[12] Diaf S, Belhamel D, Haddadi M, *et al.* A Methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/Wind system. *Energy Policy* 2007;**35**:5708–18.

[13] Khan MJ, Iqbal MT. Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland. *Renew Energy* 2005;**30**:835–54.

[14] Baring G, March I. *Hybrid systems Architecture and Control. Handbook on Hybrid Power Systems*. National Renewable Energy Laboratory, 1998.

[15] Muselli M, Notton G, Louche A. Design of hybrid-photovoltaic power generator, with optimization of energy management. *Solar Energy* 1999;**65**:143–57.

[16] Narumon K, Tayati W. Economics of demand side management and hybrid renewable energy system for remote village electrification in Northern Ireland. In: *Proceedings of the Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, 23–26 September 2001.

[17] Witte LC, Schmidt PS, Brown DR. *Industrial Energy Management and Utilization*. Hemisphere Publishing Corporation, 1988.

[18] United Stated Department of Agriculture Natural Recourses of Conservation Services Energy Self Assessment URL: http://144.92.31.19/conservation/ventilation/ventilation.aspx. (20 January 2009, date last accessed).

[19] Bezerra P, Hille G, Siegle M, *et al.* Hybrid Systems for Decentral Electricity Generation: Lessons from a Brazilian-German Cooperation.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

In: *Proceedings of the World Renewable Energy Conference*, 1991.

[20] Seeling-Hochmuth G. Optimization of hybrid energy systems sizing and operational control. A thesis of the Degree of. Dr.-Ing. October, Kessel univ. Press. GmbH, 1998.

[21] HOMER V.2. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393. URL: http://www.nrel.gov/homer/.

[22] Lazou AA, Papatsoris AD. Economics of photovoltaic stand-alone residential households: a case study for various European and Mediterranean Locations. *Solar Energy SolarCells* 2000;**62**:411–27.

[23] Wies RW, Johnson RA, Agrawal AN, *et al*. Simulink model for economic analysis and environmental impacts of a PV with diesel-battery system for remote villages. *Power Syst IEEE Trans* 2005;**20**:692–700.

[24] Setiawan AA, Zhao YC, Nayar V. Design, economic analysis and environmental considerations of mini-grid hybrid power system with reverse osmosis desalination plant for remote areas. *Renew Energy* 2009;**34**: 374–83.

[25] Ekren O, Ekren B, Ozerdem B. Break-even analysis and size optimization of a PV/Wind hybrid energy conversion system with battery storage—a case study. *Appl Energy* 2009;**86**:1043–54.

Downloaded from https://academic.oup.com/ijlct/article/6/1/44/702000 by guest on 21 August 2022

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

fire

MDPI

Review

Green Conversion of Carbon Dioxide and Sustainable Fuel Synthesis

Hosam M. Saleh * and Amal I. Hassan

Radioisotope Department, Nuclear Research Center, Egyptian Atomic Energy Authority, Cairo 11787, Egypt; virtualaml@gmail.com

* Correspondence: hosamsaleh70@yahoo.com or hosam.saleh@eaea.org.eg

Abstract: Carbon capture and use may provide motivation for the global problem of mitigating global warming from substantial industrial emitters. Captured CO_2 may be transformed into a range of products such as methanol as renewable energy sources. Polymers, cement, and heterogeneous catalysts for varying chemical synthesis are examples of commercial goods. Because some of these components may be converted into power, CO_2 is a feedstock and excellent energy transporter. By employing collected CO_2 from the atmosphere as the primary hydrocarbon source, a carbon-neutral fuel may be created. The fuel is subsequently burned, and CO_2 is released into the atmosphere like a byproduct of the combustion process. There is no net carbon dioxide emitted or withdrawn from the environment during this process, hence the name carbon-neutral fuel. In a world with net-zero CO_2 emissions, the anthroposphere will have attained its carbon hold-up capacity in response to a particular global average temperature increase, such as 1.5 °C. As a result, each carbon atom removed from the subsurface (lithosphere) must be returned to it, or it will be expelled into the atmosphere. CO_2 removal technologies, such as biofuels with carbon sequestration and direct air capture, will be required to lower the high CO_2 concentration in the atmosphere if the Paris Agreement's ambitious climate targets are to be realized. In a carbon-neutral scenario, CO_2 consumption with renewable energy is expected to contribute to the displacement of fossil fuels. This article includes a conceptual study and an evaluation of fuel technology that enables a carbon-neutral chemical industry in a net-zero-CO_2-emissions environment. These are based on the use of collected CO_2 as a feedstock in novel chemical processes, along with "green" hydrogen, or on the use of biomass. It will also shed light on innovative methods of green transformation and getting sustainable, environmentally friendly energy.

Keywords: carbon capture; CO_2; renewable energy; global warming; methanol; green hydrogen; fossil fuels; biofuels

check for updates

Citation: Saleh, H.M.; Hassan, A.I. Green Conversion of Carbon Dioxide and Sustainable Fuel Synthesis. *Fire* **2023**, *6*, 128. https://doi.org/10.3390/fire6030128

Academic Editor: Adina Magdalena Musuc

Received: 28 February 2023
Revised: 10 March 2023
Accepted: 15 March 2023
Published: 22 March 2023

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Global carbon emissions fell 5% in the first quarter of 2020 compared to the first half of 2019, owing to lower coal consumption (8%), oil (4.5%), and natural gases (2.3 percent). Another paper provided the daily, monthly, and annual rhythms of CO_2 emissions and anticipated an 8.8 percent reduction in CO_2 in the first half of 2020 [1]. The COVID-19 epidemic caused the largest dramatic drop in worldwide CO_2 emissions since World War II [2]. The Worldwide Atmospheric Research anticipated that global human fossil CO_2 emissions in 2020 will be 5.1 percent lower than in 2019, at 36.0 Gt CO_2, barely below the 36.2 Gt CO_2 emission level recorded in 2013 [3]. Global carbon emissions (fossil fuels) per unit of Gross Domestic Product (GDP) decreased in 2019, averaging 0.298 t CO_2/k USD/year, but per capita carbon emissions were steady at 4.93 t CO_2/capita/year, confirming a 15.9 percent increase since 1990 [4].

To minimize the magnitude of global warming, substantial reductions in CO_2 emissions from fossil fuel use are necessary. In view of the steadily increasing interest in

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

preserving the environment and mitigating the consequences of climate change and global warming, hence, great attention is dedicated to finding alternative sustainable methods or eco-friendly economic materials to reduce the use of cement in various fields and consequently reduce the CO_2 emissions accompanying with intensive energy consumed in the cement industry. Various additives have been mixed with cement such as bitumen [5,6], asphaltene [7], glass [8,9], polymers [10–12], nanomaterials [13,14], cement wastes [15,16], bio-waste [17–19] or natural clay [20,21] to improve the material features and minimize the cement incorporation and environmental pollution.

However, carbon-based liquid fuels will continue to be key energy storage media for the foreseeable future [22]. We suggest using solar energy to recycle atmospheric CO_2 into liquid gasoline using a mix of mostly available technologies. The world population hit 7 billion in 2011 and is expected to exceed 9 billion by 2050, according to the United Nations, significantly increasing energy consumption. According to Hubbert's peak theory, oil resources will plummet dramatically during the next 40 years [23]. As a result, the years 2055–2060 may be the last in which oil output reaches zero. Furthermore, while taking current energy usage into account, the World Coal Institute estimates that current coal reserves will last another 130 years, oil reserves for 42 years, and natural gas reserves for 60 years. The need to replace old fossil fuels with sustainable alternatives and new energy scenarios is thus becoming critical. Another major environmental worry is the rising quantities of carbon dioxide (CO_2) in the atmosphere, which is caused by the combustion of fossil fuels and contributes to global warming [24].

Carbon capture allows for the production of low-carbon power from fossil fuels as well as the reduction of CO_2 emissions from industrial operations, such as gas processing, cement production, and steel production, where alternative decarbonization options are restricted. CO_2 capture and usage is gaining popularity across the world [24].

Human-caused CO_2 increases have disastrous repercussions, such as rising average temperatures, melting sea ice, flooding, and sea level rise, harming global life, health, and the economy. The staggering difference between the total amount of carbon emitted worldwide as CO_2 and the quantity of carbon present in five crucial carbon-containing commercial chemicals, not including derivative products such as ethylene oxide [25], underscores the grave consequences of continued carbon emissions. Even with indirect effects, the greatest quantity of CO_2 that may be used remains quite little in comparison to total emissions. For example, if the whole worldwide yearly manufacturing of ethylene, the most extensively made commercial chemical containing carbon atoms, were carried out solely using carbon derived from CO_2, this would result in direct usage of less than 1.5 percent of total global CO_2 emissions [26]. Even with additional commercial chemicals included and indirect mitigation assumptions applied, possible usage might constitute just a tiny fraction of overall emissions. Naturally, this ignores the reality that direct CO_2 conversion into hydrocarbons, particularly aromatics, is unlikely to become a commercial method in the near future.

Nonetheless, CO_2 activation is exceedingly difficult since CO_2 is a completely oxidized, thermodynamically stable, and chemically inactive molecule. Furthermore, hydrocarbon synthesis by CO_2 hydrogenation frequently results in the creation of undesirable short-chain hydrocarbons rather than the desired long-chain hydrocarbons [27]. As a result, most research in this field has been on the sequential hydrogenation of CO_2 to CH_4, oxygenates, CH_3OH, HCOOH, and light olefins (C_2–C_4 olefins). There have been few experiments on creating liquid hydrocarbons with molecular weights of C^{5+}.

There are two methods of converting CO_2 to hydrocarbon gas liquids: an indirect pathway that transforms CO_2 to carbon monoxide (CO) or methanol and then to liquid hydrocarbons, or a direct CO_2 hydrogenation route that combines CO_2 reduction to CO through the use of the converse water-gas shift reaction shift (CWGS) and subsequent CO hydrogenation to long-chain hydrocarbons through the use of the Fischer-Tropsch synthesis (FTS) [28,29]. Secondly, the more direct technique is typically viewed as cheaper and ecologically acceptable since it requires fewer chemical process stages and uses less energy

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

overall. The following chemical reactions are relevant for the production of hydrocarbon fuel (Scheme 1).

Hydrogenation of CO_2:

$$CO_2 + 3H_2 \rightleftharpoons CH_2 + 2H_2O \ (\Delta H^0_{298} = 125 \text{ kJ mol}^{-1};$$

The CWGS reaction: $$CO_2 + H_2 \rightleftharpoons CO + H_2O \ (\Delta H^0_{298} = 41 \text{ kJ mol}^{-1}); \text{ and}$$

The FTS reaction: $$CO + 2H_2 \rightleftharpoons -(CH_2)- + H_2O \ (\Delta H^0_{298} = -166 \text{ kJ mol}^{-1})$$

Scheme 1. Chemical reactions used to produce hydrocarbon fuels.

Mitigation of greenhouse gases is one of the most pressing issues confronting society today. As a result, the best strategy to minimize greenhouse gas emissions is to employ carbon-free sources that do not emit more CO_2 into the environment [30]. However, there is significant promise in CO_2 energy carriers and other materials, with several hurdles to overcome. Reduced CO_2 emissions and conversion to renewable fuels and valuable chemicals have been proposed as possible ways to reduce greenhouse gas emissions [30].

This review discusses the most current breakthroughs and problems in CO_2 use for effective renewable fuel (RF) synthesis. This comprises revolutionary technologies, techniques, and existing impediments to CO_2 to RF conversion, with the goal of establishing advancements in this field and presenting an overview of recent research trends for the prospective development of new concepts for large-scale CO_2 reduction into methanol.

2. Global Warming and Sustainability

Producing energy from CO_2 rather than absorbing and disposing of it is a sustainable energy technique. In reality, several thermochemical processes may transform CO_2 into value-added compounds such as hydrogen, methanol, and ethanol [31]. These fuels may be utilized to power automobiles without requiring major modifications to existing internal combustion engines, paving the way for a more sustainable future. Discovering eco-friendly alternatives and new energy scenarios, primarily the conversion of CO_2 into value-added chemicals using sunlight, is one of the top-most research priorities to overcome today's extreme reducing the use of fossil fuels and mitigate the global warming risks associated with high CO_2 concentrations in the atmosphere [32].

Because of decreased prices, quick commercial adoption, and complete industrial development, the use of second-generation green fuels is one of the most promising approaches to achieving industrial and ecological aims in the short term. A green fuel, unlike fossil fuel, does not emit more CO_2 into the atmosphere since its burning, in the well-to-wheel cycle, creates a CO_2 release equivalent to that required for its manufacture, closing the CO_2 balance, and making it a carbon-neutral fuel [33]. The practical application of hydrogenation catalysts in conjunction with commercially viable research and innovation technology. Indeed, catalytic conversion of atmospheric CO_2 into biofuels and fine chemicals would be one of the most economical and realistic solutions to the problem of greenhouse gas emissions, assuming that capture/sequestration and high-pressure storage technologies become commercially viable [34,35]. Nonetheless, in a very short time, the most prosecutable actions and encouraging prospects look upon the use of CO_2-rich streams originating from industrial exhaust emissions, such as brick and cement work, despite the need for clean-up stages, as well as additional purification and concentration [36]. Haldor-Topsoe is at the vanguard of using CO_2 as a carbon feedstock through various power-to-gas technologies, whereas ENI is redesigning its production lines with a greener vision, by developing new hydrogenation processes, called ENI Ecofining^{TM}, for green-fuels synthesis, advantageously depicting the production of ultra-pure CO_2 as industrial

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

practice [37]. Despite significant advances in fuel science, the commercial and economic viability of hydrogen-to-liquid-fuels such as methanol is still being debated. The discovery of more effective catalyst substances for the efficient hydrogenation of CO_2 looks to be of major importance in this scenario. CuO/ZnO-based catalysts, as is well known, offer lower costs and improved chemical stability when compared to other catalysts such as transition metal carbides (TMCs), bimetallic catalysts, or Au-supported catalysts [38]. Although $CuO/ZnO/Al_2O_3$ is the most extensively investigated catalyst for methanol synthesis, it was shown that the inclusion of ZrO_2, CeO_2, and TiO_2 oxides improved both the activity and selectivity of CuO/ZnO-based catalysts in CO_2 hydrogenation processes [39].

Recently the influence of replacing Al_2O_3 with CeO_2 in the typical $Cu\text{-}ZnO/Al_2O_3$ catalytic discussed composition for syngas conversion, suggesting that the use of cerium oxide led to a remarkable positive effect on the catalyst stability, as a result of the preservation of the ratio of CuO/Cu^+ on the catalyst surface. As well as, on the particle growth, due to the strong electron interactions of the copper/ceria phase ($Cu/Cu_2O/CuO$, Ce^{3+}/Ce^{4+}) during hydrogenation reactions [40]. Metal dispersion and CO_2 adsorption capacity are two key parameters affecting the CO_2 hydrogenation functionality of Cu-based systems. Similarly, in our previous works, we displayed that the use of several oxides (i.e., ZnO, ZrO_2, CeO_2, Al_2O_3, Gd_2O_3, Ce_2O_3, and Y_2O_3) and alkaline metals (i.e., Li, Cs, and K) could remarkably influence both catalyst structure and morphology, balancing the amount of the diverse copper species (i.e., $Cu^\circ/Cu^+/Cu^{2+}$) and leading to a notable improvement of the catalytic performance. On this account, ZrO_2 has been shown to positively the affect morphology and texture of Cu-ZnO based catalysts, also favoring CO_2 adsorption / activation and methanol selectivity, while CeO_2 could act as both an electronic promoter and improver of surface functionality of Cu phase [41]. As reported in our preliminary works, the scientists have proved a greater specific activity of $CuZnO\text{-}CeO_2$ catalyst with respect to that of similar catalytic systems containing ZrO_2 or other promoter oxides, facing several electronic and structural effects. Despite of a generally higher specific activity, we have evidenced that the CuZnO-Ceria catalyst suffers from several practical limitations, such as: a lower surface area, especially compared to that of ZrO_2 and Al_2O_3 promoted catalysts.

3. Green Hydrogen and Biofuel

Hydrogen has several benefits as an energy carrier and will play a key role in future energy production and circular economy [42]. Because hydrogen can be created in a climate-neutral way and emits only water when used, it is regarded as a climate-friendly energy carrier [43]. Hydrogen derived from renewable sources is commonly referred to as "green hydrogen." It contrasts with "grey hydrogen," which is defined as hydrogen derived from fossil, nonrenewable sources [44]. Currently, grey hydrogen generated by steam reforming of fossil natural gas accounts for the majority of worldwide hydrogen production [44]. Grey hydrogen may be converted to "blue hydrogen" by using carbon capture and storage technology, but it remains a non-renewable source [45]. To distinguish between carbon-neutral green and blue hydrogen, we coined the term "carbon-negative hydrogen." Hydrogen has a wide range of uses due to its high gravimetric energy density, as well as its ease of storage and transportation [46]. Fuel cells may produce both electric power and heat from hydrogen. In the steel industry, hydrogen may also be utilized as a reducing agent [46]. It is regarded as an unavoidable basic building element in difficult-to-electrify zones [46]. Green hydrogen may be created using renewable power or renewable biomass, either through thermochemical processes or using microorganisms and biotechnological technologies. Biohydrogen, or hydrogen generated from biomass, can lead to more effective use of biogenic source materials by using residual and waste materials. Biohydrogen production technologies are classified as thermochemical or biotechnological. Biohydrogen may be generated on an industrial scale utilizing thermochemical methods from biomass (wood, straw, grass clippings, etc.) as well as other bioenergy sources (biogas, bioethanol, etc.) [43]. Gasification and pyrolysis are two types of thermochemical reactions. The synthesis gas produced by gasification or pyrolysis contains varying proportions of

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

H_2, CO_2, carbon monoxide (CO), methane (CH_4), and other components such as nitrogen, water vapor, light hydrocarbons, hydrochloric acid, alkali chlorides, Sulphur compounds, biochar, or tar [47]. The following chemical processes occur as a result of subsequent steam reforming and/or water gas shift reactions, culminating in the creation of CO_2 and hydrogen [48]. Minimal carbon-hydrogen (MCH) should be used initially in areas that are difficult to electrify directly [49]. We believe that generated bio-hydrogen is employed in difficult-to-electrify industrial sectors such as cement, steel, refining, ammonia, and glass. Refineries and ammonia plants are now the largest customers of hydrogen generated by steam methane reforming, a process that releases at least 10 kg CO_2 for every kilogram H_2 produced. Because many industries utilize carbon-intensive hydrogen, switching to MCH would be a near-term opportunity to increase hydrogen demand while lowering greenhouse gas emissions. Companies that are difficult to electrify may reduce their emissions and capture carbon dioxide by switching to alternative fuels and implementing carbon capture and storage technologies. This can help to enable their operations to contribute to the elimination of carbon dioxide from the atmosphere.

Country-specific forecasts of European nations' ultimate energy consumption in 2050 are unavailable and difficult to determine. As a result, scientists evaluate country-specific final energy consumption in 2019 and anticipate that 5–30% of final energy consumption will be fulfilled with low-carbon hydrogen to minimize hard-to-electrify emissions. These scenarios enable us to set upper and lower bounds on the amount of hydrogen likely required by each European country to achieve net-zero emissions by 2050 [50].

4. Carbon Dioxide Sequestration by Microalgae

Carbon dioxide (CO_2) sequestration and stabilization technologies are methods designed to reduce the amount of carbon dioxide emissions in the atmosphere, in order to mitigate the effects of climate change. CO_2 sequestration refers to the process of capturing and storing CO_2 from industrial processes or power generation, while CO_2 stabilization refers to methods that aim to reduce the amount of CO_2 emitted into the atmosphere. There are several types of CO_2 sequestration technologies. Carbon capture and storage (CCS) is a proven technology that has been used for several decades in various industries. It has the potential to capture a significant portion of CO_2 emissions from industrial processes and power generation, and to store them safely underground [51]. However, CCS is currently expensive and requires significant infrastructure, and there are concerns about the long-term integrity of storage sites and potential leaks [51]. Direct air capture (DAC) is an emerging technology that has the potential to capture CO_2 directly from ambient air, regardless of the source of emissions [52]. It could be useful for decarbonizing industries that are difficult to electrify, such as aviation or shipping. However, DAC is currently expensive and energy-intensive, and there are concerns about the scalability of the technology [52]. Carbon capture and utilization (CCU) can help to reduce emissions while also creating new economic opportunities [53]. It has the potential to be cost-effective, especially if the captured CO_2 can be used to produce high-value products. However, the scale of CCU is currently limited, and it may not be feasible for all industries or applications.

Enhanced oil recovery can help to reduce emissions while also increasing oil recovery. It has been used for several decades and is a well-established method. However, it is limited to areas with suitable oil reservoirs, and the potential for CO_2 leakage or other environmental risks must be carefully monitored. Mineral carbonation is a promising method that has the potential to store CO_2 in a stable and long-lasting form [54]. It could be particularly useful for capturing CO_2 from industrial processes that produce high-purity CO_2 streams. However, the process is currently expensive and requires significant energy inputs.

It is critical to improve existing technology and find appropriate replacements. In comparison to physical and chemical approaches, biological CO_2 fixation (CDF) appears to be a more cost-effective and environmentally beneficial solution. Photosynthetic organisms ingest CO_2 during the dark period of photosynthesis and serve an important role in

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

maintaining the equilibrium of CO_2 levels in the atmosphere [55]. Phytoplankton showed better CDF capacity and biomass output when compared to other green organisms [56]. Marine phytoplankton provides for half of the total global primary productivity, fixing 50 gigatonnes of CO_2 every year [57]. In this context, experiments on carbon capture by microalgae have piqued the interest of scientists all around the world. Microalgae can absorb CO_2 10–50 times more efficiently than vascular plants while not competing with or supplying food for humans/animals [57]. The carbon concentration process is a specific mechanism used by microalgae to ingest carbon dioxide. The pyrenoid, a specific organelle, raises the level of CO_2 near the thylakoid membranes in this process [58]. The rising carbon dioxide content near the thylakoid membrane increases the effectiveness of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, a key photosynthetic enzyme for carbon uptake or sequestration.

In order to accomplish sustainability goals, not only economic elements but also social (protection or hazard-free), environmental (pollution prevention and regulatory authority), energy, material, and economic performance aspects of processes and products must be reviewed, optimized, and regulated [59]. Furthermore, these process control systems should protect against unforeseen instabilities that occur when the process deteriorates over time and/or because of changes in feed composition flow rate, temperature, and pressure. Furthermore, a hierarchical design technique was presented to synthesize economically efficient separation procedures while considering environmental concerns as limitations [60]. Recently, a modular strategy for designing sustainable chemical processes was established by combining quantitative economic and environmental variables with qualitative social indicators [61]. Multi-objective optimization systems have a greater chance of achieving the best trade-off between competing economic and environmental goals. For instance, a universal optimization technique for sustainability was created, in which a large-scale algae processing network was concurrently optimized in terms of lowering the unit cost- and global warming ramifications indicators [62]. A multi-objective genetic algorithm was employed to address an integer non-linear programming problem related to environmental concerns, despite it having a single objective. The algorithm was able to optimize for multiple factors simultaneously, allowing for a more comprehensive and effective solution. Sustainable process control research for chemical processes, on the other hand, is not as well recognized as sustainability design optimization. There has been little published research on process operations that use sustainability-oriented control techniques [63]. To address the sustainability of a batch reactor, a strategy incorporating stochastic dynamic optimization with optimum control was presented [64]. Another use of deterministic optimum control techniques to increase energy efficiency in industrial processes has been documented [65]. Only utility-related environmental consequences were examined in these two investigations. Given the contradicting nature of sustainable indicators, this constraint might be linked to a lack of effective solutions for integrating process sustainability features into the advanced controller architecture (e.g., economics vs. environment) [65]. According to the principles of green chemistry and engineering [66], chemical production processes that reduce or limit greenhouse gas emissions of hazardous substances should be developed by minimizing waste, performing real-time analysis regulating contamination and dangerous incident prevention, maximizing mass, energy, space, and time efficiency, and so on [66]. Furthermore, when improved sustainability is established, it must be maintained in the face of any beyond-the-gate (front-edge alterations) and/or process stage disturbances. Catalytic, electrochemical, mineralization, biological (using microorganisms and enzymes), photocatalytic, and photosynthetic processes are among the various technical pathways available for converting CO_2 into commercial goods [67]. Electrolyzers are used in electrochemical processes to convert CO_2 to CO. H_2, which is often produced by water electrolysis, is a common co-reactant in the conversion of CO_2 to CH_4, CH_3OH, and other compounds. Electrolysis techniques are energy-intensive and expensive [68]. Near-zero emission energy sources must be employed for the systems to be carbon-neutral. CO_2 electrolysis is a more new study topic than H_2O electrolysis, which is well known, and thus

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

more effort is needed to develop affordable, robust catalytic materials with high efficiency, selectivity, and yield [26]. Energy efficiency, Faradaic efficiency, conversion rate, long-term catalyst(s) stability and durability, and process economics are five critical system-level aspects to consider when commercializing these technologies. The primary distinction between photocatalytic and electrochemical CO_2 reduction is the source of electrons, which are acquired in the former by exposing semiconductors to light and in the latter by providing a current [68]. The direct utilization of photons, as opposed to the first conversion into electricity, is a significant benefit of the photocatalytic process. However, such processes are complicated, including several mechanisms that are not fully understood, such as electron and proton transport and chemical bond formation/breaking [68]. Solar-energy-driven CO_2 conversion has sparked tremendous interest across the world, with research focusing mostly on the creation of innovative nanomaterials photocatalytic materials and laboratory-scale examination of the reaction process. Efficiency is critical for affordability and scalability in any system that uses solar power for CO_2 conversion [69]. Currently, the attainable CO_2 conversion rates of photocatalytic/photothermic catalytic systems in development are frequently low and impractical for commercial-scale operations. Because the electrochemical or photocatalytic reduction of CO_2 to create high-specificity chemicals or fuels is difficult, it may be easier to employ some well-established catalytic techniques to react CO_2 and H_2 to form carbon-based products [70]. The catalyst—the substance that transforms CO_2 that must have high efficiency, selectivity, quick reaction rates, and stability—is at the core of various CO_2 conversion methods. CO_2 conversion catalysts are actively researched and developed across the world [71]. A number of catalysts have been developed and tested, and they have proven to be capable of converting CO_2 into a variety of compounds with high efficiency, selectivity, and yields. Several papers available discuss current advances in catalyst reactor design [72]. More research is needed to make these catalysts more efficient, selective, and stable over time. More effort is needed to create technologically and economically feasible procedures for the commercial conversion of CO_2 into fuels and chemicals based on these catalysts. Furthermore, one crucial technology for the competitiveness of CO_2-derived chemicals and fuels on the market is the low-cost synthesis of carbon-free H2 [73]. These reactions need pure CO_2; hence, CO_2 released from sources such as fossil fuels are insufficient. In general, these processes demand pure CO_2, hence CO_2 released from sources such as fossil-fuel power plants, steel, and cement production must be cleaned, raising the prices even higher. Biotechnology relies on the capacity of living organisms such as microbes, algae, or plant cells to metabolize one material into another.

Numerous studies over the last decade have demonstrated that CO_2 mitigation using algae is a sustainable process with the simultaneous synthesis of high-calorific products such as biodiesel, pigments, fatty acids, and so on [74,75]. The broad dispersion, high biomass output, capacity to respond under harsh conditions, rapid carbon absorption and consumption, and ability to develop value-added products all contribute to algae's potential usage (Figure 1 and Table 1). The carbonic anhydrase enzyme is used by both macro and microalgae to digest inorganic carbon via a photoautotrophic process [76]. The $NADH_2$ produced by the electron transport chain joins with the Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (supplied by the carbonic anhydrase enzyme) and aids in carbohydrate creation from CO_2 as well as providing limited power in the Calvin cycle for glucose synthesis [77]. There were also numerous more strains of microalgae that grew rapidly under harsh environments such as high pH and temperature [78]. Lipids, which may be utilized as a source for biofuel production (e.g., biodiesel), are the most industrially useful algal product [79]. As a result, a diverse set of strains for high lipid synthesis and boosting growth parameters like as light, temperature, and pH are critical to increasing productivity [80]. Unoptimized pH during algae development can influence carbon species distribution and carbon availability. Furthermore, at high pH levels, it can have a direct impact on the metabolic activity of algae.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Figure 1. Green conversion of CO_2 to biofuel.

Green algae species such as *Chlorella vulgaris* and *Nannochloropsis gaditana* were studied for CDF in tubular bioreactors under optimal conditions of temperature (25 C), CO_2 concentration (4 and 8 volume percent), and artificial light [81]. The greater CDF in both species was sustained by an 8 volume percent CO_2 concentration. When compared to other species, *Nannochloropsis gaditana (N. gaditana*) had a greater CO_2 biofixation rate (1.7 g/L/day) and cell concentration. Overall the biological control applications offer a promising solution for reducing carbon dioxide emissions and bioconverting them into renewable fuels (Table 1). Researchers have been exploring the use of enzymes found in nature to catalyze the conversion of carbon dioxide into sustainable fuel. Enzymes are highly efficient and selective catalysts, and by mimicking their structure and function, researchers hope to develop new catalysts with improved performance and sustainability.

Table 1. Some biological control applications for carbon dioxide stabilization and bioconversion into renewable fuels.

Target	Method	Enzymes	Species	Product	Pathway	References
Changing heterotrophic yeast into autotrophs capable of utilizing carbon dioxide as their sole carbon source	Isotopic tracing, metabolic rewiring, gene modification, responsive laboratory evolution	cbbM, groEL, groES, PGK1, TDH3, TPI1, TKL1,	*Pichia pastoris*	Biomass	Calvin-Benson-Bassham (CBB)	[82]
C. carboxidivorans homologous and heterozygous gene upregulation to improve ethyl alcohol and butanol manufacturing	Expression of homozygous and heterozygous RT-PCR, fermentation, and enzyme methods	aor, adhE2, fnr	*Clostridium carboxidivorans*	Butanol, ethyl alcohol	Wood-Ljungdahl pathway, alcohol biosynthesis	[83]
To induce artificial autotrophy in Escherichia coli.	Isotopic tracing, metabolic rewiring, gene modification, responsive laboratory evolution	Rubisco, Prk, CA, FDH,	*Escherichia coli*	Biomass	CBB	[84]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 1. *Cont.*

Target	Method	Enzymes	Species	Product	Pathway	References
To design an efficient ATP path that leads to fixing of carbon dioxide and malate biosynthesis.	UPLC-MS/MS UPLCMS HPLC Genetic manipulations Gene overexpression, Enzyme assays, gas chromatograph,	ΔpfkAB, Δzwf	*S. elongatus Escherichia coli*	Malate	PCK CBB	[85]
To cultivate artificial autotrophs in *M. extorquens*.	Growth phenotyping, whole-cell proteomics LC-MS/MS, Spectrophotometric assays, genetic manipulation	PCK	*Methylobacterium extorquens*	Biomass	CBB	[86]
To direct carbon flow toward the shikimate pathway in order to generate aromatic compounds from CO_2 sequestration.	Metabolic engineering, flow rate analysis, gene modification	MDH	*S. elongatus*	Aromatic compound: 2-phenylethanol, phenylpyruvate, L-phenylalanine, phenylacetalde-hyde	Shikimate	[87]
To build a heterogeneous route in Anabaena sp. for 1,3-propanediol syntheses.	Homologous recombination, pathway optimization, qPCR, GC-MS, and HPLC are all examples of gene modification.	Rubisco	*Anabaena PCC7120*	1,3-Propanediol	1,3-propanediol biosynthetic	[88]
To create an effective hybrid (bioelectrochemical) structure for carbon dioxide fixation.	CRISPR-Cas9 gene output, gas chromatography, mass spectrometry, and electrochemical cultivation, gene cloning.	Prk	*Escherichia coli*	Formate	RGP, rGCS	[89]
Using engineered bacteria, alkanes are produced from carbon dioxide.	Gene cloning, biosensor, biofluorescence, LC	Acr1, Ramo, Aar, seado, pmado, cer1	*Acetobacterium woodii, Acinetobacter baylyi*	Alkanes	Alkane biosynthesis	[90]

Two microalgae species (*Chlorella sp.* and *Tetraselmis suecica*) were studied for growth kinetics, pH, and biofixation at various CO_2 concentrations (0, 5, 15, and 30%) [91]. Both species demonstrated varying degrees of tolerance to CO_2 concentrations. The optimal pH varied from 7.5 to 9. Both species' biomass were fermented by Clostridium saccharoper-butylacenaticum N1 4, which generated value-added biochemicals such as organic acid (acetic acid and butyric acid) and solvent (acetone, butanol, and ethanol). *Chlorella vulgaris* was tested using various colored light filters and unfiltered light [92]. The white-colored filter had the highest biomass content (2.26 g/L). The important factors of the process, such as carbon sources and concentrations, pH conditions, buffering agent, H_2 gas (as electron donor), and CO_2 availability, were investigated in the manufacturing of succinic acid using a strain strongly tied to *Citrobacter amalonaticus* [93]. The study's findings revealed that utilizing sucrose as a substrate including H_2 and CO_2 resulted in the highest synthesis of succinic acid (12.07 g/L), as well as the removal of by-products (formic, lactic, and acetic acids). A 900 L tangential spiral-flow column photo-bioreactor was assessed in a recent study [94] to optimize the light distribution and light/dark cycle for better CO_2 fixation utilizing *Arthrospira sp.* The higher cell concentration aided total photosynthesis and improved CO_2 fixation by 59%. The cells obtained maximal values of chlorophyll a content (8.769 mg/L), helix pith (78.26 m), and CO_2 fixation rate of 0.358 g/L/day with a

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

CO_2 aeration rate of 0.210 L/min, the CO_2 volume concentration of 15%, and circulating pump power of 30 W. For kinetic modeling of *Chlorella vulgaris* growth and CO_2 fixation, a central composite design-based statistical technique was used [95]. Temperature, CO_2 concentration, nutrients (N, C, and P), gas flow rate, light intensity, and initial inoculum concentration were all taken into account. Under optimized conditions, the highest optimum growth and CO_2 fixation with an energy ratio of 19.5 were obtained: temperature, 25 °C; CO_2 concentration, 20%; gas flow rate, 0.5 vvm; total nitrogen, 19 mg-N/L; total phosphorous, 7 mg-P/L; initial concentration of inoculum, 0.52 mg/L; and light intensity, 150 μE/m^2s. Approximately one-third of the sugar substrate is lost as CO_2 during microbial fermentation (pyruvate decarboxylation to acetyl-CoA) [96]. *Clostridium acetobutylicum* (which eats sugars to create a range of compounds in addition to releasing CO_2 and H_2) and *Clostridium ljungdahlii* (which fixes CO_2 via the Wood-Ljungdahl pathway) were employed to repair the released CO_2 [97]. This co-culture was successful in recovering carbon and producing non-native metabolites isopropanol and 2,3-butanediol. Based on the H_2 substrate, the wood-Ljungdahl route is efficient for creating acetate and ethanol. This method has been used to successfully produce alkanes [98], acetone and acetate, and lipids for biodiesel synthesis from CO_2.

Microalgae have a high biomass production and are resistant to harsh environmental conditions. As a result, microalgae are being explored as a possible feedstock for Sequestration and bioenergy generation [78,99]

The growing methodology, microalgal strain, flue gas composition, CO_2 tolerance capability, and other factors all contribute to the issues involved with algae-based carbon sequestration [78]. In the biomass cultivation stage, operating costs and energy consumption are increased. Several studies have shown that an open lagoon is more expensive for algae production, but it is not a suitable choice for preserving cultural integrity. The dynamics of heat transmission, irradiance, and nutrient status have been explored, and it has been discovered that thermal modeling is critical for the open raceway, as outlined in [100]. Life cycle assessment (LCA) is an effective method for measuring input-output inventories, power consumption, cost, and the entire life cycle. The LCA of microalgae carbon sequestration begins with microalgae growing and progresses to product creation. A detailed LCA on microalgae generation and flue gas sequestration in raceways ponds revealed that the semicontinuous culture system had a 3.5-fold greater rate of growth for biomass productivity than batch cultivation. The study also found that flue-gas-fed outdoor raceway ponds (RPs) might reduce GHG emissions by 45–50% compared to the baseline [100]. According to another LCA assessment, the cost of producing biomass is 4.87 USD per kilogram, and the energy usage is 0.96 kWh/kg of *Chlorella* biomass. Under natural daylight circumstances, 4000 m^3 algae culture ponds might sequester up to 2.2 k tonnes of CO_2 per year, according to one research [101]. Another research found that 50 MW power stations may emit 414,000 t/year CO_2, whereas a 1000-ha open RPs could absorb 250,000 t/year CO_2. According to this study, algae might cut CO_2 emissions by 50%. A primary obstacles to indirect CO_2 extraction from industrialized flue gas utilizing microalgae is that flue gas includes 142 chemical components that are potentially harmful to microalgae [4]. The low amounts of NOx and SOx in flue gas can provide nutrients to microalgae, while greater concentrations can be hazardous. CO_2 solubilization (CDs) in culture media is primarily determined by pH, temperature, and salt content. Numerous growth media have high salinity, which raises osmotic pressure and, as a result, inhibits CDs in the medium. Feed-batch cultures, for example, can be used to progressively deliver the salts required for microalgal development [102]. Various studies have demonstrated the specialized suitability of algal CO_2 sequestration; however, the crucial problems are the key and all circumstances of improvements that will enhance the financial functionality of algal CDS and contribute to making this a rational advanced method to deal with GHG remediation. Microalgae carbon sequestration is a long-term strategy for reducing global CO_2 emissions [103]. Microalgae is a more appropriate alternative for carbon emission reduction due to recent advancements in culture conditions, harvesting, CDS capability,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

and LCA studies [103]. The majority of research has been on determining how to select and cultivate several potential microalgae species for effective CDS. There has been little focus on the establishment of large and commercial-scale carbon sequestration utilizing microalgae. Most of the study has focused on how to identify and develop several possible microalgae species for successful CDS. There has been a minimal emphasis on the development of large-scale and commercial-scale carbon sequestration using microalgae. Though research in algal carbon sequestration mostly concerns strain mutation, improved growth techniques, and harvesting, there is a vacuum in the area involving variables influencing carbon sequestration (e.g., change in light intensity over the day (month, and year), and so on. Likewise, pyrenoid is the most significant sub-organ of microalgae that plays a vital function (as stated above in a separate area) in the carbon concentration process, but research in this field is still in its early stages. Furthermore, research on high-CO_2-tolerant microalgae is required to improve carbon sequestration. More research is needed to determine how to minimize the loss of residual undamaged carbon [104].

However, there are also some challenges to overcome in using biotechnology for CO_2 sequestration. For example, the productivity and stability of the organisms used must be optimized to ensure that they can capture and convert CO_2 efficiently and consistently. Additionally, the processing methods for the products produced must be cost-effective and scalable to enable commercial viability [105]. The carbon neutrality of green fuels is achieved through the use of renewable resources such as biomass, wind, or solar energy to produce the fuel. During the production process, renewable resources absorb carbon from the atmosphere through photosynthesis or other natural processes [106]. This carbon is converted into fuel through various conversion processes, such as fermentation or pyrolysis. When green fuel is burned, it releases carbon emissions into the atmosphere, but these emissions are balanced by the carbon absorbed during the production process. This creates a closed carbon cycle, where the carbon emitted during fuel use is reabsorbed during the production process, resulting in no net increase in carbon emissions. It is important to note that the carbon neutrality of green fuels depends on various factors, including the source of raw materials, the efficiency of the conversion process, and transportation emissions. A comprehensive lifecycle analysis is necessary to accurately assess the carbon footprint of green fuel and determine whether it is carbon-neutral [107].

Overall, biotechnology, particularly the use of microbes, algae, or plant cells to metabolize one material into another, is a promising approach for CO_2 sequestration and stabilization. Further research and development will be needed to optimize the efficiency, selectivity, and cost-effectiveness of these approaches, but they hold significant potential for addressing the challenges of climate change and reducing greenhouse gas emissions.

5. Future Perspective

The green conversion of CO_2 into sustainable fuels is a rapidly evolving field, with many promising developments on the horizon [69]. The integration of multiple technologies and approaches to optimize the CO_2 conversion process. For example, researchers are exploring the use of renewable energy sources, such as solar and wind power, to power the CO_2 conversion process. This approach would enable the production of sustainable fuels without relying on fossil fuels, further reducing greenhouse gas emissions [108].

The development of scalable and cost-effective CO_2 captures technologies and the widespread adoption of sustainable fuel synthesis will require the capture of large amounts of CO_2 from industrial processes and the atmosphere. Current CO_2 capture technologies are often expensive and energy-intensive, limiting their feasibility on a large scale. However, researchers are developing new capture technologies based on materials such as metal-organic frameworks and zeolites, which have the potential to significantly reduce the cost and energy requirements of CO_2 capture [109].

The integration of Artificial intelligence and machine learning algorithms is also expected to play a significant role in the future of CO_2 conversion [110]. As these algorithms become more advanced, they will be able to optimize the CO_2 conversion process with

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

greater accuracy and speed, leading to further improvements in efficiency and selectivity. These technologies are still in their early stages of development and will require significant investment in research and development to optimize their efficiency and reduce costs. Many of these technologies rely on renewable energy sources such as solar and wind power. Therefore, the increased deployment and use of renewable energy sources will be critical for the success of these technologies. These technologies must be cost-effective and scalable in order to be implemented on a large scale. The development of cost-effective systems will require a focus on reducing the costs of materials and improving the efficiency of conversion processes.

Governments and policy makers can play a critical role in supporting the deployment and adoption of these technologies through supportive policies such as incentives, subsidies, and regulations [111]. Widespread public awareness and acceptance of these technologies will be important in driving demand and accelerating their adoption.

The future of these technologies will require a combination of technological innovation, supportive policies, and public engagement in order to achieve their full potential in addressing climate change and achieving a sustainable future.

The widespread adoption of these technologies will require the development of new infrastructure to support their deployment. This includes infrastructure for carbon capture, storage, and transport, as well as new facilities for the production and distribution of sustainable fuels.

Collaboration and knowledge sharing among researchers, industry, and government entities will be crucial for the successful implementation of these technologies. This will help to foster innovation, reduce costs, and accelerate the development of new technologies and processes.

The implementation of these technologies must also take into account environmental and social considerations. For example, the development of infrastructure for carbon capture and storage must be done in a way that minimizes potential environmental impacts, and the production of sustainable fuels must be done in a way that does not compete with food production or result in other negative social impacts [112,113] Public-private partnerships can play a critical role in the development and deployment of these technologies. Governments can provide funding and supportive policies, while the industry can provide expertise, technology, and investment.

International cooperation will be necessary to address the global nature of climate change and to ensure that these technologies are deployed in a way that is equitable and sustainable for all nations.

In summary, the successful implementation of the green conversion of carbon dioxide and sustainable fuel synthesis technologies will require a combination of technological innovation [114], supportive policies, public engagement, collaboration, infrastructure development, environmental and social considerations, public-private partnerships, and international cooperation.

6. Conclusions

The green conversion of carbon dioxide and sustainable fuel synthesis offers a promising path toward a more sustainable and low-carbon future. By continuing to invest in research, development, and policy support, we can unlock the full potential of these technologies and accelerate the transition to a more sustainable energy system.

The production of green hydrogen, using renewable electricity sources such as wind and solar, offers a promising alternative to conventional hydrogen production methods that rely on fossil fuels. Algae-based biofuels also show potential as a sustainable alternative to conventional transportation fuels, due to their ability to sequester carbon dioxide during growth.

Furthermore, the use of carbon capture and utilization techniques, such as carbon dioxide conversion to chemicals and fuels, can help close the carbon cycle and reduce carbon emissions. The development of sustainable feedstocks and production processes,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

including bioreactors and other advanced technologies, can also enhance the sustainability and carbon neutrality of fuel production.

It is crucial that policymakers, researchers, and industry stakeholders work together to support the development and implementation of these sustainable fuel production methods. This includes providing policy incentives and funding for research and development, as well as promoting the adoption of sustainable fuel production technologies.

Carbon capture by microalgae was demonstrated. In addition, certain large-scale commercial research appears promising in terms of cutting significant greenhouse gas emissions and preventing global warming. Moreover, when compared to terrestrial plants, microalgae have better carbon dioxide tolerance, carbon absorption efficiency, photosynthetic efficiency, and growth rate. Unlike traditional carbon capture systems, which are largely relevant to power plants, this strategy is appropriate for carbon emissions from the transportation system while also serving as a feedstock for biofuel production for the sector, resulting in reduced emissions.

Overall, the use of green hydrogen, algae-based biofuels, carbon capture and utilization, and sustainable production processes offer promising solutions for reducing carbon emissions and addressing the challenges of climate change. With continued investment in these areas, we can accelerate the transition to a more sustainable and low-carbon energy system.

Author Contributions: All authors contribute equal. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Li, X.; Li, Z.; Su, C.-W.; Umar, M.; Shao, X. Exploring the Asymmetric Impact of Economic Policy Uncertainty on China's Carbon Emissions Trading Market Price: Do Different Types of Uncertainty Matter? *Technol. Forecast. Soc. Change* **2022**, *178*, 121601. [CrossRef]
2. Liu, Z.; Ciais, P.; Deng, Z.; Lei, R.; Davis, S.J.; Feng, S.; Zheng, B.; Cui, D.; Dou, X.; Zhu, B. Near-Real-Time Monitoring of Global CO_2 Emissions Reveals the Effects of the COVID-19 Pandemic. *Nat. Commun.* **2020**, *11*, 5172. [CrossRef]
3. Zhang, F.; Chen, C.; Yan, S.; Zhong, J.; Zhang, B.; Cheng, Z. Cu@ Bi Nanocone Induced Efficient Reduction of CO_2 to Formate with High Current Density. *Appl. Catal. A Gen.* **2020**, *598*, 117545. [CrossRef]
4. Prasad, R.; Gupta, S.K.; Shabnam, N.; Oliveira, C.Y.B.; Nema, A.K.; Ansari, F.A.; Bux, F. Role of Microalgae in Global CO_2 Sequestration: Physiological Mechanism, Recent Development, Challenges, and Future Prospective. *Sustainability* **2021**, *13*, 13061. [CrossRef]
5. Saleh, H.M.; Bondouk, I.I.; Salama, E.; Esawii, H.A. Consistency and Shielding Efficiency of Cement-Bitumen Composite for Use as Gamma-Radiation Shielding Material. *Prog. Nucl. Energy* **2021**, *137*, 103764. [CrossRef]
6. Reda, S.M.; Saleh, H.M. Calculation of the Gamma Radiation Shielding Efficiency of Cement-Bitumen Portable Container Using MCNPX Code. *Prog. Nucl. Energy* **2021**, *142*, 104012. [CrossRef]
7. Saleh, H.M.; Bondouk, I.I.; Salama, E.; Mahmoud, H.H.; Omar, K.; Esawii, H.A. Asphaltene or Polyvinylchloride Waste Blended with Cement to Produce a Sustainable Material Used in Nuclear Safety. *Sustainabilitiy* **2022**, *14*, 3525. [CrossRef]
8. Eid, M.S.; Bondouk, I.I.; Saleh, H.M.; Omar, K.M.; Sayyed, M.I.; El-Khatib, A.M.; Elsafi, M. Implementation of Waste Silicate Glass into Composition of Ordinary Cement for Radiation Shielding Applications. *Nucl. Eng. Technol.* **2021**, *54*, 1456–1463. [CrossRef]
9. Eid, M.S.; Bondouk, I.I.; Saleh, H.M.; Omar, K.M.; Diab, H.M. Investigating the Effect of Gamma and Neutron Irradiation on Portland Cement Provided with Waste Silicate Glass. *Sustainability* **2022**, *15*, 763. [CrossRef]
10. Eskander, S.B.; Saleh, H.M.; Tawfik, M.E.; Bayoumi, T.A. Towards Potential Applications of Cement-Polymer Composites Based on Recycled Polystyrene Foam Wastes on Construction Fields: Impact of Exposure to Water Ecologies. Case Stud. *Constr. Mater.* **2021**, *15*, e00664. [CrossRef]
11. Saleh, H.; Salman, A.; Faheim, A.; El-Sayed, A. Polymer and Polymer Waste Composites in Nuclear and Industrial Applications. *J. Nucl. Energy Sci. Power Gener. Technol.* **2020**, *9*, 11000199.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

12. Saleh, H.M.; Eskander, S.B. Impact of Water Flooding on Hard Cement-Recycled Polystyrene Composite Immobilizing Radioactive Sulfate Waste Simulate. *Constr. Build. Mater.* **2019**, *222*, 522–530. [CrossRef]
13. Saleh, H.M.; El-Saied, F.A.; Salaheldin, T.A.; Hezo, A.A. Influence of Severe Climatic Variability on the Structural, Mechanical and Chemical Stability of Cement Kiln Dust-Slag-Nanosilica Composite Used for Radwaste Solidification. *Constr. Build. Mater.* **2019**, *218*, 556–567. [CrossRef]
14. Saleh, H.M.; El-Sheikh, S.M.; Elshereafy, E.E.; Essa, A.K. Performance of Cement-Slag-Titanate Nanofibers Composite Immobilized Radioactive Waste Solution through Frost and Flooding Events. *Constr. Build. Mater.* **2019**, *223*, 221–232. [CrossRef]
15. Saleh, H.M.; Salman, A.A.; Faheim, A.A.; El-Sayed, A.M. Influence of Aggressive Environmental Impacts on Clean, Lightweight Bricks Made from Cement Kiln Dust and Grated Polystyrene. Case Stud. *Constr. Mater.* **2021**, *15*, e00759.
16. El-Sayed, A.M.; Faheim, A.A.; Salman, A.A.; Saleh, H.M. Sustainable Lightweight Concrete Made of Cement Kiln Dust and Liquefied Polystyrene Foam Improved with Other Waste Additives. *Sustainability* **2022**, *14*, 15313. [CrossRef]
17. Saleh, H.M.; Aglan, R.F.; Mahmoud, H.H. Qualification of Corroborated Real Phytoremediated Radioactive Wastes under Leaching and Other Weathering Parameters. *Prog. Nucl. Energy* **2020**, *119*, 103178. [CrossRef]
18. Saleh, H.M.; Moussa, H.R.; El-Saied, F.A.; Dawoud, M.; Bayoumi, T.A.; Abdel Wahed, R.S. Mechanical and Physicochemical Evaluation of Solidified Dried Submerged Plants Subjected to Extreme Climatic Conditions to Achieve an Optimum Waste Containment. *Prog. Nucl. Energy* **2020**, *122*, 103285. [CrossRef]
19. Saleh, H.M.; Eskander, S.B. Long-Term Effect on the Solidified Degraded Cellulose-Based Waste Slurry in Cement Matrix. *Acta Montan. Slovaca* **2009**, *14*, 291–297.
20. Saleh, H.M. Some Applications of Clays in Radioactive Waste Management. In *Clays and Clay Minerals: Geological Origin, Mechanical Properties and Industrial Applications*; Wesley, L.R., Ed.; Nova Science Publishers, Inc.: New York, NY, USA, 2014; pp. 403–415, ISBN 978-1-63117-779-8.
21. Bayoumi, T.A.; Reda, S.M.; Saleh, H.M. Assessment Study for Multi-Barrier System Used in Radioactive Borate Waste Isolation Based on Monte Carlo Simulations. *Appl. Radiat. Isot.* **2012**, *70*, 99–102. [CrossRef]
22. Gielen, D.; Boshell, F.; Saygin, D.; Bazilian, M.D.; Wagner, N.; Gorini, R. The Role of Renewable Energy in the Global Energy Transformation. *Energy Strateg. Rev.* **2019**, *24*, 38–50. [CrossRef]
23. Priest, T. Hubbert's Peak: The Great Debate over the End of Oil. *Hist. Stud. Nat. Sci.* **2014**, *44*, 37–79. [CrossRef]
24. Kabeyi, M.J.B.; Olanrewaju, O.A. Sustainable Energy Transition for Renewable and Low Carbon Grid Electricity Generation and Supply. *Front. Energy Res.* **2022**, *9*, 743114. [CrossRef]
25. Olivier, J.G.J.; Peters, J.A.H.W. Trends in Global CO_2 and Total Greenhouse Gas Emissions. *PBL Netherlands Environ. Assess. Agency* **2020**, *2020*, 70.
26. Wang, F.; Harindintwali, J.D.; Yuan, Z.; Wang, M.; Wang, F.; Li, S.; Yin, Z.; Huang, L.; Fu, Y.; Li, L.; et al. Technologies and Perspectives for Achieving Carbon Neutrality. *Innovation* **2021**, *2*, 100180. [CrossRef]
27. Numpilai, T.; Cheng, C.K.; Limtrakul, J.; Witoon, T. Recent Advances in Light Olefins Production from Catalytic Hydrogenation of Carbon Dioxide. *Process Saf. Environ. Prot.* **2021**, *151*, 401–427. [CrossRef]
28. Dowson, G.R.M.; Styring, P. Demonstration of CO_2 Conversion to Synthetic Transport Fuel at Flue Gas Concentrations. *Front. Energy Res.* **2017**, *5*, 26. [CrossRef]
29. Gao, P.; Zhang, L.; Li, S.; Zhou, Z.; Sun, Y. Novel Heterogeneous Catalysts for CO_2 Hydrogenation to Liquid Fuels. *ACS Cent. Sci.* **2020**, *6*, 1657–1670. [CrossRef] [PubMed]
30. Le Quéré, C.; Jackson, R.B.; Jones, M.W.; Smith, A.J.P.; Abernethy, S.; Andrew, R.M.; De-Gol, A.J.; Willis, D.R.; Shan, Y.; Canadell, J.G.; et al. Temporary Reduction in Daily Global CO_2 Emissions during the COVID-19 Forced Confinement. *Nat. Clim. Chang.* **2020**, *10*, 647–653. [CrossRef]
31. Madejski, P.; Chmiel, K.; Subramanian, N.; Kuś, T. Methods and Techniques for CO_2 Capture: Review of Potential Solutions and Applications in Modern Energy Technologies. *Energies* **2022**, *15*, 887. [CrossRef]
32. Ennaceri, H.; Abel, B. Conversion of carbon dioxide into storable solar fuels using solar energy. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Seoul, South Korea, 26–29 January 2019*; IOP Publishing: Philadelphia, PA, USA, 2019; Volume 291, p. 012038. [CrossRef]
33. Kumaravel, V.; Bartlett, J.; Pillai, S.C. Photoelectrochemical Conversion of Carbon Dioxide (CO_2) into Fuels and Value-Added Products. *ACS Energy Lett.* **2020**, 486–519. [CrossRef]
34. Jiang, Z.; Xiao, T.; Kuznetsov, V.L.; Edwards, P.P. Turning Carbon Dioxide into Fuel. *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* **2010**, *368*, 3343–3364. [CrossRef] [PubMed]
35. Yuan, Z.; Eden, M.R.; Gani, R. Toward the Development and Deployment of Large-Scale Carbon Dioxide Capture and Conversion Processes. *Ind. Eng. Chem. Res.* **2016**, *55*, 3383–3419. [CrossRef]
36. Markewitz, P.; Zhao, L.; Ryssel, M.; Moumin, G.; Wang, Y.; Sattler, C.; Robinius, M.; Stolten, D. Carbon Capture for CO_2 Emission Reduction in the Cement Industry in Germany. *Energies* **2019**, *12*, 2432. [CrossRef]
37. Spadaro, L.; Palella, A.; Arena, F. Totally-green Fuels via CO_2 Hydrogenation. *Bull. Chem. React. Eng. Catal.* **2020**, *15*, 390–404. [CrossRef]
38. Zhong, Z.; Etim, U.; Song, Y. Improving the Cu/ZnO-Based Catalysts for Carbon Dioxide Hydrogenation to Methanol, and the Use of Methanol as a Renewable Energy Storage Media. *Front. Energy Res.* **2020**, *8*, 545431. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

39. Allam, D.; Bennici, S.; Limousy, L.; Hocine, S. Improved Cu- and Zn-Based Catalysts for CO_2 Hydrogenation to Methanol. *Comptes Rendus Chim.* **2019**, *22*, 227–237. [CrossRef]
40. Si, C.; Ban, H.; Chen, K.; Wang, X.; Cao, R.; Yi, Q.; Qin, Z.; Shi, L.; Li, Z.; Cai, W.; et al. Insight into the Positive Effect of Cu0/Cu+ Ratio on the Stability of Cu-ZnO-CeO_2 Catalyst for Syngas Hydrogenation. *Appl. Catal. A Gen.* **2020**, *594*, 117466. [CrossRef]
41. Nguyen, T.H.; Kim, H.B.; Park, E.D. CO and CO_2 Methanation over CeO_2-Supported Cobalt Catalysts. *Catalysts* **2022**, *12*, 212. [CrossRef]
42. Saeedmanesh, A.; Mac Kinnon, M.A.; Brouwer, J. Hydrogen Is Essential for Sustainability. *Curr. Opin. Electrochem.* **2018**, *12*, 166–181. [CrossRef]
43. Full, J.; Merseburg, S.; Miehe, R.; Sauer, A. A new perspective for climate change mitigation—Introducing carbon-negative hydrogen production from biomass with carbon capture and storage (Hybeccs). *Sustainability* **2021**, *13*, 4026. [CrossRef]
44. Ringsgwandl, L.M.; Schaffert, J.; Brücken, N.; Albus, R.; Görner, K. Current Legislative Framework for Green Hydrogen Production by Electrolysis Plants in Germany. *Energies* **2022**, *15*, 1786. [CrossRef]
45. Ewing, M.; Israel, B.; Jutt, T.; Talebian, H.; Stepanik, L. *Hydrogen on the Path to Net-Zero Emissions Costs and Climate Benefits*; Pembina Institute: Calgary, AB, Canada, 2020.
46. Tashie-Lewis, B.C.; Nnabuife, S.G. Hydrogen Production, Distribution, Storage and Power Conversion in a Hydrogen Economy—A Technology Review. *Chem. Eng. J. Adv.* **2021**, *8*, 100172. [CrossRef]
47. Solid, M. Gasification of Densified Biomass (DB) and Municipal Solid Wastes (MSW) Using HTA/SG Technology. *Processes* **2021**, *9*, 2178.
48. Zhao, Q.; Wang, Y.; Li, G.; Hu, C. CeZrOx Promoted Water-Gas Shift Reaction under Steam–Methane Reforming Conditions. *Catalysts* **2020**, *10*, 1110. [CrossRef]
49. Rosa, L.; Mazzotti, M. Potential for Hydrogen Production from Sustainable Biomass with Carbon Capture and Storage. Renew. *Sustain. Energy Rev.* **2022**, *157*, 112123. [CrossRef]
50. Van Der Spek, M.; Banet, C.; Bauer, C.; Gabrielli, P.; Goldthorpe, W.; Mazzotti, M.; Munkejord, S.T.; Røkke, N.A.; Shah, N.; Sunny, N.; et al. Environmental Science Perspective on the Hydrogen Economy as a Pathway. *Energy Environ. Sci.* **2022**, *15*, 1034–1077. [CrossRef]
51. Lau, H.C.; Ramakrishna, S.; Zhang, K.; Radhamani, A.V. The Role of Carbon Capture and Storage in the Energy Transition. *Energy Fuels* **2021**, *35*, 7364–7386. [CrossRef]
52. Erans, M.; Sanz-Pérez, E.S.; Hanak, D.P.; Clulow, Z.; Reiner, D.M.; Mutch, G.A. Direct Air Capture: Process Technology, Techno-Economic and Socio-Political Challenges. *Energy Environ. Sci.* **2022**, *15*, 1360–1405. [CrossRef]
53. da Cruz, T.T.; Balestieri, J.A.P.; de Toledo Silva, J.M.; Vilanova, M.R.N.; Oliveira, O.J.; Ávila, I. Life Cycle Assessment of Carbon Capture and Storage/Utilization: From Current State to Future Research Directions and Opportunities. *Int. J. Greenh. Gas Control* **2021**, *108*, 103309. [CrossRef]
54. Winnefeld, F.; Leemann, A.; German, A.; Lothenbach, B. CO_2 Storage in Cement and Concrete by Mineral Carbonation. *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.* **2022**, *38*, 100672. [CrossRef]
55. Ray, S.; Abraham, J.; Jordan, N.; Lindsay, M.; Chauhan, N. Synthetic, Photosynthetic, and Chemical Strategies to Enhance Carbon Dioxide Fixation. *C* **2022**, *8*, 18. [CrossRef]
56. Benoiston, A.-S.; Ibarbalz, F.M.; Bittner, L.; Guidi, L.; Jahn, O.; Dutkiewicz, S.; Bowler, C. The Evolution of Diatoms and Their Biogeochemical Functions. Philos. *Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* **2017**, *372*, 20160397. [CrossRef] [PubMed]
57. Iglina, T.; Iglin, P.; Pashchenko, D. Industrial CO_2 Capture by Algae: A Review and Recent Advances. *Sustainability* **2022**, *14*, 3801. [CrossRef]
58. Fei, C.; Wilson, A.T.; Mangan, N.M.; Wingreen, N.S.; Jonikas, M.C. Modelling the pyrenoid-based CO_2-concentrating mechanism provides insights into its operating principles and a roadmap for its engineering into crops. *Nat. Plants* **2022**, *8*, 583–595. [CrossRef] [PubMed]
59. Waheed, R.; Sarwar, S.; Alsaggaf, M.I. Relevance of energy, green and blue factors to achieve sustainable economic growth: Empirical study of Saudi Arabia. *Technol. Forecast. Soc. Change* **2023**, *187*, 122184. [CrossRef]
60. Jeevanandam, J.; Barhoum, A.; Chan, Y.S.; Dufresne, A.; Danquah, M.K. Review on Nanoparticles and Nanostructured Materials: History, Sources, Toxicity and Regulations. *Beilstein J. Nanotechnol.* **2018**, *9*, 1050–1074. [CrossRef] [PubMed]
61. Gonzalez, M.A.; Takkellapati, S.; Tadele, K.; Li, T.; Varma, R.S. Framework towards More Sustainable Chemical Synthesis Design—A Case Study of Organophosphates. *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2019**, *7*, 6744–6757. [CrossRef] [PubMed]
62. Maulu, S.; Hasimuna, O.J.; Haambiya, L.H.; Monde, C.; Musuka, C.G.; Makorwa, T.H.; Munganga, B.P.; Phiri, K.J.; Nsekanabo, J.D. Climate Change Effects on Aquaculture Production: Sustainability Implications, Mitigation, and Adaptations. *Front. Sustain. Food Syst.* **2021**, *5*, 609097. [CrossRef]
63. John Camm, A. European Perspective. In *Cardiac Mapping*, 4th ed.; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2012. [CrossRef]
64. Duque, A.; Ochoa, S.; Odloak, D. Stochastic Multilayer Optimization for an Acrylic Acid Reactor. *ACS Omega* **2021**, *6*, 26150–26169. [CrossRef]
65. Velenturf, A.P.M.; Purnell, P. Principles for a Sustainable Circular Economy. *Sustain. Prod. Consum.* **2021**, *27*, 1437–1457. [CrossRef]
66. Sheldon, R.A. Metrics of green chemistry and sustainability: Past, present, and future. *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2018**, *6*, 32–48. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

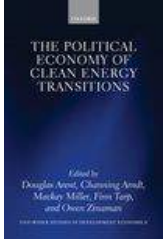
67. Xie, J.; Ping, H.; Tan, T.; Lei, L.; Xie, H.; Yang, X.-Y.; Fu, Z. Bioprocess-Inspired Fabrication of Materials with New Structures and Functions. *Prog. Mater. Sci.* **2019**, *105*, 100571. [CrossRef]
68. Ruiz-López, E.; Gandara-Loe, J.; Baena-Moreno, F.; Reina, T.R.; Odriozola, J.A. Electrocatalytic CO_2 Conversion to C_2 Products: Catalysts Design, Market Perspectives and Techno-Economic Aspects. Renew. *Sustain. Energy Rev.* **2022**, *161*, 112329. [CrossRef]
69. He, J.; Janáky, C. Recent Advances in Solar-Driven Carbon Dioxide Conversion: Expectations versus Reality. *ACS Energy Lett.* **2020**, *5*, 1996–2014. [CrossRef] [PubMed]
70. Samanta, S.; Srivastava, R. Catalytic Conversion of CO_2 to Chemicals and Fuels: The Collective Thermocatalytic/Photocatalytic/Electrocatalytic Approach with Graphitic Carbon Nitride. *Mater. Adv.* **2020**, *1*, 1506–1545. [CrossRef]
71. Diyan, N.; Ridzuan, M.; Shaharun, M.S.; Anawar, M.A.; Ud-din, I. Ni-Based Catalyst for Carbon Dioxide Methanation: A Review. *Catalysts* **2022**, *12*, 469.
72. Lin, R.; Guo, J.; Li, X.; Patel, P.; Seifitokaldani, A. Electrochemical Reactors for CO_2 Conversion. *Catalysts* **2020**, *10*, 473. [CrossRef]
73. Sharma, D.; Sharma, R.; Chand, D.; Chaudhary, A. Nanocatalysts as Potential Candidates in Transforming CO_2 into Valuable Fuels and Chemicals: A Review. *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.* **2022**, *18*, 100671. [CrossRef]
74. Kondaveeti, S.; Abu-Reesh, I.M.; Mohanakrishna, G.; Bulut, M.; Pant, D. Advanced Routes of Biological and Bio-Electrocatalytic Carbon Dioxide (CO_2) Mitigation Toward Carbon Neutrality. *Front. Energy Res.* **2020**, *8*, 94. [CrossRef]
75. Onyeaka, H.; Miri, T.; Obileke, K.; Hart, A.; Anumudu, C.; Al-Sharify, Z.T. Minimizing Carbon Footprint via Microalgae as a Biological Capture. *Carbon Capture Sci. Technol.* **2021**, *1*, 100007. [CrossRef]
76. Xu, X.; Kentish, S.E.; Martin, G.J. Direct air capture of CO_2 by microalgae with buoyant beads encapsulating carbonic anhydrase. *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2021**, *9*, 9698–9706. [CrossRef]
77. Boone, C.D.; Gill, S.; Habibzadegan, A.; McKenna, R. Carbonic Anhydrase: An Efficient Enzyme with Possible Global Implications. *Int. J. Chem. Eng.* **2013**, *2013*, 813931. [CrossRef]
78. Udayan, A.; Pandey, A.K.; Sirohi, R.; Sreekumar, N.; Sang, B.I.; Sim, S.J.; Kim, S.H.; Pandey, A. Production of microalgae with high lipid content and their potential as sources of nutraceuticals. *Phytochem. Rev.* **2022**, *2022*, 1–28. [CrossRef]
79. Sharma, P.K. Review Article Micro-Algal Lipids: A Potential Source of Biodiesel. *JIPBS* **2021**, *2*, 135–143.
80. Alishah Aratboni, H.; Rafiei, N.; Garcia-Granados, R.; Alemzadeh, A.; Morones-Ramírez, J.R. Biomass and Lipid Induction Strategies in Microalgae for Biofuel Production and Other Applications. *Microb. Cell Fact.* **2019**, *18*, 178. [CrossRef] [PubMed]
81. Adamczyk, M.; Lasek, J.; Skawińska, A. CO_2 Biofixation and Growth Kinetics of Chlorella Vulgaris and Nannochloropsis Gaditana. *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2016**, *179*, 1248–1261. [CrossRef] [PubMed]
82. Gassler, T.; Sauer, M.; Gasser, B.; Egermeier, M.; Troyer, C.; Causon, T.; Hann, S.; Mattanovich, D.; Steiger, M.G. The Industrial Yeast Pichia Pastoris Is Converted from a Heterotroph into an Autotroph Capable of Growth on CO_2. *Nat. Biotechnol.* **2020**, *38*, 210–216. [CrossRef]
83. Cheng, C.; Li, W.; Lin, M.; Yang, S.-T. Metabolic Engineering of Clostridium Carboxidivorans for Enhanced Ethanol and Butanol Production from Syngas and Glucose. *Bioresour. Technol.* **2019**, *284*, 415–423. [CrossRef]
84. Gleizer, S.; Ben-Nissan, R.; Bar-On, Y.M.; Antonovsky, N.; Noor, E.; Zohar, Y.; Jona, G.; Krieger, E.; Shamshoum, M.; Bar-Even, A. Conversion of Escherichia Coli to Generate All Biomass Carbon from CO_2. *Cell* **2019**, *179*, 1255–1263. [CrossRef]
85. Hu, G.; Zhou, J.; Chen, X.; Qian, Y.; Gao, C.; Guo, L.; Xu, P.; Chen, W.; Chen, J.; Li, Y. Engineering Synergetic CO_2-Fixing Pathways for Malate Production. *Metab. Eng.* **2018**, *47*, 496–504. [CrossRef]
86. von Borzyskowski, L.S.; Carrillo, M.; Leupold, S.; Glatter, T.; Kiefer, P.; Weishaupt, R.; Heinemann, M.; Erb, T.J. An Engineered Calvin-Benson-Bassham Cycle for Carbon Dioxide Fixation in Methylobacterium Extorquens AM1. *Metab. Eng.* **2018**, *47*, 423–433. [CrossRef] [PubMed]
87. Nisar, A.; Khan, S.; Hameed, M.; Nisar, A.; Ahmad, H.; Mehmood, S.A. Bio-Conversion of CO_2 into Biofuels and Other Value-Added Chemicals via Metabolic Engineering. *Microbiol. Res.* **2021**, *251*, 126813. [CrossRef] [PubMed]
88. Liu, H.; Ni, J.; Xu, P.; Tao, F. Enhancing Light-Driven 1, 3-Propanediol Production by Using Natural Compartmentalization of Differentiated Cells. *ACS Synth. Biol.* **2018**, *7*, 2436–2446. [CrossRef] [PubMed]
89. Tashiro, Y.; Hirano, S.; Matson, M.M.; Atsumi, S.; Kondo, A. Electrical-Biological Hybrid System for CO_2 Reduction. *Metab. Eng.* **2018**, *47*, 211–218. [CrossRef]
90. Lehtinen, T.; Virtanen, H.; Santala, S.; Santala, V. Production of Alkanes from CO_2 by Engineered Bacteria. *Biotechnol. Biofuels* **2018**, *11*, 228. [CrossRef]
91. Kassim, M.A.; Meng, T.K. Carbon Dioxide (CO_2) Biofixation by Microalgae and Its Potential for Biorefinery and Biofuel Production. *Sci. Total Environ.* **2017**, *584–585*, 1121–1129. [CrossRef] [PubMed]
92. Znad, H.; Al Ketife, A.M.D.; Judd, S. Enhancement of CO_2 Biofixation and Lipid Production by Chlorella Vulgaris Using Coloured Polypropylene Film. *Environ. Technol.* **2019**, *40*, 2093–2099. [CrossRef]
93. Amulya, K.; Mohan, S.V. Fixation of CO_2, Electron Donor and Redox Microenvironment Regulate Succinic Acid Production in Citrobacter Amalonaticus. *Sci. Total Environ.* **2019**, *695*, 133838. [CrossRef]
94. Ye, Q.; Cheng, J.; Liu, S.; Qiu, Y.; Zhang, Z.; Guo, W.; An, Y. Improving Light Distribution and Light/Dark Cycle of 900 L Tangential Spiral-Flow Column Photobioreactors to Promote CO_2 Fixation with *Arthrospira* sp. Cells. *Sci. Total Environ.* **2020**, *720*, 137611. [CrossRef] [PubMed]
95. Almomani, F. Kinetic Modeling of Microalgae Growth and CO_2 Bio-Fixation Using Central Composite Design Statistical Approach. *Sci. Total Environ.* **2020**, *720*, 137594. [CrossRef] [PubMed]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

96. Jones, S.W.; Fast, A.G.; Carlson, E.D.; Wiedel, C.A.; Au, J.; Antoniewicz, M.R.; Papoutsakis, E.T.; Tracy, B.P. CO_2 Fixation by Anaerobic Non-Photosynthetic Mixotrophy for Improved Carbon Conversion. *Nat. Commun.* **2016**, *7*, 12800. [CrossRef] [PubMed]
97. Diallo, M.; Kengen, S.W.M.; López-Contreras, A.M. Sporulation in Solventogenic and Acetogenic Clostridia. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **2021**, *105*, 3533–3557. [CrossRef]
98. Debabov, V.G. Acetogens: Biochemistry, bioenergetics, genetics, and biotechnological potential. *Microbiology* **2021**, *90*, 273–297. [CrossRef]
99. Saleh, H.M.; Hassan, A.I. Use of heterogeneous catalysis in sustainable biofuel production. *Phys. Sci. Rev.* **2022**. [CrossRef]
100. Alsarayreh, M.; Almomani, F.; Khraisheh, M.; Nasser, M.S.; Soliman, Y. Biological-Based Produced Water Treatment Using Microalgae: Challenges and Efficiency. *Sustainability* **2022**, *14*, 499. [CrossRef]
101. Sen, G.Y.A.-G.Y.A.-B.K.D.A.-R. A Comparative Life Cycle Assessment of Microalgae Production by CO_2 Sequestration from Flue Gas in Outdoor Raceway Ponds under Batch and Semi-Continuous Regime. *J. Clean. Prod.* **2020**, *258*, 120703. [CrossRef]
102. Wang, J.; Wang, Y.; Wu, Y.; Fan, Y.; Zhu, C.; Fu, X.; Chu, Y.; Chen, F.; Sun, H.; Mou, H. Application of Microalgal Stress Responses in Industrial Microalgal Production Systems. *Mar. Drugs* **2022**, *20*, 30. [CrossRef]
103. Molitor, H.R.; Schaeffer, A.K.; Schnoor, J.L. Sustainably Cultivating and Harvesting Microalgae through Sedimentation and Forward Osmosis Using Wastes. *ACS Omega* **2021**, *6*, 17362–17371. [CrossRef]
104. Viswanaathan, S.; Perumal, P.K.; Sundaram, S. Integrated Approach for Carbon Sequestration and Wastewater Treatment Using Algal–Bacterial Consortia: Opportunities and Challenges. *Sustainability* **2022**, *14*, 1075. [CrossRef]
105. Sahoo, P.C.; Pant, D.; Kumar, M.; Puri, S.K.; Ramakumar, S.S. V Material–Microbe Interfaces for Solar-Driven CO_2 Bioelectrosynthesis. *Trends Biotechnol.* **2020**, *38*, 1245–1261. [CrossRef] [PubMed]
106. Maurya, P.K.; Mondal, S.; Kumar, V.; Singh, S.P. Roadmap to Sustainable Carbon-Neutral Energy and Environment: Can We Cross the Barrier of Biomass Productivity? *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2021**, *28*, 49327–49342. [CrossRef] [PubMed]
107. Wei, Y.-M.; Chen, K.; Kang, J.-N.; Chen, W.; Wang, X.-Y.; Zhang, X. Policy and Management of Carbon Peaking and Carbon Neutrality: A Literature Review. *Engineering* **2022**, *14*, 52–63. [CrossRef]
108. Hu, J.; Fan, S.; Zhang, B.; He, C.; Liu, Z.; Chen, Q. Optimal Design of Heat Pump Integrated Low-Grade Heat Utilization Systems. *Energy Convers. Manag.* **2022**, *260*, 115619. [CrossRef]
109. Osman, A.I.; Hefny, M.; Abdel Maksoud, M.I.A.; Elgarahy, A.M.; Rooney, D.W. Recent Advances in Carbon Capture Storage and Utilisation Technologies: A Review. *Environ. Chem. Lett.* **2021**, *19*, 797–849. [CrossRef]
110. Jabbary, A.; Pourmahmoud, N.; Abdollahi, M.A.A. Artificial Intelligence-Assisted Optimization and Multiphase Analysis of Polygon PEM Fuel Cells. *arXiv* **2022**, *arXiv2205.06768*, preprint. [CrossRef]
111. Hassan, A.I.; Saleh, H.M. Nanomaterials for the conversion of carbon dioxide into renewable fuels. In *Advanced Technology for the Conversion of Waste into Fuels and Chemicals*; Woodhead Publishing: London, UK, 2021; pp. 1–20. [CrossRef]
112. Saleh, H.M.; Hassan, A.I. The potential of sustainable biogas production from animal waste. In *Advanced Technology for the Conversion of Waste into Fuels and Chemicals*; Woodhead Publishing: London, UK, 2021; pp. 115–134. [CrossRef]
113. Saleh, H.M.; Hassan, A.I. Sustainability: A comprehensive approach to developing environmental technologies and conserving natural resources. In *Risk, Reliability and Sustainable Remediation in the Field of Civil and Environmental Engineering*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2022; pp. 437–448. [CrossRef]
114. Saleh, H.M.; Hassan, A.I. The Effectiveness of Membrane Materials in Green Alternative Energy and Environmental Technologies. *Green Energy Environ. Technol.* **2022**, *2022*, 1–21. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



The Political Economy of Clean Energy Transitions

Douglas Arent (ed.) et al.

https://doi.org/10.1093/oso/9780198802242.001.0001

Published: 2017 **Online ISBN:** 9780191840586 **Print ISBN:** 9780198802242

CHAPTER

8 Is Feed-In-Tariff Policy Effective for Increasing Deployment of Renewable Energy in Indonesia?

Dewi Yuliani

https://doi.org/10.1093/oso/9780198802242.003.0008 Pages 144–162

Published: April 2017

Abstract

To achieve the targeted portion of renewable energy and to attract more investment in renewable electricity Indonesia's government has issued several feed-in-tariff regulation, which is policy instrument successfully applied in many countries. This study is an exploratory research to evaluate how the policy works in Indonesia, especially in the field. The study shows that while the policy triggers investment interests, many obstacles are encountered due to imperfections in the feed-in-tariff policy package, and other non-cost factors. Several unanticipated side effects were also identified as consequences of the upturn in investment interest, indicating that transition to cleaner energy is much more challenging for developing countries such as Indonesia.

Keywords: renewable energy, Indonesia, feed-in-tariff regulation, transition to cleaner energy, developing countries renewable energy, Indonesia, feed-in-tariff regulation, transition to cleaner energy, developing countries renewable energy, Indonesia, feed-in-tariff regulation, transition to cleaner energy, developing countries renewable energy, Indonesia, feed-in-tariff regulation, transition to cleaner energy, developing countries renewable energy, Indonesia, feed-in-tariff regulation, transition to cleaner energy, developing countries renewable energy, Indonesia, feed-in-tariff regulation, transition to cleaner energy, developing countries

Subject: Economic Development and Growth

8.1 Introduction

Indonesia is an archipelago rich in renewable energy resources including geothermal, hydro, biomass, solar, and wind energy. Due to its location in the 'Ring of Fire', geothermal energy is its main potential source of renewable energy, amounting to 29 GW—40 per cent of the world's total. Of the total potential, up till now only 1,340 MW (less than 5 per cent) has been installed for electricity generation, with another 1,500 MW at various stages of development (DGNREEC 2015). Hydropower is another major source of potential in Indonesia and is estimated to be around 75,000 MW. At present, some 6,000 MW has been installed as large Hydro Electric Power, mostly in Java. Included in this category is small hydro (up to 10 MW). 217.16 MW of small hydropower plant has been installed in 2015, a large portion of which is used not for profit but for electrifying remote areas (DGNREEC 2015).

For a country on the equator, solar energy is considered the most under-utilized source of energy in Indonesia. Only around 71 MW is installed but mostly belongs to the state-owned electricity company (SEC or Indonesia's PLN) for electrifying remote islands in the eastern parts of Indonesia. At present, the imported amount of solar photovoltaics (PV) is still considerably high, so the Government of Indonesia (GOI) has attempted to boost the local production of PV systems and encourage investors to build PV manufacturers. As an agricultural country, biomass is the other major potential source of Indonesia's

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

renewable energy. This is thought to have a potential 32,000 MW, of which 1,740 MW is planned to be installed in the near future (DGNREEC 2015). Biomass sources include palm oil, cassava, sugar cane, and so on, which can be the source of bioethanol and biofuel production.

p. 145 Despite this abundant potential, the development of renewable energy in Indonesia still faces a hard battle, mostly because of the long legacy of the government's energy subsidies for fossil fuels. According to the Ministry of Energy and Mineral Resources (MEMR), Indonesia's energy demand has been increasing faster than its economic development growth, which amounted to 7 per cent in 2014 (DGNREEC 2014). This demand is currently met largely by fossil fuels, which in turn bleeds the country's finances as Indonesia has become a net importer of both crude oil and refined products since 2004.

As a response to the increasing demand for energy and for cleaner energy due to climate issues, in January 2014 The National Energy Policy was adopted by the House of Representatives in the form of Government Regulation No 79/2014 (Government of Indonesia 2014), in which the GOI projected that renewable sources would supply at least 23 per cent of Indonesia's energy needs in 2025. The GOI is also committed to reducing greenhouse gas emissions by 26 per cent by 2020 to combat global climate change (MEMR 2015).

Many efforts have been undertaken to increase the deployment of renewable energy (RE), especially to support the increasing electricity demand. These include: obligating the SEC to buy generated electricity from small-scale producers, prioritizing the use of RE, tax incentives, tax holidays for exported equipment, and simplifying the procedure for licences. Lastly, since around 2010 the GOI has implemented its feed-in-tariff (FIT) policy in order to encourage the private sector to develop renewable electricity. The FIT policy ensures that developers get a relatively fair price for electricity generation from renewable energy resources, which are now being used widely in many countries.

This study undertakes exploratory research that aims to evaluate whether the implementation of the FIT policy is effective for the purpose of increasing deployment of renewable energy in Indonesia. A number of official documents and supporting policies set out the plans for renewable energy development in Indonesia. However, no critical study has been carried out into the real outcome of policy implementation in the field. Data analysis is expected to show whether the FIT policy is sufficient, and if not, what are the reasons for this and what can be done to improve it.

This chapter is organized as follows. After the introduction, which describes Indonesia's renewable energy situation and outlines the purpose of the study, Section 8.2 briefly reviews the FIT policy, its principles, case studies, and barriers to implementation. Section 8.3 outlines the methodology used for data collection and the locations covered by the site survey for the purpose of data verification. Section 8.4 provides the data findings and undertakes data analysis to identify factors that hinder the deployment of renewable energy. Section 8.5 offers conclusions and recommendations for better implementation of FIT policy in the future.

p. 146 8.2 A Brief Review of the Feed-in-Tariff Policy

8.2.1 What is FIT Policy?

Historically, to spur the growth of renewable electricity, European countries set a price for electricity that is attractive to investors. This policy, which was subsequently called feed-in-tariff (FIT) policy, has three components: a fixed price which is sufficient for a return on investment, a guaranteed grid connection, and a long-term contract to ensure the stability of the investment (Mendonça 2007). By using this policy, investors do not have to deal with the cumbersome process of various incentives and tax exemptions, as applied in America (Farrel 2009: 6). This price is reviewed annually and it can be lowered if it attracts too many investors or creates windfall profit, and vice versa. Later on, this fixed price policy is accompanied by a mandate for utility companies to connect renewable electricity to the grid. In Europe, the cost of connection to the higher voltage is borne by the utility company, and the contract for selling electricity is short and uniform (Farrel 2009: 6).

According to IRENA (2012), there are four categories of deployment policies, namely: fiscal incentives, public finance, regulations, and access policies (Mitchell et al. 2011). The FIT policy falls into the price-driven public finance policy category (IRENA 2012). Deployment, which is defined by IRENA (2012) as the stage of commercial roll-out, is a stage preceding full competition and maturity in the development of a

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

new technology. In the commercial roll-out stage or deployment, economic support is needed to correct market failure and/or inadequate policy requirements. In the renewable energy market, failure comes from the discrepancy between the average production costs of electricity from fossil fuels or conventional energy and the production costs using renewables. Without consideration of the cost of research and development, externalities related to climate change, and other barriers to mass production, there is no way that renewable energy technology can compete with the energy price produced by conventional technology.

Another benefit of FIT policy implementation includes support for local ownership of renewable plants because of its simplicity, and thus it creates more jobs and increases the economic impact for the community. If we look at the experience of European countries, about half of wind turbines in Germany and about 80 per cent in Denmark are owned by local residents (Farrel 2009).

8.2.1.1 Examples of FIT Implementation

The most notable success story of FIT policy is Germany's and Denmark's experiences in FIT
p. 147 implementation. Germany started to apply FIT policy in ↳ 1990, when the law required electricity utilities to connect renewable electricity to the grid and to buy the electricity at a price ranging from 65 per cent to 90 per cent of the average tariff for consumers (Mez 2012: 24). The implementation of FIT since then has spurred the expansion of wind turbine power plants in particular, from 20 MW in 1989 to more than 1,100 MW in 1995 (Lauber and Mez 2006 in Mez 2012: 24). In addition, Germany has also implemented a wind power programme and provides several kinds of subsidies and financial incentives for renewable energy investors. This policy, along with the implementation of the Renewable Energy Sources Act (RESA) in 2000, which was passed in order to achieve the targeted 25 per cent reduction of carbon-dioxide emissions, has resulted in an almost tenfold expansion in renewables from 1.3 per cent in 1990 to nearly 11 per cent in 2011 (Mez 2012: 26).

In 1988, Denmark applied a price policy for renewable electricity that paved a way for FIT policy, in which utility companies are required to set a fair price, purchase, and connect to the renewable electricity produced. This policy was successful in triggering the establishment of wind turbines, reaching 300 MW of capacity. The FIT policy was formally applied in Denmark in 1993, when the purchase price of renewable electricity was set at 85 per cent of the average production and distribution cost and connection to the grid and purchase of power was guaranteed. This policy, along with an exemption for cooperatives from paying, has resulted in 28 per cent of Danish energy coming from renewables with wind turbines producing almost 3,000 MW of electricity. However, in 2004 the Danish ended the FIT policy and nowadays investors in renewable energy have to follow the renewable energy portfolio standard with tradable credits, such as applied in the USA (Farrel 2009).

8.2.1.2 Barriers to FIT Implementation

Klein et al. (2010) warned that FIT policy should be kept transparent and not too complex, and their study evaluated the structure of electricity tariffs in several countries that could act as barriers to FIT implementation. In the USA, Farrel (2009) complains that the contract for electricity purchase can exceed 100 pages, while in Germany, for instance it is kept short to 4–5 pages. Another potential barrier is the condition of the electricity market, such as liberalization of electricity in New Zealand (White, Lloyd, and Wakes 2013).

However, another study in the European Union has suggested that the poor effectiveness of FIT policy is mainly caused by failure to tend to non-economic barriers, such as uncertain and lengthy administrative processes, and difficulties in gaining access to the grid (IRENA 2012: 13). Research by ECORYS (2008) into European Union member states showed that there are some non-cost barriers that negatively impact the
p. 148 deployment of renewables to a different degree. One of the barriers most impacted is the administrative ↳ hurdles which include many issues, such as lack of coordination between institutions, length of time for obtaining authorization, the incoherence of procedures and regulations, big overhead costs, insufficient spatial planning, and social opposition. Other significant barriers are difficulty in getting grid connection and access, and limited information and awareness related to renewable energy among civil servants and the community in general (ECORYS 2008).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

8.2.2 FIT Policy in Indonesia

In Indonesia, a policy, which is similar to FIT, was issued in 2002 for small-scale hydropower plants. The MEMR issued a requirement for the SEC to buy electricity at 60 per cent of regional electricity production costs for low-voltage, and 80 per cent for middle-voltage connection. However, there have been some obstacles encountered in its implementation, one being the difficulty of determining the regional standard of production cost, and another being because energy production (especially of petroleum) was still heavily subsidized by the GOI, so that the utility company did not need to prioritize the use of renewable energy. The policy was improved in 2006 to include higher-scale hydropower plants (up to 10 MW), and then underwent some revisions in 2009 to include a more attractive tariff. Hasan and Wahjosudibjo (2014) argue that the obstacles to FIT implementation are mainly because there is no guarantee of long-term contracts and nor that the utility company will accept the contract.

p. 149 A more formal kind of FIT policy was issued in 2011 and 2012, when the MEMR required the PLN to buy electricity from geothermal power plants at a fixed tariff of US$0.97/kWh. Subsequently, the FIT for other renewable energy sources, such as solar and biomass, was issued in 2013 and 2014. In general, FIT regulation is targeted at reducing the time required for negotiating a price with the SEC (which, at times, can be several years), and making investment more attractive and long-term planning possible, thereby making RE investment viable. Table 8.1 shows the different FIT regulations for various RE sources, their original version, and the revisions.

Table 8.1. Regulation of feed-in tariff in Indonesia for various RE sources

No	RENEWABLE ENERGY SOURCE	FEED-IN TARIFF REGULATION				NOTE
		Original Version	Electricity Price (US$/kWh)	Revised Version	Electricity Price (US$/kWh)	
1	Micro/Mini Hydro	MEMR Regulation No. 12 year 2014	<10 MW = 8 cent	MEMR Regulation No. 22 year 2014	<10 MW = 8 cent	7.2 cent if using public infrast, i.e., irrigation
			>250 kWh = 9.4 cent		>250 kWh = 9.4 cent	8.4 cent if using public infrast, i.e., irrigation
				MEMR Regulation No. 19 year 2015	<10 MW = 12 cent	10.8 cent if using public infrast, i.e., irrigation
					>250 kWh = 14.4 cent	13 cent if using public infrast, i.e., irrigation
2	Geothermal	MEMR Regulation No. 02 year 2011	on high volt. only 9.7 cent	MEMR Regulation No. 22 year 2012	on high volt. 10–17 cent	depend on location
					on med. Volt. 11.5–18.5 cents	
3	Biomass	MEMR Regulation No. 04 year 2012	9.75 cent	MEMR Regulation No. 27 year 2014	8.5 cent	med volt. Interconn.
			13.5 cent		11.1 cent	low volt. Interconn.
	Biogass		9.75 cent		8.5 cent	med volt. Interconn.
			13.5 cent		10.4 cent	low volt. Interconn.
	Municipal Waste		10.5 cent	MEMR Regulation No. 44 year 2015	16.55 cent	high & med volt. Intercn.
			13.98 cent		20.16 cent	low volt. Interconn.
4	SOLAR PV	MEMR Regulation No. 17 year 2013	up to 25 cent			local content < 40%
			up to 30 cent			Local content > 40%

Source: Based on data from MEMR (2015).

Note: Prices converted from rupiahs rely on its annual exchange rate.

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

It can be seen from Table 8.1 that the GOI made several attempts to adjust and readjust the RE selling price; in some cases revisions were made more than once. In small hydropower plants, for instance, there were at least four MEMR regulations with different electricity prices which had been revised due to inputs from related parties, adjustment for inflation, and exchange rates. From the many revisions of FIT regulation, it can be concluded that the GOI puts in a lot of effort, and thus relies on this policy, to accelerate deployment of renewable energy.

8.3 Data Acquisition

p. 150

Effectiveness is defined as 'the extent to which intended objectives are met, for instance, the actual increase in the output of renewable electricity generated or shares of renewable energy in total energy supplies within a specified time period' (IRENA 2012: 12). In this study, the effectiveness of the FIT policy is measured by the increase in deployment of renewable energy power plants over the period since the policy was made in 2010 to date (a five-year period), compared with the GOI's target for achieving its share of the national energy mix. As suggested by IRENA (2012), in analysing the effectiveness of a policy, it is necessary to conduct an in-depth analysis to elaborate factors that support or hinder the outcome of the policy, such as external factors or indirectly related barriers to the success of policy implementation.

8.3.1 Study Location

Indonesia is made up of 17,000 islands and has one of the longest coastlines in the world. Most of the regions in Indonesia, especially in the eastern part, still have very poor infrastructure conditions. However, with a population of about 300 million and relatively stable economic growth (4–6 per cent per annum over the last five years), it is a country with many interesting prospects.

Politically speaking, Indonesia can be categorized as a country in transitional democracy, because, after its independence on 17 August 1945, democratic transition did not start to happen until 1998 when the long reign of General Suharto was toppled by students' demonstrations after 30 years of authoritative governance. After the so-called reformation era, Indonesian society has undergone a drastic change, including a shift from centralized to decentralized governance. Nowadays the people of Indonesia are enjoying a new sense of democracy. This new-found freedom allows them to freely question or even disobey what the government wants. This understanding of the political situation is important in comprehending the real condition of governance related to the deployment of renewable energy power plants.

This study uses a quantitative and qualitative research approach. The quantitative study is conducted by collecting, comparing, and analysing data from various institutions related to the targeted deployment of renewable energy power plants and its realization in the field. The comparison is followed by site visits to several locations for the purpose of confirmation. Due to limited time and budget, the confirmation field surveys were only conducted in West Java, a province adjacent to Jakarta, to gain a deeper perspective from players in renewable energy in real circumstances.

p. 151

One reason for choosing West Java for site confirmation is because it is the province where the development of RE is considered to be the highest, and it has been a pioneer in RE development in Indonesia, such as in geothermal, micro-hydro, biogas, biofuel, and so on. It is densely populated with about 46 million people inhabiting some 35,000 square kilometres of land. With 6.5 per cent annual economic growth in 2012, its energy consumption has continued increasing to around 8–11 per cent for all sectors, implying that the usage of energy is still inefficient. Thus, serious efforts to lower energy consumption, as well as efforts to diversify fossil-fuel energy with more renewable kinds of energy have been conducted since 2001. Some renewable energy technologies, such as micro-hydropower plants, are considered to be relatively successful.

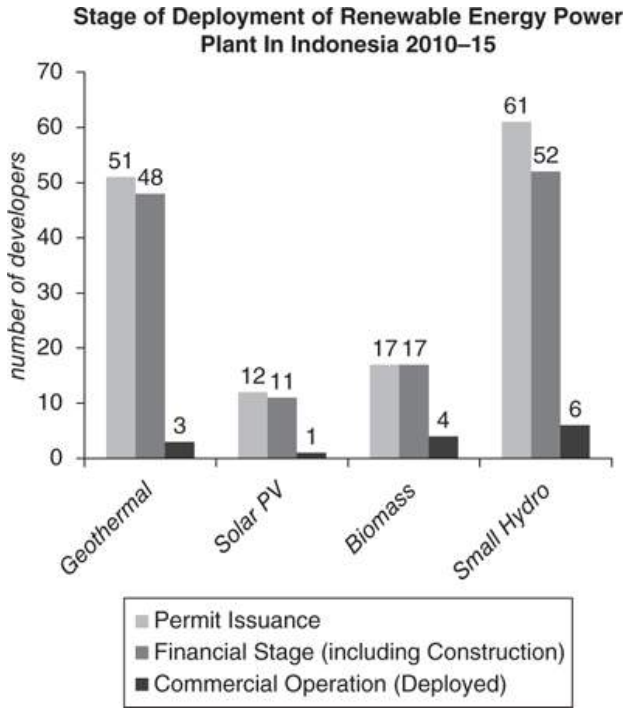
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

8.3.2 Quantitative Data

Data analysis from several data resources (MEMR, SEC, local government) resulted in a wide discrepancy between targeted installed capacity and its realization. Most commercial RE projects have been delayed by one to five years. As has been stated before, the comparison between projected and real data for small hydro power plants is only conducted for West Java, which is considered to mirror Indonesia's condition. As per IRENA's definition (2012), deployment of renewable energy power plants includes the commercial operation of the plant, not just installation. The financial stage includes preparation of funding sources, negotiating and signing of a Power Purchasing Agreement (PPA) with the SEC, the process of obtaining various kinds of permits (from central government as well as from local government), and the construction stage, which includes land acquisition, community preparation, mobilization, and other construction activities. Meanwhile, number of permits refers to the sum of permits related with small hydro power plants, issued either by central government (SEC, DGNRE, and DGE), or local government in the form of location permits. Figure 8.1 shows the actual installed capacity and the various stages of renewable energy power plant deployment from 2010, or since the FIT implementation, until December 2015.

Figure 8.1.



Deployment status of renewable energy power plants after FIT policy.

Source: Author's data compilation from various institutions and field surveys.*Note*: For Small Hydro, data only from West Java Province.

Official data issued by central government institutions are not consistent. For instance, for small hydropower, one published report says that there are only 19 small hydropower licences in West Java, while another institution states there are 31, and yet another says 34 licences. When these data are cross-checked with data from local government (regency), the compilation from regencies which have small hydropower sites suggests there are 61 small hydropower licences in West Java.

Another interesting result of the data analysis is that, on average, only 10 per cent of permits issued for power generation from the renewable energy source, are already at the commercial operation stage or deployed. Some of the permits had been issued for more than five years. Thus, there must be some problems
p. 152 in the ↳ field that prevent the FIT policy from having a positive effect on the deployment of renewable energy power plants. To delve deeper into this discrepancy, qualitative surveys were conducted using semi-structured interviews. The identities of all those interviewed in this study, including experts, developers, and public authorities, are confidential due to the sensitivity of the issue.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

8.3.3 Qualitative Data

From the collected data and results of the analysis, an attempt to elaborate the causes of the discrepancy between projected goals and the real situation is conducted using semi-structured interviews. It is worth noting that not everyone contacted who was directly involved in the deployment of RE was willing to be interviewed, especially government officials and developers. Some were eventually willing to give information when the interview was conducted outside of their offices, some objected to the interview being recorded, and most of them agreed to be interviewed with the promise that their names would not be revealed. On average, the interviews lasted between about 15 minutes and 2 hours; some were recorded while others were field-noted.

p. 153 In total, there were 22 key respondents, consisting of 5 investors (4 small hydropower developers, 1 geothermal), 14 government officials (5 from central government, 2 from provincial government, and 7 from regency (local) government), and 3 respondents from related agencies (1 SEC, 1 expert, 1 practitioner). Table 8.2 shows a general guidance questions to semi-structure interviews conducted, which are slightly different for each group of respondents.

Table 8.2. List of guidance questions for key respondents

Guidance questions for investors/developers:
1. How has the introduction of FIT policy affected your decision to invest in RE power plant? 2. Is the current structure of FIT policy sufficient to foster deployment of RE? if not, why? 3. What obstacles do you find in the deployment of RE power plants? 4. Is there any suggestion you want to propose to overcome those obstacles?
Guidance questions for government officials (central, regional, and local government):
1. Is there any special treatment for the issuance of permits for RE investment, compared with other kinds of permits? 2. Do you know the government's target for increasing the usage of RE sources? 3. What obstacles do you find in the deployment of RE power plants? 4. Is there any suggestion you want to propose to overcome those obstacles?
Guidance questions for government officials (expert, practitioner, and utility company):
1. Is the recent structure of FIT policy sufficient to foster deployment of RE? if not, why? 2. What are the obstacles to implementing FIT policy in Indonesia? 3. Is there any suggestion you want to propose to overcome those obstacles?

Source: Author's illustration.

The analysis is focused on the evaluation of FIT policy in Indonesia: whether it is effective in increasing the usage of RE, whether there is any room for improvement, and if not effective, then what are the alternatives. For definition purposes, deployment of renewable energy means the power plant is not just already installed and producing electricity, but it also has generated income from selling electricity.

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

8.4 Analysis

8.4.1 Effectiveness of FIT Policy

It is interesting to note that since around 2011 when the FIT policy was first made, investment in renewable energy has been increasing significantly. However, the study results showed a totally different outcome regarding real deployment of renewable energy power plants. Take geothermal energy, for instance: from 51
p. 154 licences issued by the MEMR, only 3 are operational ↳ commercially in 2015. This means that the amount of delayed deployment of geothermal power plants exceeds 90 per cent. For solar PV and biomass, data for real deployment of power plants are not very different. For small hydropower plants, the data, which are taken only from West Java, show that the rate of successful deployment is no better, with only 6 out of 61 licences having been fully deployed commercially.

Those at the construction phase (representing a total 56.69 MW from nine companies) report that the delayed construction stage is mostly caused by difficulties in obtaining a location permit or a building permit from local (regency) government, hard negotiations of land price, and the demands of local communities. In West Java, there are no biomass (domestic waste to energy power plant), solar PV, or wind turbine power plants which are fully operational in a commercial sense. Some small MWs have been installed (solar PV and biomass), but negotiations of price and other related processes are still underway.

The 19 small hydropowers that are in the finance phase (total 88,174 MW) report several problems including difficulties in obtaining PPA with the SEC and the long process of permit issuance for surface water usage, in which the two processes are intermingled. It is interesting that policies for river usage permits, which depend on where the river is located, are different from one locality to another, and from local government to central government.

One unique example is a small hydropower plant of 600 kW in a region of Central Java, which has been fully constructed but has not been operational because it has not obtained the PPA from the SEC. And the SEC cannot issue the PPA because the related institution has not been issued with a permit for water resource utilization. There has been much confusion over who is authorized to issue the permit: initially it was thought to be the responsibility of local government, but, then it was clear that the specific watershed's authority belongs to central government (Ministry of Public Works). However, up until now the permit has not been issued by the minister, with no clear explanation.

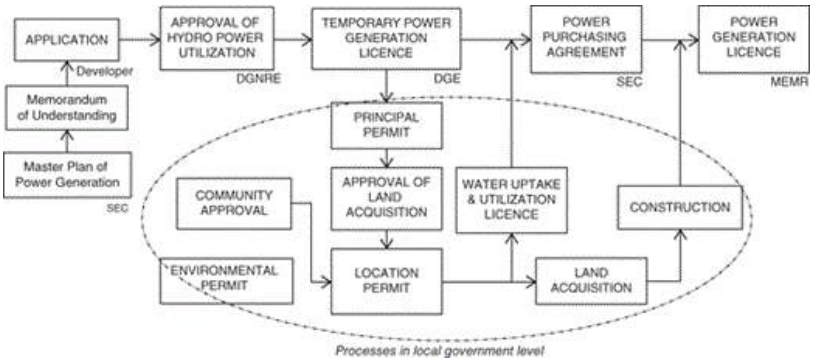
When asked whether the structure of FIT policy has met their expectations, all respondents from investors of RE power plants admitted that the structure and the selling price have been sufficient to make the project (on paper) seem viable, and this has greatly affected their decision to invest in renewable energy. Especially for small hydropower investors, who enjoy a high price of electricity and for whom the domestic content of the technology is relatively high, the structure of small hydropower has caused a surge of domestic investors who are interested in investing. This attractiveness of RE investment has been confirmed by the US Department of Commerce report (US Department of Commerce 2010) and the UNDP (United Nations Development Programme) report (UNDP 2015). However, the investors convey that, in the process of
p. 155 development, the many additional costs incurred by the many ↳ kinds of permits that have to be obtained before they are fully operational, and the long delays caused by them, have eroded the profitability of RE projects.

8.4.2 Procedure for Obtaining a Renewable Energy Licence

In delving deeper into the permit procedure, the research is focused on small hydro development in West Java only, due to limited time and budget. There is no coherent data between institutions and no transparency of information. At the lower level of government, which is provincial and regency government, this is even worse. That is why interviews were conducted covertly and some of those interviewed agreed to be interviewed only on condition that their names would not be revealed. Figure 8.2 displays the general procedure to be conducted in order to obtain a small hydropower plant licence. The flows of procedures at the lower levels of government (province and regency government) are simplified and compiled from practices existing in different regencies.

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

Figure 8.2.



Procedure for the issuance of licences for small hydropower generation.

Source: Author's illustration.

The upper part of the procedure illustrates the flow of applications for power plant licences according to MEMR Regulations No 22/2010, where the developers of on-grid power generation must submit an application to the Directorate General of Electricity and must previously have had a memorandum of understanding with the SEC that the planned location of the development is already included in the Master Plan. Then, the developer must submit a deposit of 5 per cent of total investment to the Directorate General of New and Renewable Energy, in order to obtain Approval for Hydro Utilization. Thereafter, a temporary permit for small hydropower generation is issued. Based on this temporary permit, the developer must then
p. 156 go through ↳ the procedure at the lower level of government (province government and related regency government).

This is where matters get more complicated, because, in order to conduct land acquisition, the developer must go through several processes, often very tiring, with no time limit, and a lot of additional (and unofficial) cost. To make matters worse, there is no standard procedure for this land acquisition between regencies, and the process may vary greatly from one place to another. When there is forest land included in the design, the matter is even more complicated because the timeline of the procedure to obtain permission to use the land often exceeds the length of the permit.

In general, there are at least 14 kinds of licences and permits (and other permit-like processes) that have to be obtained before a developer can start the construction of a RE power plant: four from central government, one from provincial government, and nine from regency government. There are also some associated recommendations from related bodies which are a must-have requirement before a permit can be issued (this includes community approval). For geothermal investment, this number may well be higher, especially for foreign investors. It is worth noting that the costs associated with permit issuance are generally not stated clearly; sometimes they need to be negotiated, and sometimes they require much higher costs than expected. Although some RE investors admit that they have prepared for such excess costs, nevertheless the negotiation process requires time, delays schedules, and lowers the profitability of RE investments.

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

8.4.3 Obstacles to Deployment of Renewable Energy

8.4.3.1 Incoherent Regulations between Related Institutions

Incoherent knowledge about renewable energy, different agendas, and overlapping policies between ministries and moreover between central government and local government, surfaced several times in the elaboration of obstacles to renewable energy deployment. One provincial government official who was authorized to issue water utilization permits complained that the MEMR issued a permit to build small hydropower without stating the exact location, with the result that local government, in certain areas of West Java, issued two permits for one exact same location. This disturbs the steady flow of the river and potentially could conflict with rice field irrigation. He then questioned whether the river discharge usage permit should come before or after a small hydropower plant permit is issued by the MEMR. However, when questioned about this problem, the regency government official seemed not to recognize this problem, stating that they only process location permits as they are proposed, and that there is no clarification
p. 157 process with the higher level of ↳ government or with related institutions whatsoever. Thus, if there is overlapping of location permits, it is not their problem.

The institutional problem becomes worse when an RE power plant is to be built in a conservation or protected forest area because the clearance and permit to use the forest area must come from the Minister of Forestry. Even though they know that renewable energy plants would not damage the forest (unlike mining, for instance), still there is no special treatment for the so-called sustainable energy and non-sustainable usage of the forest. Even though, recently, there has been a revision for geothermal energy that enables protected forest to be used for geothermal power plants, a geothermal investor respondent still complained that the issuance of the permit is long and complex.

8.4.3.2 Long Process of Electricity Purchasing

Investors also convey that the signing of a PPA with the SEC is extremely complex and technical and bargaining is tough. Sometimes the process took longer than a year. A geothermal power plant investor stated that he has to wait four years before the agreement is reached. Another investor even suspects that the SEC is reluctant to buy electricity from renewable energy sources because it then has to cover additional costs compared to when it uses coal-fired power plants (personal interviews, August–September 2015).

Meanwhile, in reply to questions about the many difficulties experienced in obtaining PPAs, the Director of Business Ventures of the SEC (personal interview, September 2015) denied that the SEC is reluctant to buy electricity from RE sources, stating that it is mandatory for the SEC to buy in accordance with the MEMR regulations. However, as a state-owned company, there are several requirements that have to be met before issuance of a PPA including, among others, obtaining all related permits, land clearance, and agreement with the local community. In reply to questions about the profitability of trading electricity from RE sources, she admitted that the price is considerably higher than coal-generated electricity (average production cost of around US$0.5). At present, the buying price of electricity from RE varies between US$0.10 and US$0.17, which is sold to the public at an average price of around US$0.8 to US$0.9, and this makes the discrepancy in cost a burden for the SEC to cover from elsewhere.

Another complaint from the SEC is that while they have to pay instantly the electricity price as generated, reimbursement from the government is dependent on the national budgeting agenda. Reimbursement is sometimes delayed for several months and sometimes is not provided at the exact amount that has been disbursed by the SEC. Thus, she proposed that there should be an independent agency to manage the financing of electricity from RE sources which deal with the electricity price negotiations, payments of
p. 158 power purchasing, and all related matters. Learning from the case of Malaysia and Thailand, this ↳ agency would ensure that the discrepancy in cost between the average production cost and the selling price from conventional power plants, which is reimbursed in the form of government subsidy, can be managed effectively without depending on political processes in the annual national budgeting agenda.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

8.4.3.3 Problems with Community and Land Acquisition

Another factor that hinders speedy deployment of RE power plants is that in some locations the community does not wish to sell its land due to lack of knowledge about renewable energy. This is especially true for geothermal energy, where in West Java at least, there are four locations where geothermal plants are delayed due to various kinds of conflict. Yuliani (2013) stated that community resistance in many locations of geothermal development in Indonesia represents the major obstacle to renewable energy deployment. Similarly, Hasan and Wahjosudibjo (2014) suspected that there are several issues other than the electricity tariff that have to be addressed by the government in order to improve geothermal power plants.

It is worth noting that, after some 30 years of relatively authoritarian governance, since around the 2000s, the Indonesian people have been enjoying a more democratic atmosphere in what is called the reformation era, where governance is more decentralized, public policy is more bottom-up and participatory, and there is a new-found freedom of speech among the people. Yuliani (2013) noted that this new condition in a community sometimes brings problems for the development of infrastructure, especially when there is no sufficient preparation for the community to accept new things, such as renewable energy technology. Even respondents from local government officials (regency government) show that this lack of information is not only true for the layman but also for bureaucrats.

In the deployment of small hydropower plants, community conflicts are usually about the amount of water used for irrigation, which mostly can be solved by good communication. However, unavailability of a standard price for land, especially in remote areas, often delays the land acquisition process and if the price wanted by the community exceeds the expected figure this can lower the economic viability of the project. It is worth noting that, for the foreign investor, this problem of the price of land skyrocketing may worsen, and needs to be carefully considered.

8.4.4 Miscellaneous: Unanticipated Impacts of FIT Policy

The significant increase in renewable energy investment, especially for small hydropower, creates several
p. 159 unanticipated impacts which are not always positive. ↳ Government officials, as well as developers, report that there is some kind of rivalry between institutions related to the importance of their role in permit processes. The struggle to acquire the most profitable sites for hydropower plants has created a situation where power plants are located very near each other. On the supply side, it is a worrying situation, because there is no capacity cap that limits how much of the generated electricity the electricity company is willing to buy.

Related to land acquisition, a growing number of people play the role of a land realtor, hoping that they can benefit from discrepancies in land prices. This, in turn, makes the price of land uncontrollable in some regions. One developer complained that government officials are also players in land acquisition deals.

Before the implementation of FIT, small hydropower was used to electrify communities in remote regions, usually with aid from the government. However, with the massive emergence of hydro investors and the fight for the best locations, these community-based small hydropower plants are left behind. In West Java, there are at least two locations where micro-hydro plants were ready to be constructed but eventually failed because the power plant licence for the exact location had been issued by the MEMR.

8.5 Conclusion and Recommendations

8.5.1 Conclusion

Indonesia is an example of a country where FIT policy, which is considered quite successful in developed countries, is duplicated without careful considerations of the existing sociopolitical conditions. The FIT policy in Indonesia, which has been formulated in eight ministry regulations (four original versions and five revised versions) has not significantly improved deployment of its renewable energy. It is true that investment interest in renewable energy has soared to a level which has never been seen since its implementation around the 2010s. However, data confirmed through field reports shows that about 90 per cent of scheduled deployments of renewable energy power plants are delayed, and targets are far from realized.

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

Many complaints related to difficulties in obtaining a PPA, lack of a guarantee of grid connection, and complex contract structure, indicating that some of the FIT policy principles are not being met, although the price of electricity is satisfactory. The study also reveals several other issues that pose obstacles to renewable energy deployment, which can be grouped into three big problems: unclear and inconsistent policies both horizontally (between ministries) and vertically (between levels of government), the complex
p. 160 requirements of many permits, and difficulties related to land acquisition which includes conflict with ↳ the community. Adding to those problems in the field is the corrupt behaviour in permit issuance processes, which has made the calculation of the economic scale of a project difficult.

To sum up, the FIT policy when applied in a less developed country such as Indonesia must work in tandem with other efforts. The complex structure of governance, lack of community knowledge about renewable energy, and incoherent coordination between related institutions, all add up to difficulties of implementation in the field. If Indonesia is serious about achieving its projected goals for renewable energy deployment, then efforts must be strengthened and calculated measures must be taken. On the other hand, the study also underlines the importance of narrowing the wide gap in transitioning to cleaner energy, where less developed and developed countries both face very different challenges.

8.5.2 Recommendation

In order to enhance the effectiveness of FIT policy in increasing the success of renewable energy deployment, it is recommended that the GOI simplifies the licence procedures, either at the central government level or most especially at the local government level. This will require an exceptionally strong commitment from all parties, because every institution holds to its own laws and regulations, and may not have the same agenda for the development of renewable energy.

The existence of specific budgets allocated for renewable energy subsidies, as implemented by many countries, can play a significant role in lessening the burden of developers. The subsidy which is intended to pay for the discrepancy of production costs between renewable energy and conventional power plants has to be independently managed, and not be dependent on the political process in the national budget planning which is decided annually. One realistic option is to form an independent body which is given the mandate to facilitate the permit process, formulate and finalize PPA, and manage various aspects related to pricing and payments of the government subsidy for renewable energy.

It is also recommended that the GOI should not abandon community-based efforts in renewable energy deployment. The excessive focus on investment to boost renewable energy deployment is not sustainable because it does not create a sense of belonging from the surrounding community. On the other hand, there is a lot of under-utilized renewable energy potential which is most suitable to be used for domestic energy, such as biomass.

8.5.3 Suggestions for Further Research

Due to the limited time and budget for conducting this field survey, in-depth investigation of locations for
p. 161 the deployment of renewable energy power ↳ plants has only been conducted at a limited number of sites. It is suggested that a thorough assessment is conducted in other parts of Indonesia, including of all kinds of renewable technologies. Field practices at the lower level of government may vary from place to place. Thus, a comparison between regions is recommended in order to obtain a general description of how permit procedures are carried out at local government level, and eventually, to suggest the best option for simplifying procedures and increasing the effectiveness of deployment. There are at least two small hydropower plants which are said to have been operational in published reports by related institutions; in reality, they are still in the process of becoming fully operational commercially. Thus, it is best to check the location of development on the site to assess the real situation, especially for solar PV and biomass power plants which are located in remote areas of Indonesia.

The availability of low-interest loans dedicated to renewable energy development from various banking and financial institution, both national and international, must also be scrutinized. The fact that about 90 per cent of power plant licences have not shown any progress after several years, raised some concerns about prejudice from several of those surveyed that the licences are used to obtain loans to be invested elsewhere. In this study, the researcher does not have access to any banking personnel and, under the bank privacy

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

principle, it could be difficult to get any information. However, in order to create a healthy investment climate for renewable energy, it is suggested that measures are taken to ensure that renewable energy loans are used appropriately.

Acknowledgements

This research was made possible by UNU-WIDER through the project on 'Political Economy of Clean Energy Transitions'. The author would like to thank UNU-WIDER for the opportunity to conduct the research, and to meet and network with other researchers.

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

References

DGNREEC (Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi) (2014). 'Role and Strategy for Development of Renewable Energy and Energy Conservation'. Unpublished Presentation.

DGNREEC (2015). 'Statistik EBTKE 2015'. DGNREEC, Jakarta. Available at: <http://www.ebtke.esdm.go.id/>(accessed 30 September 2015).
WorldCat

ECORYS (2008). 'Assessment of Non-Cost Barriers to Renewable Energy Growth in EU Member States—AEON'. DG TREN No. TREN/D1/48–2008. ECORYS, ↳ Rotterdam. Available at:
<https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2010_non_cost_barriers.pdf> (accessed 19 February 2016).
WorldCat

Farrel, J. (2009). 'Feed-in Tariffs in America: Driving the Economy with Renewable Energy Policy that Works'. Minneapolis. Available at: <https://ilsr.org/wp-content/uploads/files/feed-in%20tariffs%20in%20america.pdf> (accessed 1 March 2016).
WorldCat

Government of Indonesia (2014). 'Government Regulation No.79/2014 on National Energy Policy'. Available at:
<http://prokum.esdm.go.id/pp/2014/PP%20Nomor%2079%202014.pdf> (accessed 30 September 2015).
WorldCat

Hasan, M. and A. S. Wahjosudibjo (2014). '*Feed-In Tariff for Indonesia's Geothermal Energy Development, Current Status and Challenges*'. Proceedings of Thirty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, 24–26 February, Stanford, California.
Google Scholar Google Preview WorldCat COPAC

IRENA (International Renewable Energy Agency) (2012). '*Evaluating Policies in Support of the Deployment of Renewable Power*'. Available at: <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=251> (accessed 19 September 2014).
Google Scholar Google Preview WorldCat COPAC

Klein, A., E. Merkel, B. Pfluger, A. Held, M. Ragwitz, G. Resch, and S. Busch (2010). '*Evaluation of Different Feed-in-Tariff Design Options—Best Practice Paper for the International Feed-In Cooperation*'. Third Edition. A Joint Research Project between Energy Economics Group (EEG) and Fraunhofer ISI. Available at:
<file:///C:/Users/George/Downloads/Best_practice_Paper_3rd_edition.pdf> (accessed 1 March 2016).
Google Scholar Google Preview WorldCat COPAC

Lauber, V. and L. Mez (2006). 'Renewable Electricity Policy in Germany, 1974 to 2005'. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 26(2): 105–20.
Google Scholar WorldCat

MEMR (Ministry of Energy and Mineral Resources) (2015). '*Road Map for Accelerated Development of New and Renewable Energy 2015–2025*'. MEMR, Jakarta.
Google Scholar Google Preview WorldCat COPAC

Mendonça (2007). *Feed-in Tariffs: Accelerating the Deployment of Renewable Energy*. London: Earth Scan.
Google Scholar Google Preview WorldCat COPAC

Mez, L. (2012). 'Germany's Merger of Energy and Climate Change Policy'. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 68(6): 22–9.
Google Scholar WorldCat

Mitchell, C. et al. (2011). 'Policy, Financing and Implementation'. In *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge and New York: Cambridge University Press, pp. 865–950.
Google Scholar Google Preview WorldCat COPAC

UNDP (United Nations Development Programme) (2015). 'The State of Indonesia's Renewable Energy'. Available at:
<http://www.id.undp.org/content/indonesia/en/home/presscenter/articles/2015/07/22/the-state-of-indonesia-s-renewable-energy.html> (accessed 30 September 2015).
WorldCat

US Department of Commerce (2010). '*Renewable Energy Market Assessment Report: Indonesia*'. Available at:
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/indonesia2008.pdf> (accessed 30 September 2015).

p. 162

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

Google Scholar Google Preview WorldCat COPAC

White, L. V., B. Lloyd, and S. J. Wakes (2013). 'Are Feed-in Tariffs Suitable for Promoting Solar PV in New Zealand Cities?' *Energy Policy*, 60: 167–78. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.079> (accessed 16 April 2015).
Google Scholar WorldCat

Yuliani, D. (2013). 'Dynamics of Community Resistance in Planning (Case Study: Development of Geothermal Power Plant in Mount Tampomas, Sumedang, Indonesia)'. Unpublished Dissertation, Institute of Technology of Bandung, Indonesia.

Downloaded from https://academic.oup.com/book/16547/chapter/172504735 by guest on 24 March 2023

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

fermentation

MDPI

Article

Isolation and Characterization of Lignocellulolytic Bacteria from Municipal Solid Waste Landfill for Identification of Potential Hydrolytic Enzyme

Ogechukwu Bose Chukwuma [1], Mohd Rafatullah [1,2,*], Riti Thapar Kapoor [3], Husnul Azan Tajarudin [4], Norli Ismail [1,2], Masoom Raza Siddiqui [5] and Mahboob Alam [6]

1 Environmental Technology Division, School of Industrial Technology, Universiti Sains Malaysia, Penang 11800, Malaysia
2 Renewable Biomass Transformation Cluster, School of Industrial Technology, Universiti Sains Malaysia, Penang 11800, Malaysia
3 Amity Institute of Biotechnology, Amity University Uttar Pradesh, Noida 201 313, India
4 Bioprocess Technology Division, School of Industrial Technology, Universiti Sains Malaysia, Penang 11800, Malaysia
5 Chemistry Department, College of Science, King Saud University, Riyadh 11451, Saudi Arabia
6 Division of Chemistry and Biotechnology, Dongguk University, 123, Dongdaero, Gyeongju-si 780714, Republic of Korea
* Correspondence: mrafatullah@usm.my; Tel.: +60-46-532-111; Fax: +60-4656-375

Abstract: The utilization of lignocellulose biomass as an alternative source of renewable energy production via green technology is becoming important, and is in line with sustainable development goal initiatives. Lignocellulolytic bacteria, such as *Bacillus* spp., can break down biomass by producing hydrolytic enzymes, which are crucial in the successful conversion of biomass or lignocellulosic material into renewable energy. This information gave rise to this study, where municipal solid waste sediments of a sanitary municipal solid waste landfill were sampled and screened, and lignocellulolytic bacteria were isolated and characterized. Samples were taken from four different locations at the Pulau Burung landfill site in Malaysia. Lignin and starch were used as sources of carbon to identify potential bacteria that exhibit multi-enzymatic activity. The growth rate and doubling time of bacterial isolates in lignin and starch were taken as the criteria for selection. Eleven bacterial isolates were screened for cellulase activity using iodine and Congo red dyes. The cellulase activity of these isolates ranged from 0.8 to 1.7 U/mL. We carried out 16S rRNA gene sequencing to identify the phyla of the selected bacterial isolates. Phylogenetic analysis was also conducted based on the 16S rRNA sequences of the bacterial isolates and related Bacillus species, and a tree was generated using the Neighbor-Joining method. In this study, *Bacillus proteolyticus*, *Bacillus Sanguinis*, *Bacillus spizizenii*, *Bacillus paramycoides*, *Bacillus paranthracis and Neobacillus fumarioli* were identified as promising bacteria capable of expressing lignocellulolytic enzymes and degrading the lignocellulosic biomass present in municipal solid waste.

Keywords: *Bacillus* spp; cellulase; lignocellulose biomass; lignocellulolytic bacteria; municipal solid waste

check for updates

Citation: Chukwuma, O.B.; Rafatullah, M.; Kapoor, R.T.; Tajarudin, H.A.; Ismail, N.; Siddiqui, M.R.; Alam, M. Isolation and Characterization of Lignocellulolytic Bacteria from Municipal Solid Waste Landfill for Identification of Potential Hydrolytic Enzyme. *Fermentation* **2023**, *9*, 298. https://doi.org/10.3390/fermentation9030298

Academic Editor: Diomi Mamma

Received: 20 February 2023
Revised: 12 March 2023
Accepted: 13 March 2023
Published: 18 March 2023

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

The continuous rise in the global population and fast industrialization and urbanization have shown direct impacts on the production of municipal solid waste [1]. Municipal solid waste (MSW) has become a serious concern in the developing and least-developed nations, where adequate waste collection facilities are not available [2]. Approximately two billion metric tons of urban solid waste are currently generated at the global level, and this is expected to double by the year 2050 [3]. The disposal methods of municipal solid waste are not well planned globally, and this waste has become a major environmental threat

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

during the past few years [4]. Landfills have been adopted as a major means of disposing of municipal solid waste in both industrialized and developing countries [5]. Municipal solid waste disposal into landfill sites has had deleterious impacts on aquatic ecosystems and the health of human-beings due to its offensive odor, leachate leakage and toxic gas emissions [6–9].

The high demand for energy, together with the fast depletion rate of fossil fuels, is gaining global attention [10]. The energy transition is an important step towards carbon neutrality, and it is beneficial for developing countries in terms of environmental protection and the economy [11]. There is a need to move from fossil fuels to renewable energy sources to achieve the energy transition to low carbon generation. The waste disposal and energy crisis problems can be mitigated by exploiting lignocellulosic biomass, which is readily available at zero cost as a renewable resource [12]. Lignocellulose is a widely available and unexploited source, as around two hundred billion tons of lignocellulose are generated annually all across the globe [13]. Lignocellulose biomass consists of agricultural and forestry residues, yard trimmings and energy crops, which are made up of cellulose, hemicellulose and lignin and form a predominant part of the green waste fraction of municipal solid waste (MSW). Approximately 50 and 12% cellulose and hemicellulose, respectively, are present in residential municipal solid waste in the form of dry weight [14]. Lignocellulosic materials have become a major feedstock for biofuels because the presence of multi-carbon components and their derivatives can be transformed into value-added materials for the syntheses of sugar, alcohol, lipids, etc. [15,16]. Various physical and chemical methods have been applied in lignocellulose bioconversion, but due to their high costs, use of toxic chemicals, and complicated and expensive procedures, their processes are economically infeasible, and thus, these strategies have not been successful. The biodegradation of lignocellulose biomass by microbial enzymes is a promising and sustainable approach, as microbes can simultaneously perform the role of pre-treatment and easily break down lignocellulosic components [17]. Different types of enzyme, such as ligninolytic, cellulolytic and hemicellulolytic enzymes, can be applied in lignocellulose biodegradation [18]. Poszytek et al. [19], in 2016, reported greater efficiency of microbial lignocellulolytic enzymes for bioconversion compared to commercial enzymes. The individual microbial strains or consortia secrete hydrolytic enzymes during their metabolism and degrade cellulose, hemicellulose and lignin into smaller fragments [20]. A number of previous studies revealed that an anaerobic environment, such as the bovine rumen, and the elephant and termite gut, acts as a potential source of lignocellulose-degrading enzymes [21,22]. Such environments harbor microbial communities that convert lignocellulosic biomass without pre-treatment and are currently applied in commercial processes. The composition of leachate and sediment at landfill sites depends on different factors, such as the age of the landfill, its waste composition, its temperature, etc. [23]. The structure of a microbial community is also affected by the age and composition of the landfill.

Bacteria are considered potential candidates for industrial applications due to their fast growth, the presence of abundant enzymes, their pressure resistance and their ease of genetic manipulation to achieve improved properties [24,25]. Bacteria are prolific producers of cellulase and are extracellularly secreted in huge amounts. Cellulase is considered the black box of lignocellulose degradation, and utilizes the homogeneous property of cellulose by hydrolyzing β-1, 4 glycosidic linkages [26]. Various types of cellulose may incite bacteria to generate different types of cellulase and make microbes specific to lignocellulosic materials [27]. *Bacillus* is a potential genus of bacteria which significantly generates cellulase enzymes [28,29]. *Bacillus coagulans*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* and *Bacillus cereus* reflected high cellulolytic activity for lignocellulosic substances [30]. Balla et al. [31], in 2022, reported high cellulolytic activity in bacterial communities across different ecosystem, and observed that bacterial species were able to produce enzymes that can hydrolyze cellulosic substrates present in both soluble and insoluble states. Cellulase is composed of endoglucanases, exoglucanases, and β-glucosidases, which act in a synergistic way to hydrolyze the lignocellulosic biomass [32]. The endo-β-1, 4-glucanase and exo-β-1,4

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

cellobiohydrolase degrade cellulose into cello-oligosaccharides, which are then hydrolyzed to glucose by β-glucosidase [33].

Landfill sites are heterogeneous in nature, comprise mainly lignocellulosic material and can be considered ideal sites for biomass conversion. However, landfill sites have not been extensively explored and studied [34]. Studies have confirmed that *Bacillus* spp. secrete enzymes for lignin and cellulose degradation, metabolize dioxane lignin and break the biphenyl structures of lignin. *Clostridium*, *Cellulomonas Rumminococcus*, *Alteromonas*, *Acetivibrio, etc.* are other bacteria that have been reported to exhibit cellulolytic activity. Due to their fast propagation, convenient molecular genetics, protein expression with a smaller genome and high adaptability towards harsh environmental conditions, bacteria are suitable candidates for the degradation of lignocellulosic biomass [26]. Yong et al. [35], in 2019, reviewed the status of municipal solid waste in Malaysia and reported that the application of MSW in energy generation may promote growth and sustainable development in Malaysia. To the best of our knowledge, no reports are available in the literature regarding the isolation and characterization of potential bacteria and their application in lignocellulose biomass conversion at the Pulau Burung landfill site in Malaysia. Therefore, we were interested in finding potential candidates that can efficiently degrade the cellulose and hemicellulose contents of the lignocellulosic materials present in MSW. The main objectives of the present investigation were: (i) the extensive characterization and identification of lignocellulolytic bacteria present at the Pulau Burung landfill site in Malaysia and their comparison with the existing literature data; (ii) the screening of multi-enzymatic bacteria that will make them more suitable in lignocellulose-driven refinery; and (iii) the generation of information and recommendations for designing future consortia for the complete degradation of lignocellulose.

2. Materials and Methods

2.1. Sampling and Physico-Chemical Characterization of Waste Samples

Sediment samples were collected from the Pulau Burung sanitary landfill site (5°19.36; 100°42.67′ E) located in Nibong Tebal, Penang, Malaysia, on 7 March 2020 at 9:45 a.m. The collected samples were transported to our laboratory as per the standard procedures described by Forster [36] for physico-chemical and microbiological analysis.

Sampling was performed during the rainy season in March 2020 from four different randomly selected sites at the Pulau Burung sanitary landfill, namely A, B, C and D, at a depth of 20 cm. The temperature was measured in situ at each site using a digital thermometer (Rapitest, Kuala Lumpur, Malaysia). Samples were kept at 4 °C until analysis.

pH was measured in the laboratory using the standard method described by Radojevic and Bashki [37]. Twenty grams of sediment that was free from larger materials was placed in a beaker. Forty milliliters of distilled water was mixed, and contents swirled and allowed to stand for 30 min. The pH was analyzed by using a pH meter (Mettler-Toledo, Zurich, Switzerland) by ensuring that the electrode did not touch the settled sediment particles but remained in the supernatant liquid above while the reading was taken. This prevented errors in the readings [37].

2.2. Isolation and Identification of Bacteria

2.2.1. Isolation of Potential Bacteria

Bacterial species were isolated as per the method of Reynolds [38]. The samples were serially diluted by weighing 1 g of sediment and diluting it tenfold. Afterwards, 0.1 mL of dilutions from each fold were dispersed on the sterilized nutrient agar plates and incubated at 37 °C for 24 h. The clear colonies were sub-cultured several times to ensure purity. The various colonies observed were sub-cultured using the streak plate method until pure colonies were obtained. The morphologies of the colonies were observed; those with similar morphologies were considered the same, and distinct ones were further sub-cultured to obtain pure colonies. Pure colonies were stored at 4 °C on nutrient agar slants for further analysis.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2.2.2. *Preliminary Identification of Potential Bacteria*

After the isolation of bacteria, morphological and biochemical characterization was conducted using standard procedures described in *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* for the identification of potential bacteria [39]. Morphological characterization was performed based on visual appearance and Gram staining using the method described by Smith [40].

2.3. Screening for Ligninolytic and Cellulolytic Ability

Predictive modeling was used to check the growth rate of microorganisms. This was measured by taking aliquots at intervals while growing the microbial culture [41]. The bacterial isolates were inoculated into pre-prepared sterilized media containing starch and lignin as the sole sources of nutrients. The composition of the media used is stated in Table 1. They were prepared to determine the lignocellulolytic ability of the bacterial isolates.

Table 1. Screening media composition.

	Deionized Water (mL)	**Sole Carbon Source (g)**
Lignin	10	0.1
Starch	10	0.1

The absorbance was taken at 600 nm using a Hach DR 2800 spectrophotometer (Hach Malaysia, Kuala Lumpur)hourly for up to 24 h. The results were used for kinetic growth studies of the bacterial population.

2.4. Kinetic Growth Studies for Ligninolytic and Cellulolytic Ability of Isolated Bacteria

Using the results from the screening (2.3), growth curves were derived and used to calculate growth rate and doubling time for each isolate. Mathematical modeling was used to fit the results obtained for bacterial growth curve prediction [42]. A positive fit indicated bacteria growth (G), while a negative fit was an indication of non-bacterial growth (NG). The coefficient of determination (R^2) was applied to analyze the efficiency of model. An R^2 value close to 1 indicated that the method is reliable for predicting the growth profile of the isolated bacteria.

To obtain the growth rate of the isolates, individual growth curves were processed by retrieving sequential sets of n data values, where n was in the range of 3 to 10, as previously described by Breidt et al. [43] in 1994. The slope of the line (I) was used to derive the growth rate, and the maximum slope is the specific growth rate. Values with higher R^2 were preferred, as they were more indicative of growth rate. Equations (1) and (2) as seen below depict the formula used for the kinetic studies:

$$Y = \mu \times Yo \quad (1)$$

μ = Growth rate

The formula for population growth rate, and duplication time is shown below:

$$TD = \frac{\ln 2}{K} \quad (2)$$

Doubling time (TD)

ln2 = Neperian logarithm of 2

k = Growth rate

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2.5. Enzyme Assays

2.5.1. Qualitative Screening for Hydrolytic Enzyme Production

Upon completion of the kinetic studies, isolates that showed great potential in utilizing both lignin and starch were subjected to qualitative assays to test for xylanase, protease, amylase and cellulase. This potential was measured by comparing the growth rate (μ) in each medium with isolates that had better growth rates. For the specific isolation of cellulolytic microorganisms, CMC agar plates were prepared using the following composition: agar powder: 15 g, yeast extract: 1 g, CMC: 3 g, $FeSO_4.7H_2O$: 0.01 g, $(NH4)_2SO_4$: 1 g, NaCl: 2 g, $MgSO_4.7H_2O$: 0.2 g and KH_2PO_4: 1.36 g [44]. The plates were incubated at 37 °C for 3–5 days. Once single colonies had been observed, subsequent plates were split into quadrants. Colonies were placed in the middle of each quadrant and incubated once more.

For hydrolysis testing, the plates were flooded with freshly prepared Gram's iodine (2 g potassium iodine in 1 g of iodine dissolved in distilled water). The plates were read immediately, as the clear zone around the bacterial colony showed that hydrolysis was taking place. Positive plates gradually hydrolyzed the iodine until the plate became clear, whereas negative plates were unable to produce a clear zone around the bacterial colony, which reflected that there was no hydrolysis [44].

For the estimation of xylanase activity, colonies in the quadrants were flooded with Congo red (0.1% *w/v*), and then, de-stained with sodium chloride (0.1 M). The colonies that had clear zones around them were positive for xylanase, while those without it were considered negative.

To test for proteolytic ability, skimmed milk agar was prepared using the following composition: skimmed milk powder: 2.8 g, casinenzymic hydrolysates: 500 mg, yeast extract: 250 mg, dextrose: 100 mg and agar: 1.5 g (added to distilled water (100 mL) to make 1% skim milk agar). The agar plates were divided into quadrants, and isolates of interest were incubated and observed for 72 h, as per the method of Masi et al. [45]. Microbes that were able to grow showed proteolytic ability and formed halos around the colonies.

2.5.2. Quantitative Screening for Cellulolytic Ability of Microorganisms

The enzyme activity of cellulase for the DH13, DG6, AB7 and A3 strains was assayed by reducing the sugar content by Dinitrosalicylic acid [46]. These isolates were chosen because they showed enzyme activity for all qualitatively measured enzymes. Absorbance was measured at 540 nm and an enzyme unit (U) was expressed as the enzyme amount that released 1 μmol of glucose equivalent from carboxymethylcellulose.

2.6. DNA Extraction and Molecular Characterization

The DNA from pure isolates was extracted using a Vivantis DNA kit (Vivantis, Selangor, Malaysia), as per the standard method of Yi et al. [47]. The isolates were grown overnight in nutrient broth and kept in a shaker at 150 rpm and 37 °C. The obtained DNA was amplified through a polymerase chain reaction (PCR) using the universal DNA forward primer Eubac27F (50-AGAGTTTGATCCTGGCTC AG-30) and reverse primer 1492R (GGTTACCTTGTTAC GACTT-30) to target bacterial 16S rRNA. The PCR had the following protocol: 3 min at 95 °C for 32 cycles, 1 min at 94 °C, 1 min at 56 °C, 2 min for 72 °C, and 10 min for 72 °C with 4 °C intervals. After sequencing, the obtained sequences were blasted using the online tool NCBI Blast.

Phylogenetic Analysis

After blasting, the GenBank database was used to compare the 16S rDNA sequences with similar sequences. The phylogeny of the bacterial strains was constructed using Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2.7. Statistical Analysis

All the experiments were carried out in triplicate and data obtained in the form of mean ± standard error. Data were subjected to a two-factor analysis of variance (ANOVA) test using Microsoft excel, with significance levels of $p < 0.05$.

3. Results and Discussion

In the present investigation, sediment samples were collected from the Pulau Burung sanitary landfill in Penang, Malaysia, as shown in Table 2.

Table 2. Sampling location and condition of sediment samples collected from the Pulau Burung landfill.

Sampling Point	Latitude	Longitude	pH	Physical Appearance of Sediment	Temperature, °C
A	N5°12′6.9″	E100°25′24.7″	5.97	black	32
B	N5°12′14.8″	E100°25′33.8″	6.32	red	35
C	N5°12′7.6″	E100°25′26.3″	6.3	brown	36
D	N5°11′57.7″	E100°25′36.0″	6.9	loamy	28

pH gives an indication of the acidity or alkalinity of an environment and helps in understanding environmental interactions. The pH ranged from 5.97 to 6.9; site A showed the lowest and site D reflected highest pH, as seen in Table 1. The average pH was 6.37, which was close to the pH reported in earlier landfill studies conducted in Malaysia. pH is an important factor as it affects the possible outcome of any pretreatment process used. It has been observed that lower pH favors the hydrolysis of hemicellulose, and higher pH enhances the hydrolysis of lignin components [48].

The temperature was in the range of 28–36 °C; the site D had lowest, whereas site C had highest temperature. The average temperature was 32.8 °C. Temperature affects reactions in the environment and can amplify odor at a landfill site [49]. The variation in physio-chemical properties is due to the heterogeneity of the waste materials that are disposed of in the landfill. Saha et al. [50] reported that with increasing temperature, various gases, such as ammonia and methane, also generated.

3.1. Identification and Isolation of Bacteria

In total, 169 isolates were obtained based on the morphological characterization. A total of 37 cultures were isolated from sample site A, 34 from sample site B and 43 from sample site C, and a maximum of 55 were isolated from sample site D.

The isolates were visually and microscopically observed for characterization purposes. The Gram staining results and details of the colony features of the bacteria are highlighted in Table 3, and Figure 1 shows the appearance of some isolates after Gram staining.

These results reflect that 30% of the isolates were Gram-negative with varying shapes and arrangements (Figure 1b,c), whereas the other 70% were Gram-positive, as seen in Figure 1a,d. Our results are consistent with the findings of Zhai et al. [51] where the proportion of Gram-positive bacteria was greater compared to that of Gram-negative bacteria.

3.2. Screening for Lignocellulolytic Ability and Kinetic Studies

The isolates were tested to evaluate their ligninolytic and cellulolytic properties. The isolates were introduced into media containing either lignin or starch to analyze which isolate could grow with only one of these as a carbon source. The results reflected that out of the 169 isolates, only one isolate was unable to grow in either lignin or starch. Only 44 isolates could grow in either of the nutrient sources, so the kinetic studies focused on the 124 isolates that could grow in both lignin and starch (Supplementary Materials Table S1).

With the screening results, the growth curves, as seen in Figure 2, were derived to calculate the growth rate and doubling time for each isolate. The study of microbial growth

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

curves is an integral part of predictive microbiology and is used in various fields, as it allows for the integration of statistical, mathematical and microbiological principles in quantifying a microorganism's behavior [52]. In the modeling of bacterial growth kinetics, the behavior of a microorganism can be described under specific environmental conditions [42]. In this case, the bacterial isolates were grown in the same media of starch and lignin as sole sources of carbon, and incubated under the same conditions at 37 °C.

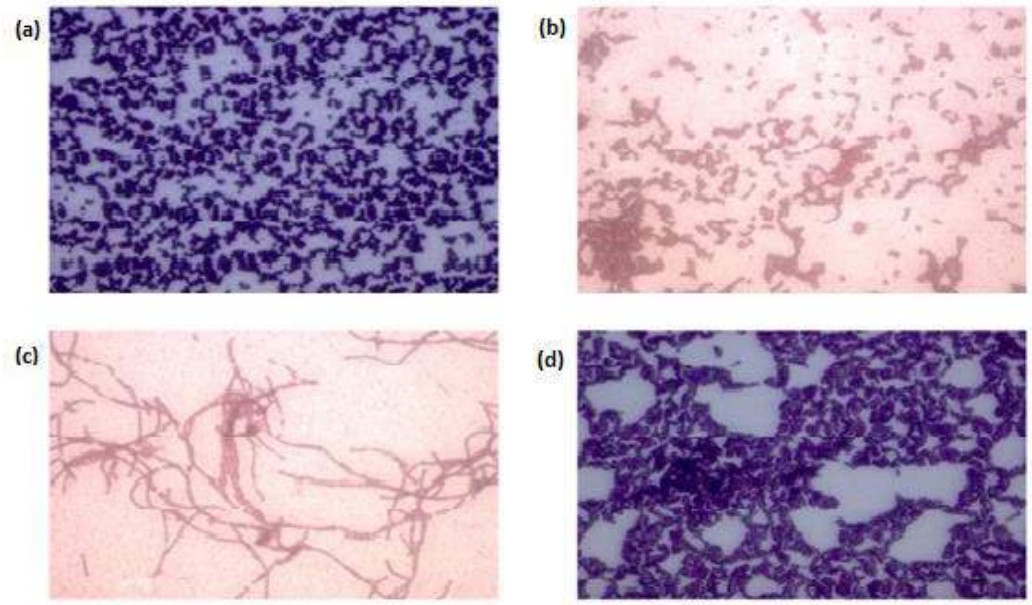


Figure 1. Gram staining of isolates for morphological identification. (**a**,**d**) Purple-colored Gram-positive bacterial isolates; (**b**,**c**) pink-colored Gram-negative bacterial isolates.

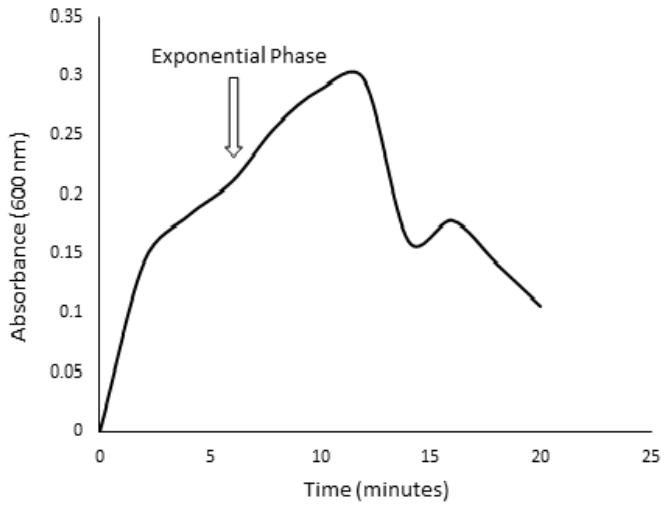


Figure 2. Growth Curve of a typical bacterial isolate from the experiment, showing the exponential phase, which was used to derive the data sets and growth rates.

The results obtained were fitted; a positive fit was likely an indication of bacterial growth, whereas a negative fit was an indication of non-bacterial growth. From the correlation equation, the growth rate was derived, and then, the doubling time (TD), which refers to the time it takes for the bacterial population to double during the exponential phase, was also derived. Only the isolates that showed a positive growth rate were taken into consideration, and their doubling time was also determined. The slope of the line (I) was used in determining the isolates' growth rate, and maximum slope connotes the

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

specific growth rate, which is depicted in Figure 3. The results are summarized in Table 3. Dey et al. [53] reported that there is a decrease in the duration time as the growth rate increases.

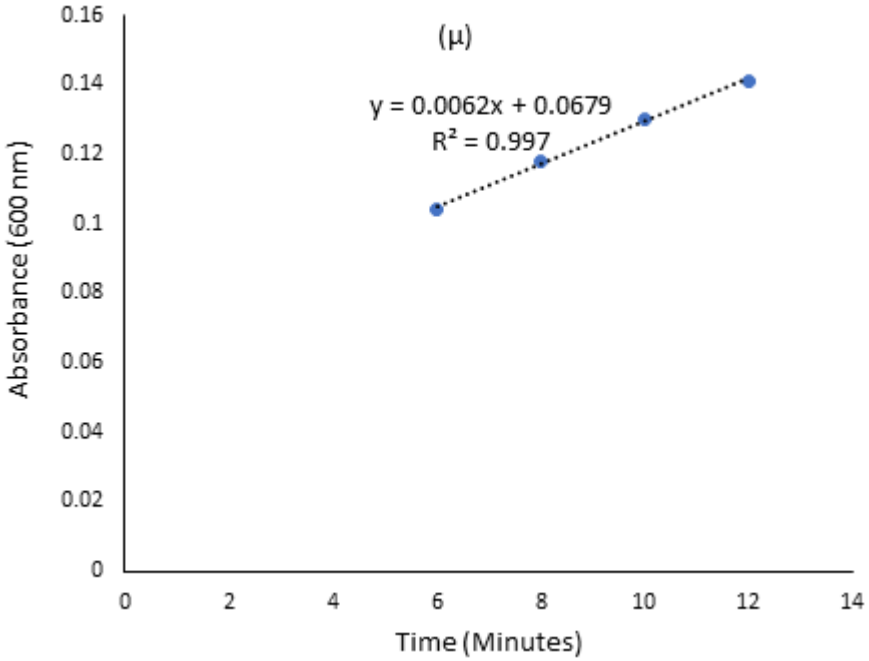


Figure 3. Slope of the growth curve showing the maximum growth rate of a typical bacterial isolate from the experiment.

Table 3. Results of kinetic studies showing growth rate and doubling time.

	Starch				Lignin		
Strain	**Growth Rate (μ)**	**Doubling Time (min)**	**R^2**	**Strain**	**Growth Rate (μ)**	**Doubling Time (min)**	**R^2**
A1	0.0041	169.0603	0.8229	A1	0.0048	144.4057	0.7293
A17	0.0039	177.73	0.6297	A17	0.0121	57.28489	0.6275
A19	0.0415	16.70234	0.6025	A19	0.0184	37.67104	0.8382
A2	0.0027	256.7212	0.7946	A2	0.0024	288.8113	0.6095
A4	0.0092	75.34208	0.9605	A4	0.0075	92.41962	0.6279
A6	0.0075	92.41962	0.6614	A6	0.0095	72.96286	0.8324
A8	0.008	86.6434	0.9046	A8	0.0099	70.01487	0.8266
AB1	0.0053	130.7825	0.9891	AB1	0.0017	407.7336	0.9928
AB11	0.0036	192.5409	0.5615	AB11	0.0046	150.6842	0.8631
AB16	0.0027	256.7212	0.6173	AB16	0.0238	29.12383	0.7028
AB18	0.0075	92.41962	0.7002	AB18	0.004	173.2868	0.4408
AB2	0.004	173.2868	0.9231	AB2	0.0053	130.7825	0.8207
AB4	0.0082	84.53014	0.8176	AB4	0.0044	157.5335	0.8001
AB7	0.013	53.31901	0.9337	AB7	0.0078	88.86502	0.5844
BC5	0.0068	101.9334	0.6162	BC5	0.0538	12.88378	0.7952
CE10	0.0047	147.4781	0.828	CE10	0.0011	630.1338	0.5326
CE11	0.0098	70.7293	0.8073	CE11	0.0015	462.0981	0.8242
CE15	0.0145	47.80325	0.839	CE15	0.0032	216.6085	0.7068
CE16	0.0062	111.7979	0.78	CE16	0.0077	90.01911	0.7832
CE2	0.0223	31.08283	0.8646	CE2	0.0064	108.3042	0.86
CE3	0.01	69.31472	0.9494	CE3	0.0052	133.2975	0.9643
CE4	0.0093	74.53195	0.7904	CE4	0.0011	630.1338	0.8701
CE5	0.0014	495.1051	0.6426	CE5	0.0042	165.035	0.972
CE6A	0.0038	182.4072	0.7998	CE6A	0.0017	407.7336	0.9966

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 3. *Cont.*

Starch				Lignin			
Strain	**Growth Rate (μ)**	**Doubling Time (min)**	**R^2**	**Strain**	**Growth Rate (μ)**	**Doubling Time (min)**	**R^2**
CE7	0.0025	277.2589	0.8929	CE7	0.0077	90.01911	0.5235
CE8	0.0062	111.7979	0.997	CE8	0.0042	165.035	0.6056
CE9	0.0108	64.18029	0.9912	CE9	0.0033	210.0446	0.6926
CEX5	0.0066	105.0223	0.7638	CEX5	0.0034	203.8668	0.8187
CF1	0.0031	223.5959	0.9907	CF1	0.0125	55.45177	0.7057
CF13	0.0076	91.20358	0.9516	CF13	0.0046	150.6842	0.9648
CF14	0.0053	130.7825	0.1813	CF14	0.0036	192.5409	0.6019
CF16	0.0026	266.5951	0.7536	CF16	0.0035	198.0421	0.9336
CF5	0.0029	239.0163	0.7325	CF5	0.0158	43.87007	0.7799
CF7A	0.0018	385.0818	0.8547	CF7A	0.0123	56.35343	0.8978
CF7B	0.0014	495.1051	0.5178	CF7B	0.0036	192.5409	0.8947
CF8	0.0032	216.6085	0.9119	CF8	0.0093	74.53195	0.8128
CFM4A	0.0043	161.197	0.9572	CFM4A	0.0037	187.3371	0.4752
CFM4B	0.0034	203.8668	0.8847	CFM4B	0.0022	315.0669	0.8039
DG1	0.004	173.2868	0.8421	DG1	0.0083	83.51171	0.6603
DG12	0.0076	91.20358	0.6823	DG12	0.003	231.0491	0.6246
DG13	0.0033	210.0446	0.9287	DG13	0.0085	81.54673	0.8483
DG15	0.0203	34.14518	0.8143	DG15	0.0051	135.9112	0.8992
DG16	0.0064	108.3042	0.6816	DG16	0.0016	433.217	0.3942
DG18	0.002	346.5736	0.9231	DG18	0.0092	75.34208	0.9148
DG20	0.0043	161.197	0.9198	DG20	0.0027	256.7212	0.8144
DG21	0.0077	90.01911	0.9434	DG21	0.0133	52.11633	0.9905
DG3	0.0006	1155.245	0.89	DG3	0.0022	315.0669	0.5738
DG5	0.0049	141.4586	0.63	DG5	0.0042	165.035	0.784
DG6	0.0115	60.27367	0.9083	DG6	0.0116	59.75407	0.8613
DGM1	0.0037	187.3371	0.7002	DGM1	0.0103	67.29584	0.8878
DH13	0.0112	61.88814	0.9173	DH13	0.0089	77.88171	0.9231
DH15	0.0051	135.9112	0.9261	DH15	0.0043	161.197	0.6154
DH18	0.0025	277.2589	0.8929	DH18	0.0078	88.86502	0.5787
DH2	0.0021	330.0701	0.9303	DH2	0.0043	161.197	0.6789
DH23	0.0103	67.29584	0.9842	DH23	0.0068	101.9334	0.7872
DH28	0.014	49.51051	0.7901	DH28	0.0032	216.6085	0.7977
DH29	0.005	138.6294	0.9328	DH29	0.0039	177.73	0.6145
DH3	0.0221	31.36413	0.8494	DH3	0.0042	165.035	0.9012
DH31	0.0533	13.00464	0.9603	DH31	0.0058	119.5081	0.9878
DH8	0.0068	101.9334	0.8647	DH8	0.0057	121.6048	0.8454
DH9	0.0046	150.6842	0.7145	DH9	0.0058	119.5081	0.8814

In total, 61 of 124 isolates showed a positive fit and indicated the growth of bacteria. DG6 had a maximum growth rate with both lignin and starch and a doubling time of 60 min, with R^2 values of 0.9083 and 0.8613. A8 showed a high growth rate in both media with R^2 values of 0.8266 and 0.9046 in lignin and starch, respectively, whereas DH13 reflected high R^2 values of 0.9231 and 0.9173. There were some isolates that showed better growth rates in one medium than in the another. For instance, CE11 and CE3 had doubling times of 70 and 69 min in starch but 133 and 462 min in lignin, respectively. The doubling time for BC5 was 13 min in lignin and 102 min in starch media.

From the isolates that were studied for their ability to grow in both substrates, a total of eleven isolates were chosen for further studies, as they had strong growth rates and doubling times in both media. Sites A and D had five and four isolates, respectively, while site C did not have any isolates and site B had only two isolates. These results are in agreement with a metagenomic study of this landfill site that showed that site D was the most diverse in terms of identified bacteria [54]. These isolates were chosen for further assay studies and molecular characterization.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

3.3. Enzyme Assays

The hydrolytic abilities of the bacterial isolates are given in Table 4. The result of the qualitative test on proteolytic bacteria in skim milk medium showed that out of the 11 bacteria isolates, 5 bacteria showed clear zones and 6 did not. In total, five isolates, i.e., A19, A6, AB7, DG6 and DH13, were positive for proteolytic activity. In the test for amylase-positive and -negative species, (++) was used to connote a strong positive reaction for starch hydrolysis, (+) for a positive reaction for starch hydrolysis, and (−) for a negative reaction for amylase hydrolysis.

Table 4. Results of hydrolytic assays of bacterial isolates.

Isolate	Amylase	Cellulase	Xylanase	Protease
A3	++	+	+	+
A4	+	−	−	−
A6	+	−	−	+
A8	+	−	−	−
DH31	++	+++	+++	−
AB7	+	+	+	+
BC5	+	+	+	−
DG6	+	++	++	+
DG21	+++	−	−	−
BD25	−	+++	+++	−
DH13	+	+++	+++	+

BD25 is the only isolate that had a negative reaction; DH13, DG6, BC5, AB7, A4, A6 and A8 all had positive reactions, while A19, DH31 and DG21 had strong positive reactions, with the maximum reaction occurring in DG21. In terms of cellulase and xylanase activity, seven showed positive reactions and four showed no reaction at all. Bacterial isolates such as A19, AB7, BC5 and DG5 showed the lowest reactions, DG6 had a slightly higher reaction compared to these four, but DH31, BD25 and DH13 showed highest reactions. The results were the same for both cellulase and xylanase.

The cellulase enzyme activities for the four selected isolates, DH13, DG6, AB7 and A19, were 0.876, 0.931, 1.345 and 1.768, respectively. Based on the results, A19 showed the highest activity, while DH13 showed the lowest. These results are similar to a study conducted by Guder and Krishna [55] in 2019, where cellulase enzymes ranged from 0.119 to 1.6. The authors also concluded that cellulase activity is dependent on the bacterial species.

3.4. Molecular Characterization and Phylogenetic Analysis

Phylogenetic analysis was performed using the results obtained from the 16S rDNA sequencing to allow for the proper identification of promising bacteria due to their enzymatic abilities, as described in this study. The analysis was performed in this way so that the bacteria could be matched to those already existing in the Genbank and to allow them to be maximally identified.

The results show that *Bacillus* strains were the most promising strains identified in this study, and the phylogenetic trees are reflected in Figure 4 and Table 5. *Bacillus* has been identified as an organism capable of withstanding environmental stress and has the simplest nutritional requirements for growth. It is thermophilic in nature and is known to produce hydrolytic enzymes such as α-amylase and protease [56]. The strains identified in the present study include *Bacillus proteolyticus*, *Bacillus Sanguinis*, *Bacillus spizizenii Bacillus paramycoides*, *Bacillus paranthracis and Neobacillus fumarioli.*

Neobacillus fumarioli, formerly *Bacillus fumarioli*, is a thermophilic and aerobic endospore-forming bacteria [57]. *Bacillus paranthracis and Bacillus paramycoides* exhibit bactericidal properties and are used in the mitigation of drought problems [58]. *Bacillus proteolyticus* produces protease and has been used in bioremediation and as a probiotic agent [59]. Three isolates, A6, BD25 and DG21, were identified as *Bacillus paramycoides*. They showed various

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

responses, with DG21 having higher expression of hydrolytic activities. Our findings that show the strongest positive reaction occurring for amylase enzymes agree with [60], where a bacterial isolate was optimized for amylase production and was identified as *B. paramycoides*.

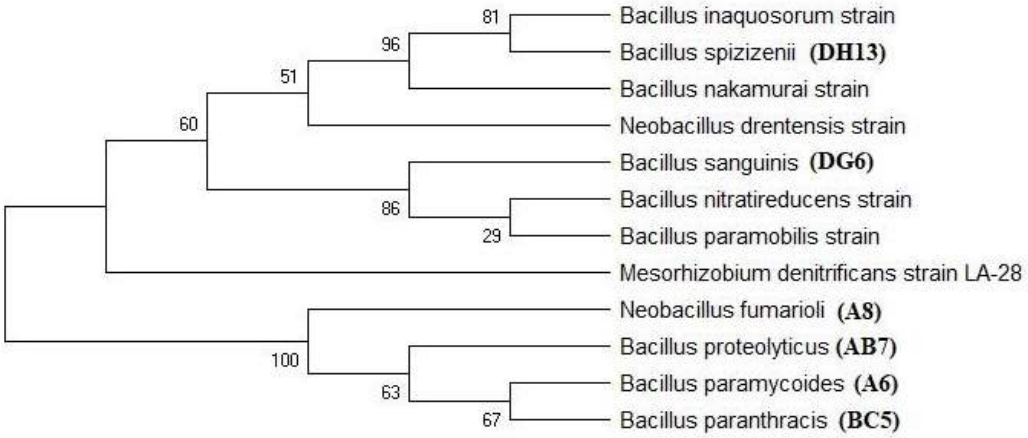


Figure 4. Phylogenetic analysis based on partial 16S rRNA sequences of the bacterial isolates and related *Bacillus* spp. The tree reconstruction was generated using the Neighbor-Joining method.

Table 5. Culture-based and molecular identification of *Bacillus* strains using 16S rRNA gene sequences obtained from waste samples.

Sample ID	Coverage	Similarity	BP	Accession	Matched Bacteria from NCBI
A6	98	99.91	1160	OQ288926	*Bacillus paramycoides*
DG6	96	98.81	2322	OQ288927	*Bacillus Sanguinis*
A8	91	97.11	1270	OQ288921	*Neobacillus fumarioli*
DG21	92	99.75	1315	OQ288922	*Bacillus paramycoides*
DH13	97	98.96	1277	OQ288871	*Bacillus spizizenii*
AB7	97	98.78	1185	OQ288869	*Bacillus proteolyticus*
BC5	95	98.92	1260	OQ288870	*Bacillus paranthracis*

Bacillus species are known to form endospores, which means they are able to endure extreme conditions in their environment. *Acinetobacter*, *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Desulfuromonas*, *Prevotella*, *Flavobacterium cytophaga*, *Staphylococcus* and *Streptococcus* were reported to be present at a municipal waste landfill site in Poland.

Bacillus species showed an ability for soil decontamination and possible use as an eco-friendly bio-fertilizer to increase crop productivity [61]. *Bacillus species* also produce various metabolites that range from hydrolytic enzymes to bio-pesticides and antibiotics [62]. This ability of *Bacillus* species to secrete extracellular proteins makes them desirable for use in food and drug production [63]. To the best of our knowledge, no studies have reported the presence of *Bacillus spizizenii* or *Neobacillus fumarioli* in landfill or their lignocellulolytic potential. However, other Bacillus strains have been reported to have cellulolytic abilities [26,32].

4. Conclusions

In the present study, we screened and isolated bacteria with enzymatic abilities from sediments. The seven most promising isolates were *Bacillus* species that were grown in both lignin and starch. The results showed that landfill bacteria, such as *Bacillus proteolyticus*, *Bacillus Sanguinis*, *Bacillus spizizenii*, *Bacillus paramycoides*, *Bacillus paranthracis and Neobacillus fumarioli*, were capable of multi-enzymatic activity, as confirmed by 16S rRNA sequencing. The screening of ligninolytic and hydrolytic bacteria may be a key to overcoming challenges in the adoption of lignocellulose as a raw material for bioprocesses. These

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

bacteria are capable of inducing responses from multiple lignocellulolytic enzymes, and further investigations are needed to determine how they can be adopted in bio-refinery.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: https://www.mdpi.com/article/10.3390/fermentation9030298/s1, Table S1:title; Bacterial isolates showing results of Gram staining, appearance and growth in lignin and starch media.

Author Contributions: O.B.C.: conceptualization, methodology, formal analysis, writing—original draft preparation, M.R.: conceptualization, supervision, writing—review and editing, funding acquisition. R.T.K.: writing—review and editing H.A.T.: supervision, writing—review and editing, N.I.: supervision, writing—review and editing M.R.S.: supervision, writing—review and editing, funding acquisition; M.A.: writing—review and editing. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: The authors are grateful for funding provided by the Researchers Supporting Project Number (RSP2023R326), King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Acknowledgments: The authors would like to express their appreciation to the Malaysian Ministry of Higher Education for the Fundamental Research Grant Scheme (Project Code: FRGS/1/2019/STG07/USM/02/12). The authors are grateful to the Researchers Supporting Project Number (RSP2023R326), King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Bhat, R.A.; Singh, D.V.; Qadri, H.; Dar, G.H.; Dervash, M.A.; Bhat, S.A.; Unal, B.T.; Ozturk, M.; Hakeem, K.R.; Yousaf, B. Vulnerability of municipal solid waste: An emerging threat to aquatic ecosystems. *Chemosphere* **2022**, *287*, 132223. [CrossRef]
2. Salazar-Adams, A. The efficiency of municipal solid waste collection in Mexico. *Waste Manag.* **2021**, *133*, 71–79. [CrossRef] [PubMed]
3. Gautam, M.; Agrawal, M. Greenhouse Gas Emissions from Municipal Solid Waste Management: A Review of Global Scenario. In *Carbon Footprint Case Studies*; Springer: Singapore, 2021; pp. 123–160.
4. Hameed, M.; Bhat, R.A.; Pandit, B.A.; Ramzan, S.; Dijoo, Z.K.; Wani, M.A. Qualitative assessment of compost engendered from municipal solid waste and green waste by indexing method. *J. Air Waste Manage. Assoc.* **2022**, *72*, 210–219. [CrossRef]
5. Luo, H.; Zeng, Y.; Cheng, Y.; He, D.; Pan, X. Recent advances in municipal landfill leachate: A review focusing on its characteristics, treatment, and toxicity assessment. *Sci. Total Environ.* **2020**, *703*, 135468. [CrossRef] [PubMed]
6. Antony, J.; Niveditha, S.V.; Gandhimathi, R.; Ramesh, S.T.; Nidheesh, P.V. Stabilized landfill leachate treatment by zero valent aluminium-acid system combined with hydrogen peroxide and persulfate based advanced oxidation process. *Waste Manag.* **2020**, *106*, 1–11. [CrossRef]
7. Tulebayeva, N.; Yergobek, D.; Pestunova, G.; Mottaeva, A.; Sapakova, Z. Green economy: Waste management and recycling methods. *E3S Web Conf.* **2020**, *159*, 01012. [CrossRef]
8. Yu, X.; Sui, Q.; Lyu, S.; Zhao, W.; Liu, J.; Cai, Z.; Yu, G.; Barcelo, D. Municipal solid waste landfills: An underestimated source of pharmaceutical and personal care products in the water environment. *Environ. Sci. Technol.* **2020**, *54*, 9757–9768. [CrossRef] [PubMed]
9. Gu, Z.; Feng, K.; Li, Y.; Li, Q. Microbial characteristics of the leachate contaminated soil of an informal landfill site. *Chemosphere* **2022**, *287*, 132155. [CrossRef] [PubMed]
10. Wei, J.; Liang, G.; Alex, J.; Zhang, T.; Ma, C. Research progress of energy utilization of agricultural waste in China: Bibliometric analysis by citespace. *Sustainability* **2020**, *12*, 812. [CrossRef]
11. De La Peña, L.; Guo, R.; Cao, X.; Ni, X.; Zhang, W. Accelerating the energy transition to achieve carbon neutrality. *Resour. Conserv. Recycl.* **2022**, *177*, 105957. [CrossRef]
12. Zhang, L.; Chung, J.; Jiang, Q.; Sun, R.; Zhang, J.; Zhong, Y.; Ren, N. Characteristics of rumen microorganisms involved in anaerobic degradation of cellulose at various pH values. *RSC Adv.* **2017**, *7*, 40303–40310. [CrossRef]
13. Paul, S.; Dutta, A. Challenges and opportunities of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion. *Resour. Conserv. Recycl.* **2018**, *130*, 164–174. [CrossRef]
14. De la Cruz, F.B.; Chanton, J.P.; Barlaz, M.A. Measurement of carbon storage in landfills from the biogenic carbon content of excavated waste samples. *Waste Manag.* **2013**, *33*, 2001–2005. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

15. Bendeddouche, W.; Bedrane, S.; Zitouni, A.; Bachir, R. Highly efficient catalytic one-pot biofuel production from lignocellulosic biomass derivatives. *Int. J. Energy Res.* **2021**, *45*, 2148–2159. [CrossRef]
16. Kaloudas, D.; Pavlova, N.; Penchovsky, R. Phycoremediation of wastewater by microalgae: A review. *Environ. Chem. Lett.* **2021**, *19*, 2905–2920. [CrossRef]
17. Dar, M.A.; Syed, R.; Pawar, K.D.; Dhole, N.P.; Xie, R.; Pandit, R.S.; Sun, J. Evaluation and characterization of the cellulolytic bacterium, *Bacillus pumilus* SL8 isolated from the gut of oriental leafworm Spodoptera litura: An assessment of its potential value for lignocellulose bioconversion. *Environ. Technol. Innov.* **2022**, *27*, 102459. [CrossRef]
18. Vasco-Correa, J.; Ge, X.; Li, Y. Biological pretreatment of lignocellulosic biomass. In *Biomass Fractionation Technologies for a Lignocellulosic Feedstock Based Biorefinery*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016; pp. 561–585.
19. Poszytek, K.; Ciężkowska, M.; Skłodowska, A.; Drewniak, Ł. Microbial consortium with high cellulolytic activity (mchca) for enhanced biogas production. *Front. Microbiol.* **2016**, *7*, 324. [CrossRef]
20. Ferdeș, M.; Dincă, M.N.; Moiceanu, G.; Zăbavă, B. Ștefania; Paraschiv, G. Microorganisms and enzymes used in the biological pretreatment of the substrate to enhance biogas production: A review. *Sustainability* **2020**, *12*, 7205. [CrossRef]
21. Güllert, S.; Fischer, M.A.; Turaev, D.; Noebauer, B.; Ilmberger, N.; Wemheuer, B.; Alawi, M.; Rattei, T.; Daniel, R.; Schmitz, R.A.; et al. Deep metagenome and metatranscriptome analyses of microbial communities affiliated with an industrial biogas fermenter, a cow rumen, and elephant feces reveal major differences in carbohydrate hydrolysis strategies. *Biotechnol. Biofuels.* **2016**, *9*, 121. [CrossRef] [PubMed]
22. Ransom-Jones, E.; McCarthy, A.J.; Haldenby, S.; Doonan, J.; McDonald, J.E. Lignocellulose-degrading microbial communities in landfill sites represent a repository of unexplored biomass-degrading diversity. *mSphere* **2017**, *2*, e00300-17. [CrossRef]
23. Al-Yaqout, A.; Hamoda, M.F. Long-term temporal variations in characteristics of leachates from a closed landfill in an arid region. *Water Air Soil Pollut.* **2020**, *231*, 319. [CrossRef]
24. Kundu, A.; Majumdar, B. Optimization of the cellulase free xylanase production by immobilized *Bacillus pumilus*. *Iran. J. Biotechnol.* **2018**, *16*, 273–278. [CrossRef]
25. Ezeilo, C.A.; Okonkwo, S.I.; Onuora, C.C.; Linu-Chibuezeh, A.; Ugwunnadi, N.E. Determination of heavy metals in some fruits and vegetables from selected market's in Anambra state. *ACTA Sci. Nutr. Heal.* **2020**, *4*, 163–171.
26. Malik, W.A.; Javed, S. Biochemical characterization of cellulase from *Bacillus subtilis* strain and its effect on digestibility and structural modifications of lignocellulose rich biomass. *Front. Bioeng. Biotechnol.* **2021**, *9*, 800265. [CrossRef] [PubMed]
27. Ma, L.; Wang, X.; Zhou, J.; Lü, X. Degradation of switchgrass by *Bacillus subtilis* 1AJ3 and expression of a beta-glycoside hydrolase. *Front. Microbiol.* **2022**, *13*, 922371. [CrossRef]
28. Shajahan, S.; Moorthy, I.G.; Sivakumar, N.; Selvakumar, G. Statistical modeling and optimization of cellulase production by *Bacillus licheniformis* NCIM 5556 isolated from the hot spring, Maharashtra, India. *J. King Saud Univ. Sci.* **2017**, *29*, 302–310. [CrossRef]
29. Islam, M.; Sarkar, P.K.; Mohiuddin, A.K.M.; Suzauddula, M. Optimization of fermentation condition for cellulase enzyme production from *Bacillus* sp. *Malays. J. Halal Res.* **2019**, *2*, 19–24. [CrossRef]
30. Aulitto, M.; Fusco, S.; Bartolucci, S.; Franzén, C.J.; Contursi, P. *Bacillus coagulans* MA-13: A promising thermophilic and cellulolytic strain for the production of lactic acid from lignocellulosic hydrolysate. *Biotechnol. Biofuels* **2017**, *10*, 210. [CrossRef]
31. Balla, A.; Silini, A.; Cherif-Silini, H.; Bouket, A.C.; Boudechicha, A.; Luptakova, L.; Alenezi, F.N.; Belbahri, L. Screening of cellulolytic bacteria from various ecosystems and their cellulases production under multi-stress conditions. *Catalysts* **2022**, *12*, 769. [CrossRef]
32. Bhagat, S.A.; Kokitkar, S.S. Isolation and identification of bacteria with cellulose-degrading potential from soil and optimization of cellulase production. *J. Appl. Biol. Biotechnol.* **2021**, *9*, 154–161. [CrossRef]
33. Liang, Y.-L.; Zhang, Z.; Wu, M.; Wu, Y.; Feng, J.-X. Isolation, screening, and identification of cellulolytic bacteria from natural reserves in the subtropical region of china and optimization of cellulase production by *Paenibacillus terrae* ME27-1. *Biomed Res. Int.* **2014**, *2014*, 512497. [CrossRef] [PubMed]
34. Yang, S.; Li, L.; Peng, X.; Zhang, R.; Song, L. Methanogen community dynamics and methanogenic function response to solid waste decomposition. *Front. Microbiol.* **2021**, *12*, 743847. [CrossRef] [PubMed]
35. Yong, Z.J.; Bashir, M.J.K.; Ng, C.A.; Sethupathi, S.; Lim, J.W.; Show, P.L. Sustainable waste-to-energy development in Malaysia: Appraisal of environmental, financial, and public issues related with energy recovery from municipal solid waste. *Processes* **2019**, *7*, 676. [CrossRef]
36. Forster, J.C. Soil Sampling, Handling, Storage and Analysis. In *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 1995; pp. 49–121.
37. Radojević, M.; Bashki, V. Soil, Sediment, Sludge and Dust analysis. In *Practical Environmental Analysis*; Radojevic, M., Bashkin, V.N., Eds.; Royal Society of Chemistry: Cambridge, UK, 1999; pp. 274–377. ISBN 978-0-85404-594-5.
38. Reynolds, J. *Serial Dilution Protocols*; American Society for Microbiology: Washington, DC, USA, 2005; pp. 1–7.
39. Bergey, D.H.; Holt, J.G. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 9th ed.; Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, PA, USA, 2000.
40. Smith, A.C.; Hussey, M.A. *Gram Stain Protocols*; American Society for Microbiology: Washington, DC, USA, 2016; pp. 1–9.
41. Dalgaard, P.; Ross, T.; Kamperman, L.; Neumeyer, K.; McMeekin, T.A. Estimation of bacterial growth rates from turbidimetric and viable count data. *Int. J. Food Microbiol.* **1994**, *23*, 391–404. [CrossRef] [PubMed]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

42. Muloiwa, M.; Nyende-Byakika, S.; Dinka, M. Comparison of unstructured kinetic bacterial growth models. *S. Afr. J. Chem. Eng.* **2020**, *33*, 141–150. [CrossRef]
43. Breidt, F.; Romick, T.L.; Fleming, H.P. A rapid method for the determination of bacterial growth kinetics. *J. Rapid Methods Autom. Microbiol.* **1994**, *3*, 59–68. [CrossRef]
44. Lal, A.; Cheeptham, N. *ASM ATLAS Protocol: Starch Agar*; American Society for Microbiology: Washington, DC, USA, 2012; p. 11.
45. Masi, C.; Gemechu, G.; Tafesse, M. Isolation, screening, characterization, and identification of alkaline protease-producing bacteria from leather industry effluent. *Ann. Microbiol.* **2021**, *71*, 24. [CrossRef]
46. Miller, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.* **1959**, *31*, 426–428. [CrossRef]
47. Yi, S.; Tay, J.-H.; Maszenan, A.M.; Tay, S.T.-L. A culture-independent approach for studying microbial diversity in aerobic granules. *Water Sci. Technol.* **2003**, *47*, 283–290. [CrossRef]
48. Farhana Zakaria, S.N.; Abdul Aziz, H. Characteristic of leachate at Alor Pongsu Landfill Site, Perak, Malaysia: A comparative study. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2018**, *140*, 012013. [CrossRef]
49. Ma, J.; Wu, S.; Shekhar, N.V.R.; Biswas, S.; Sahu, A.K. Determination of physicochemical parameters and levels of heavy metals in food wastewater with environmental effects. *Bioinorg. Chem. Appl.* **2020**, *2020*, 8886093. [CrossRef]
50. Saha, C.K.; Ammon, C.; Berg, W.; Loebsin, C.; Fiedler, M.; Brunsch, R.; von Bobrutzki, K. The effect of external wind speed and direction on sampling point concentrations, air change rate and emissions from a naturally ventilated dairy building. *Biosyst. Eng.* **2013**, *114*, 267–278. [CrossRef]
51. Zhai, Y.; Li, X.; Wang, T.; Wang, B.; Li, C.; Zeng, G. A review on airborne microorganisms in particulate matters: Composition, characteristics and influence factors. *Environ. Int.* **2018**, *113*, 74–90. [CrossRef]
52. Delignette-Muller, M.L. Relation between the generation time and the lag time of bacterial growth kinetics. *Int. J. Food Microbiol.* **1998**, *43*, 97–104. [CrossRef] [PubMed]
53. Dey, A.; Bokka, V.; Sen, S. Dependence of bacterial growth rate on dynamic temperature changes. *IET Syst. Biol.* **2020**, *14*, 68–74. [CrossRef] [PubMed]
54. Chukwuma, O.B.; Rafatullah, M.; Tajarudin, H.A.; Ismail, N. Bacterial diversity and community structure of a municipal solid waste landfill: A source of lignocellulolytic potential. *Life* **2021**, *11*, 493. [CrossRef]
55. Guder, D.G.; Krishna, M.S.R. Isolation and characterization of potential cellulose degrading bacteria from sheep rumen. *J. Pure Appl. Microbiol.* **2019**, *13*, 1831–1839. [CrossRef]
56. Alrumman, S.; Mostafa, Y.S.M.; Al-Qahtani, S.; Taha, T.H.T. Hydrolytic enzyme production by thermophilic bacteria isolated from Saudi hot springs. *Open Life Sci.* **2018**, *13*, 470–480. [CrossRef]
57. Logan, N.A.; Lebbe, L.; Hoste, B.; Goris, J.; Forsyth, G.; Heyndrickx, M.; Murray, B.L.; Syme, N.; Wynn-Williams, D.D.; De Vos, P. Aerobic endospore-forming bacteria from geothermal environments in northern Victoria Land, Antarctica, and Candlemas Island, South Sandwich archipelago, with the proposal of *Bacillus fumarioli* sp. nov. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **2000**, *50*, 1741–1753. [CrossRef] [PubMed]
58. Yadav, V.K.; Yadav, R.C.; Choudhary, P.; Sharma, S.K.; Bhagat, N. Mitigation of drought stress in wheat (Triticum aestivum L.) by inoculation of drought tolerant *Bacillus paramycoides* DT-85 and *Bacillus paranthracis* DT-97. *J. Appl. Biol. Biotechnol.* **2022**, *10*, 59–69. [CrossRef]
59. Bhaskar, N.; Sudeepa, E.; Rashmi, H.; Tamilselvi, A. Partial purification and characterization of protease of *Bacillus proteolyticus* CFR3001 isolated from fish processing waste and its antibacterial activities. *Bioresour. Technol.* **2007**, *98*, 2758–2764. [CrossRef]
60. Hallol, M.; Helmy, O.; Shawky, A.-E.; El-Batal, A.; Ramadan, M. Optimization of alpha-amylase production by a local *Bacillus paramycoides* isolate and immobilization on chitosan-loaded barium ferrite nanoparticles. *Fermentation* **2022**, *8*, 241. [CrossRef]
61. Omeiri, M.; Khnayzer, R.; Yusef, H.; Tokajian, S.; Salloum, T.; Mokh, S. *Bacillus* spp. isolated from soil in Lebanon can simultaneously degrade methomyl in contaminated soils and enhance plant growth. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* **2022**, *39*, 102280. [CrossRef]
62. Akpor, O.B.; Akinwusi, O.D.; Ogunnusi, T.A. Production, characterization and pesticidal potential of *Bacillus* species metabolites against sugar ant (*Camponotus consobrinus*). *Heliyon* **2021**, *7*, e08447. [CrossRef] [PubMed]
63. Thomas, N.N.; Archana, V.; Shibina, S.; Edwin, B.T. Isolation and characterization of a protease from *Bacillus* sps. *Mater. Today Proc.* **2021**, *41*, 685–691. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Medical and dental applications of renewable energy systems

Yashar Haghighi Bardineh[1], Fatemeh Mohamadian[2], Mohammad Hossein Ahmadi[3]* and Nazila Akbarianrad[2]

[1]*Department of Biomedical Engineering, Tehran Medical Branch, Islamic Azad University, Terhan 19395/1495, Iran;* [2]*Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran 19839-63113, Iran;* [3]*Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood 3619995161, Iran*

Abstract

Due to environmental problems related to using fossil fuels and limitations in the sources of these types of fuels, renewable energies have sharply developed in recent decades. Renewable energy systems are applicable in various fields to provide clean energy. In the current study, medical and dental applications of renewable energies are reviewed. Based on the literature review, technologies based on renewable energy sources can be utilized in medical buildings and instruments. For instance, solar-based technologies can be applied in heating and cooling of hospitals and other healthcare facilities. In addition, the thermal energy of the sun is applicable in autoclaves and medical dryers. Although utilizing renewable energy systems for these applications requires more investment cost and probably more complicated structures, it would result in lower carbon dioxide emission which leads to sustainable development.

*Corresponding author: mhosein.ahmadi@shahroodut.ac.ir, mohammadhosein.ahmadi@gmail.com

Keywords: renewable energy; medical; solar energy

Received 31 May 2018; revised 6 July 2018; editorial decision 27 July 2018; accepted 31 July 2018

1 INTRODUCTION

Fossil fuels are the main source of energy for various technologies utilized for different applications [1, 2]. The main issues related to fossil fuels is the possibility of their depletion in near future and their unfavorable environmental impacts [3, 4]. Due to development in industrial activities and growth in world population, greenhouse gases emission have increased in recent years. Figure 1 shows the amount of world CO_2 emission between 1990 and 2016. In order to overcome these problems, renewable energy sources are appropriate alternatives for fossil fuels. In addition to developing renewable energies, enhancing the efficiency of energy systems by optimizing their working conditions, hybridization and waste heat recovery are other approaches to reduce greenhouse gas emissions [5–7]. The majority of the studies related to decreasing carbon dioxide emission of energy technologies, have focused on evolving renewable energies and optimizing the energy systems [8–10].

Renewable energies have been growing in recent decades due to their advantages such as lower greenhouse gases emissions compared with fossil fuels. Based on International Renewable Energy Agency report, by the end of 2017 the global capacity of renewable energy generation reached 2179 GW all over the world [12]. The trend of renewable energy capacity of the world in recent years is shown in Figure 2.

There are various renewable energy sources including solar, geothermal and wind [14–16]. These sources of energy can be applied to generate electricity or be used for other purposes such as heating systems and desalination units [17–19]. Photovoltaic (PV) modules directly convert the energy of solar irradiation into electricity [20]. Moreover, thermal energy of the sun can be applied to run thermal power plants and produce electricity indirectly. Integrating thermal power plants with solar energy will improve their efficiency and reduce greenhouse gas emission. In addition to electricity generation, solar energy can be used for other applications. Based on a study conducted by Compain [21], the thermal energy of

International Journal of Low-Carbon Technologies 2018, 13, 320–326
© The Author(s) 2018. Published by Oxford University Press.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which permits non-commercial re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. For commercial re-use, please contact journals.permissions@oup.com
doi:10.1093/ijlct/cty040 Advance Access Publication 18 August 2018

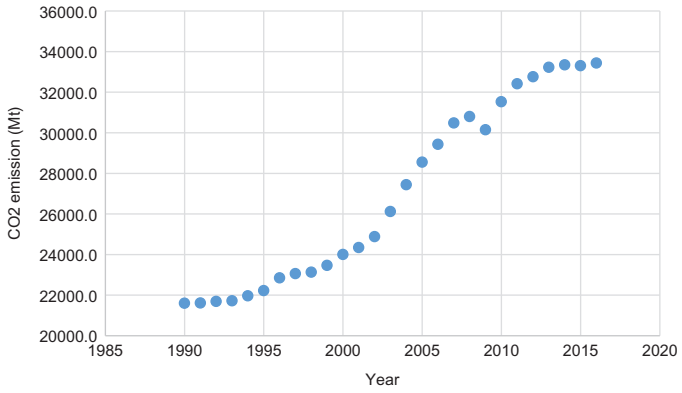


Figure 1. *CO_2 emission of the world [11].*

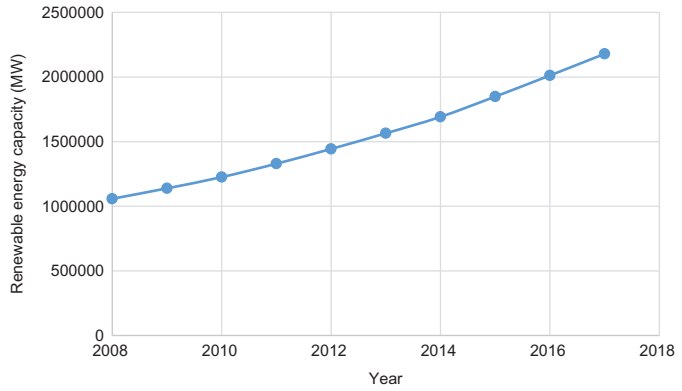


Figure 2. *World renewable energy capacity [13].*

various desalination systems can be provided by solar energy [21]. Other types of renewable energy source can be used for electricity generation both directly and indirectly. For instance, wind turbines are utilized to convert wind kinetic energy into electricity by using a generator. The heat extracted from geothermal sources can be used in power plants and heating purposes such as ground-source heat pumps [22]. Hydropower energy is another kind of renewable energy which convert energy of falling water into electricity.

Several industries and sectors use renewable energy technologies to become more environmentally-friendly [23, 24]. In the current study, various applications of renewable energy in medical and dental aspects are reviewed. A comprehensive literature review is performed and their key results are represented here.

2 RENEWABLE ENERGIES IN HOSPITAL AND CLINICS

Studies have shown that the share of hospitals in energy consumption of building sector is ~6% [25]. Hospitals and clinics have several facilities to provide required energy for heating, cooling and hot water preparation and etc [26, 27]. Figure 3 shows energy balance in hospital. Reduction in energy consumption of hospitals gained importance to achieve green hospitals [28]. Various solutions including regular maintenance of filters utilized in Heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems, using isolating materials, applying aquifer systems and improving air conditioning systems are represented to reduce energy consumption in hospitals [25, 29, 30].

Proper energy management in healthcare centers can lead to energy saving up to 8.660 kWh/m^2 per year for buildings which are <5000 m^2 (without bed) [32]. This value decrease to 6.88 kWh/m^2 per year for the buildings larger than 5000 m^2 which have beds [32]. In addition to mentioned solutions, using appropriate technologies can significantly decrease energy and enhance the performance of air conditioning system [25, 33–37]. For instance, Renedo *et al.* [26] investigated various cogeneration systems working with gas turbine and diesel engine. It was observed that the size of systems and utilized control system have significant impact on the economic aspect. Since the electricity generation plays key role in the system economy, it was concluded that diesel engine is preferred. In another study [38], heat pipe heat exchanger was utilized in air condition system of a hospital located in Malaysia. The schematic of the existing and proposed air conditioning systems are represented in Figures 4 and 5. It was concluded that using heat pipe heat exchanger resulted in enhancement in the performance of the air conditioning system. In addition, results indicated that applying these types of heat exchanger can lead to save a total energy of 455 MWh in the scale of the case study.

Renewable energy sources can be used in energy supply systems of healthcare centers to obtain cleaner and more appropriate systems in term of economy [39, 40]. In a study conducted by Tsoutsos *et al.* [41], utilizing solar absorption cooling technology in a Greek hospital was investigated. The most important aim of the study was designing a zero-emission system in order to decrease both cost and carbon dioxide emission. In the first step of the study, meteorological data were collected which contained solar irradiation, wind speed, relative humidity, etc. Afterwards, the highest, mean and lowest required cooling and heating load of the building were obtained to design the technical specifications of the system. Subsequently, the solar cooling technology was selected, which was solar air conditioning (SAC), depending on building parameters including geometry, material utilized in construction, etc. Afterwards, the study focused on the sizing of the system. In the next step, a study was conducted on changing technical specifications in order to achieve optimal solution. Finally, the optimal solution was evaluated economically. Four scenarios were investigated in the study. Based on a scenario (which had solar fraction for cooling and heating equal to 74.23% and 70.78%, respectively), the utilized SAC system had 70 kW absorption chiller. In the conditions, the chiller was not able to provide needed cooling load, 50 kW compression chiller was applied in addition to the absorption chiller. It was concluded that the suggested system

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

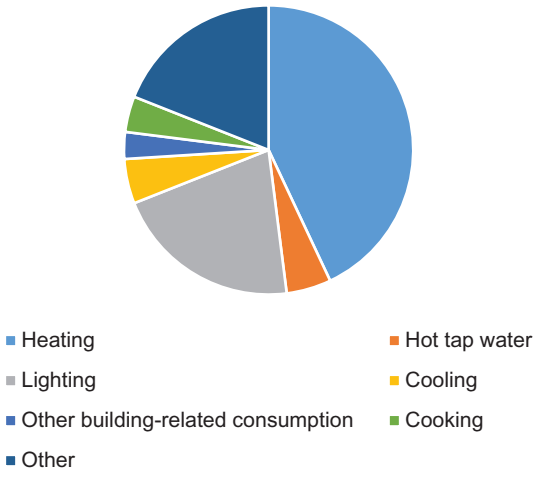


Figure 3. *Energy balance in hospitals [31].*

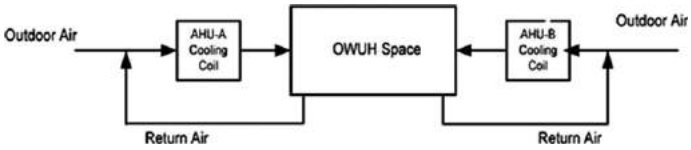


Figure 4. *Schematic of existing air conditioning system [38] (with permission from Elsevier).*

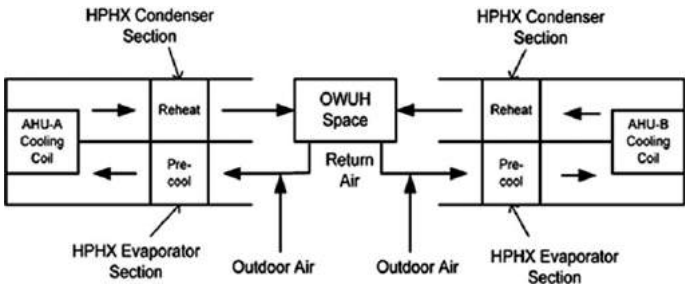


Figure 5. *Schematic of air conditioning system with heat pipe heat exchanger [38] (with permission from Elsevier).*

had environmental gain due to lower carbon dioxide emission. In addition, based on the performed economic analysis on this scenario, payback time was 11.5 years without funding subsidies; however, payback time can be reduced to 6.9 years by allocating the funding of 40% [41]. Utilizing ground-source heat pumps is another idea to reduce carbon dioxide emission in air conditioning systems [22]. In a study conducted by Vanhoudt *et al.* [42], an aquifer thermal energy storage with ground-source heat pump was applied for cooling and heating ventilation air of a Belgian hospital. The performance of this system was compared with reference facility which worked with gas-fired boilers. The flow of ground water and temperature were monitored in the proposed model. Results indicated that using the system which contained ground-source heat pump resulted in 71% lower energy consumption in comparison with the reference system. In addition, it was observed that carbon dioxide emission was reduced by 1280 ton over the investigated period (3 years). Based on economic analysis, the payback period for the proposed system was 8.4 years in the case of excluding the subsidies.

Isa *et al.* [43] performed a techno-economic evaluation of combined heat and power PV/fuel cell/battery energy system utilized in a hospital. The cogeneration system had grid-connected PV, battery, fuel cell, convertor, diesel generator and reformer. The diesel generator was utilized as back-up power module. The reformer was applied to generate hydrogen by reforming the hydrocarbons. Five configurations were investigated in the study. The configurations were stand-alone diesel generator, grid-connected PV system, grid-connected PV/battery, grid-connected PV/ fuel cell and grid-connected PV/ fuel cell/battery. Based on the analysis, the stand-alone diesel generator system produced the maximum carbon dioxide which was equal to 96 712 kg/year; while the grid-connected PV/fuel cell had the lowest emission equal to 20 402 kg/year. Based on economic analysis, the grid-connected PV/fuel cell and battery, had the minimum levelized cost of energy among the investigated systems [43]. A summary about the pollutant gas emission from the investigated configurations are represented in Table 1.

Sigarchian *et al.* [44] assessed a complex polygeneration system in a hospital and compared its performance with a reference system. The configurations of both systems are shown in Figure 6. The polygeneration systems utilized solar thermal energy, solar PV module and utility grid. Results indicated that using the polygeneration systems was able to reduce carbon dioxide emission and fuel consumption by 10–29% and 14–32%, respectively.

In addition to air condition systems, renewable energies are applicable for other purposes in healthcare centers. For instance, Bujak [45] carried out a study on heat consumption required for hot water in hospitals. The considered hospitals in the study were 715-bed university hospital which was located in Bydgoszcz and a 690-bed Provincial hospital. Results indicated that the mean annual consumed heat for the first and second mentioned hospitals were equal to 8.5 (Gj/year.bed) and 9.6 (Gj/year.bed), respectively. These required values for providing hot water shows that utilizing solar water heating systems can be a feasible idea based on economic and environmental criteria.

3 MEDICAL INSTRUMENTS

There are several medical instruments which requires electrical or thermal energy [46]. Autoclave is a pressure chamber contains fluid with high temperature and pressure [47]. Medical

Downloaded from https://academic.oup.com/ijlct/article/13/4/320/5230200 by guest on 24 March 2020

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Table 1. *Pollutant gas emission from the investigated configurations [43] (with permission from Elsevier).*

Configuration	kg/year					
	CO_2	CO	Unburned hydrocarbon	Particulate matter	SO_x	NO_x
Stand-alone diesel system	96 712	239	26.4	18	194	2130
Grid-connected PV system	55 154				239	117
Grid-connected PV/battery system	55 163				239	117
Grid-connected PV/FC system	20 402				88.5	43.3
Grid-connected PV/FC/battery system	25 708				111	54.5

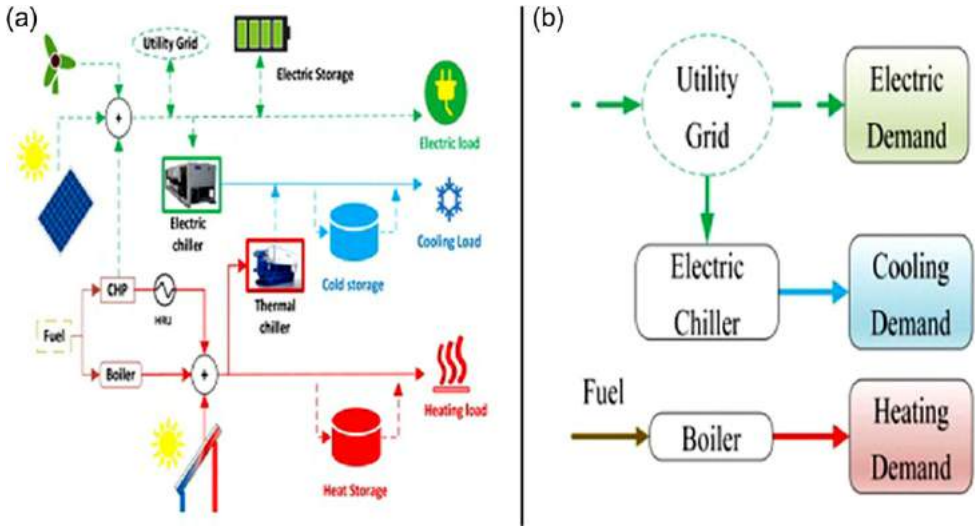


Figure 6. *Schematic of (**a**) polygeneration system and (**b**) reference system [44].*



Figure 7. *Photograph and schematic of a solar autoclave (I) unit of steam generator, (II) the connection section and (III) the utilized unit for sterilization. The parts of the autoclave are (a) sterilization vessel, (b) sensor of pressure, (c) temperature sensors, (d) relief valve, (e and f) control valves, (g) solar collector which has nanofluid heater solution, (h) check valve and (k) solar concentrator (a plastic Fresnel lens with 0.67-m^2 area of the surface) [50].*

autoclaves are utilized in order to sterilize equipment applied in surgery or dental treatment. In order to obtain fluid with high pressure and temperature inside the autoclave, it is necessary to use thermal energy. Solar energy can be applied to provide required thermal energy. Solar-powered medical autoclaves are appropriate choice for off-grid sterilization of medical and dental instruments [48]. Dravid *et al.* [49] conducted a study on solar autoclave. In the study, a concentrator which had concave

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

surface was used. The body of the autoclave was made of steel and the material of its surface was ionized aluminum sheets. A 40-L autoclave which had the similar working principles to pressure cooker was located in the middle of the metal ring. The needed heat was provided by the solar concentrator. Results indicated that using solar energy instead of LNG or electricity for heating the autoclave, led to 313.50 GBP annual saving [49]. Therefore, it can be concluded using solar energy for autoclave results in more cost-effective performance and lower greenhouse gases emission. In another study, Neumann *et al.* [50] investigated performance of a compact solar autoclave. In the designed autoclave, thermal energy of sun was applied for steam generation. The investigated solar autoclave is shown in Figure 7. As shown in Figure 7, concentrated solar radiation provide required thermal energy for steam generation. The produced steam enters the sterilization unit and after condensation returns to the solar collector. Utilizing nanofluid in this set-up resulted in more rapid increase in temperature of water and steam, which can be attributed to thermophysical properties of nanofluids [51–53]. By using this cycle during the sterilization process, it was possible to keep the temperature and pressure in the ranges of 115–140°C and 12–14 psig, respectively. These values indicate appropriate performance of the system.

In addition to solar autoclaves, thermal energy of the sun can be utilized for other purposes [54]. For instance, based on a study [55], hybrid solar collector technologies can be used in drying medicinal plants. By using solar irradiation and absorbing it by collectors, thermal energy for drying process can be provided. The main advantages of using these types of dryer is lower greenhouse gases emission and the possibility of using them as off-grid systems.

Medical implants which use electricity can enhance health of people [56]. There are some novel ideas such as electricity generation by utilizing solar cells which are subdermal [57]. The generated electricity by these cells can be used for bioelectronics mediums. Several factors can influence the generated power by applying these cells. Based on a study performed by Song *et al.* [57], the density of produce power was dependent on the thickness and tone of skin. It was concluded that brighter and thinner skin led to higher generated power density.

Renewable energy systems are applicable in the field of dentistry. A new type of toothbrush has been introduced which contains titanium oxide (TiO_2) N-type semiconductor. The basic principle working of these toothbrushes is decreasing in H^+ ions from the organic acids in plaque which results in its decomposition [58]. Solar energy can be applied in these types of toothbrush. For instance, in the study conducted by Rahman *et al.* [59], TiO_2 rod was inserted in the neck of the utilized brush. A copper wire connected the TiO_2 (which was positively charged) and the stainless steel rod in order to produce electricity. The energy source for electron generation was a solar panel. Results of the study revealed that using this type of toothbrush can have significant therapeutic effect on the prevention of dental caries.

4 CONCLUSION

In the present study, a comprehensive literature review is performed on the medical and dental applications of renewable energies. Based on the reviewed studies, renewable energy systems can be used in various tools and structures. For instance, by utilizing renewable energy systems, air conditioning technologies with higher efficiency and lower carbon dioxide emission is achievable for medical facilities such as hospitals and healthcare centers. Moreover, renewable sources can be applied to provide required heat for hot water and drying systems. In addition, there several medical mediums which can utilize renewable energies. Solar-powered toothbrush and solar autoclaves are among the most conventional devices. Moreover, some novel tools are applied to provide electricity for medical implants. These devices are subdermal and generate electricity by receiving solar radiation. The rate of electricity generation in these mediums depends on skin specifications such as its brightness and thickness.

The future studies should focus on the other applications of renewable energy systems in medical and dental aspects such as providing the required energy for dental turbines. Using appropriate renewable-based ventilations technologies and hybrid systems will lead to more environmentally-friendly and cost-effective systems. In addition, utilizing novel solar concentrator to provide required thermal energy of solar autoclaves, results in more reliable and efficient devices.

NOMENCLATURE

AHU	Air Handling Unit(s)
HPHX	Heat Pipe Heat Exchanger
OWUH	Orthopaedic Ward of the University Hospital

REFERENCES

[1] Bayrak M, Gungor A. Fossil fuel sustainability: exergy assessment of a cogeneration system. *Int J Energy Res* 2011;**35**:162–8. doi:10.1002/er.1759.

[2] Reddy BV, Mohamed K. Exergy analysis of a natural gas fired combined cycle power generation unit. *Int J Exergy* 2007;**4**:180. doi:10.1504/IJEX.2007.012065.

[3] Amin TE, Roghayeh G, Fatemeh R, *et al.* Evaluation of nanoparticle shape effect on a nanofluid based flat-plate solar collector efficiency. *Energy Explor Exploit* 2015;**33**:659–76. doi:10.1260/0144-5987.33.5.659.

[4] Nazari MA, Aslani A, Ghasempour R. Analysis of solar farm site selection based on TOPSIS approach. *Int J Soc Ecol Sustain Dev* 2018;**9**:12–25.

[5] Mirzaei M, Ahmadi MH, Mobin M, *et al.* Energy, exergy and economics analysis of an ORC working with several fluids and utilizes smelting furnace gases as heat source. *Therm Sci Eng Prog* 2018;**5**:230–7. doi:10.1016/j.tsep.2017.11.011.

[6] Sahraie H, Mirani MR, Ahmadi MH, *et al.* Thermo-economic and thermodynamic analysis and optimization of a two-stage irreversible heat pump. *Energy Convers Manag* 2015;**99**:81–91. doi:10.1016/J.ENCONMAN.2015.03.081.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

[7] Noroozian A, Mohammadi A, Bidi M, *et al.* Energy, exergy and economic analyses of a novel system to recover waste heat and water in steam power plants. *Energy Convers Manag* 2017;**144**:351–60. doi:10.1016/J.ENCONMAN.2017.04.067.

[8] Ahmadi MH, Alhuyi Nazari M, Feidt M. Thermodynamic analysis and multi-objective optimisation of endoreversible Lenoir heat engine cycle based on the thermo-economic performance criterion. *Int J Ambient Energy* 2018:1–10. doi:10.1080/01430750.2017.1423386.

[9] Ahmadi MH, Jokar MA, Ming T, *et al.* Multi-objective performance optimization of irreversible molten carbonate fuel cell–Braysson heat engine and thermodynamic analysis with ecological objective approach. *Energy* 2018;**144**:707–22. doi:10.1016/J.ENERGY.2017.12.028.

[10] Ahmadi MH, Mohammadi A, Pourfayaz F, *et al.* Thermodynamic analysis and optimization of a waste heat recovery system for proton exchange membrane fuel cell using transcritical carbon dioxide cycle and cold energy of liquefied natural gas. *J Nat Gas Sci Eng* 2016;**34**:428–38. doi:10.1016/J.JNGSE.2016.07.014.

[11] Statistical Review of World Energy | Energy economics | BP n.d. https://www.bp.com/ (accessed April 15, 2018).

[12] www.irena.org n.d.

[13] International Renewable Energy Agency (IRENA). IRENA (2018), Renewable capacity statistics 2018. 2018.

[14] Mohammadi A, Ahmadi MH, Bidi M, *et al.* Exergy analysis of a combined cooling, heating and power system integrated with wind turbine and compressed air energy storage system. *Energy Convers Manag* 2017;**131**:69–78. doi:10.1016/J.ENCONMAN.2016.11.003.

[15] Maleki A, Pourfayaz F, Ahmadi MH. Design of a cost-effective wind/photovoltaic/hydrogen energy system for supplying a desalination unit by a heuristic approach. *Sol Energy* 2016;**139**:666–75.

[16] Mohammadnezami M, Ehyaei M, Rosen M, *et al.* Meeting the electrical energy needs of a residential building with a wind-photovoltaic hybrid system. *Sustain* 2015;**7**:2554–69. doi:10.3390/SU7032554.

[17] Kargar Sharif Abad H, Ghiasi M, Jahangiri Mamouri S, *et al.* A novel integrated solar desalination system with a pulsating heat pipe. *Desalination* 2013;**311**:206–10. doi:10.1016/J.DESAL.2012.10.029.

[18] Ahmadi M, Dehghani S, Mohammadi A. Optimal design of a solar driven heat engine based on thermal and thermo-economic criteria. *Energy Convers* 2013;**75**:635–42.

[19] Ahmadi MH, Hosseinzade H, Sayyaadi H, *et al.* Application of the multi-objective optimization method for designing a powered Stirling heat engine: design with maximized power, thermal efficiency and minimized pressure loss. Renew. *Energy* 2013;**60**:313–22. doi:10.1016/J.RENENE.2013.05.005.

[20] Alhuyi Nazari M, Ahmadi MH, Ghasempour R, *et al.* How to improve the thermal performance of pulsating heat pipes: a review on working fluid. *Renew Sustain Energy Rev* 2018;**91**:630–8.

[21] Compain P. Solar energy for water desalination. *Procedia Eng* 2012;**46**:220–7. doi:10.1016/J.PROENG.2012.09.468.

[22] Ahmadi MH, Ahmadi MA, Sadaghiani MS, *et al.* Ground source heat pump carbon emissions and ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings: a review. *Environ Prog Sustain Energy* 2017. doi:10.1002/ep.12802.

[23] Moghadam RS, Sayyaadi H, Hosseinzade H. Sizing a solar dish Stirling micro-CHP system for residential application in diverse climatic conditions based on 3E analysis. *Energy Convers Manag* 2013;**75**:348–65. doi:10.1016/j.enconman.2013.06.008.

[24] Michopoulos A, Voulgari V, Tsikaloudaki A, *et al.* Evaluation of ground source heat pump systems for residential buildings in warm Mediterranean regions: the example of Cyprus. *Energy Effic* 2016:1–16. doi:10.1007/s12053-016-9431-1.

[25] Teke A, Timur O. Assessing the energy efficiency improvement potentials of HVAC systems considering economic and environmental aspects at the hospitals. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;**33**:224–35. doi:10.1016/J.RSER.2014.02.002.

[26] Renedo CJ, Ortiz A, Mañana M, *et al.* Study of different cogeneration alternatives for a Spanish hospital center. *Energy Build* 2006;**38**:484–90. doi:10.1016/J.ENBUILD.2005.08.011.

[27] Khodakarami J, Nasrollahi N. Thermal comfort in hospitals—a literature review. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;**16**:4071–7. doi:10.1016/J.RSER.2012.03.054.

[28] Harris N, Pisa L, Talioaga S, *et al.* Hospitals going green. *Holist Nurs Pract* 2009;**23**:101–11. doi:10.1097/HNP.0b013e3181a110fe.

[29] Sayigh AAM, World Renewable Energy Network. Mediterranean green buildings & renewable energy: selected papers from the World Renewable Energy Network's Med Green Forum. n.d.

[30] Chen Y. Study on energy-saving design and operation of hospital purification air conditioning system. *Int J Low-Carbon Technol* 2018;**13**:184–90. doi:10.1093/ijlct/cty013.

[31] Čongradac V, Prebiračević B, Jorgovanović N, *et al.* Assessing the energy consumption for heating and cooling in hospitals. *Energy Build* 2012;**48**:146–54. doi:10.1016/J.ENBUILD.2012.01.022.

[32] García-Sanz-Calcedo J, Al-Kassir A, Yusaf T. Economic and environmental impact of energy saving in healthcare buildings. *Appl Sci* 2018;**8**:440. doi:10.3390/app8030440.

[33] Balaras CA, Dascalaki E, Gaglia A. HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms. *Energy Build* 2007;**39**:454–70. doi:10.1016/J.ENBUILD.2006.09.004.

[34] Bagnasco A, Fresi F, Saviozzi M, *et al.* Electrical consumption forecasting in hospital facilities: an application case. *Energy Build* 2015;**103**:261–70. doi:10.1016/J.ENBUILD.2015.05.056.

[35] Taseli BK, Kilkis B. Ecological sanitation, organic animal farm, and cogeneration: closing the loop in achieving sustainable development—a concept study with on-site biogas fueled trigeneration retrofit in a 900-bed university hospital. *Energy Build* 2016;**129**:102–19. doi:10.1016/J.ENBUILD.2016.07.030.

[36] Ascione F, Bianco N, De Stasio C, *et al.* Multi-stage and multi-objective optimization for energy retrofitting a developed hospital reference building: a new approach to assess. *Appl Energy* 2016;**174**:37–68. doi:10.1016/j.apenergy.2016.04.078.

[37] Baba T, Mizuno Y, Tanaka Y, *et al* Comparison of optimum energy scheduling of emergency generators of a large hospital with renewable energy system using mathematical programming method. 2017 IEEE 6th Int. Conf. Renew. Energy Res. Appl., IEEE; 2017, p. 519–23. doi:10.1109/ICRERA.2017.8191114.

[38] Ahmadzadehtalatapeh M, Yau YH. The application of heat pipe heat exchangers to improve the air quality and reduce the energy consumption of the air conditioning system in a hospital ward—a full year model simulation. *Energy Build* 2011;**43**:2344–55. doi:10.1016/J.ENBUILD.2011.05.021.

[39] Fabrizio E. Energy for sustainable development feasibility of polygeneration in energy supply systems for health-care facilities under the Italian climate and boundary conditions. Energy. *Sustain Dev* 2011;**15**:92–103. doi:10.1016/j.esd.2011.01.003.

[40] Buonomano A, Calise F, Ferruzzi G, *et al.* A novel renewable polygeneration system for hospital buildings: design, simulation and thermo-economic optimization. *Appl Therm Eng* 2014;**67**:43–60. doi:10.1016/j.applthermaleng.2014.03.008.

[41] Tsoutsos T, Aloumpi E, Gkouskos Z, *et al.* Design of a solar absorption cooling system in a Greek hospital. *Energy Build* 2010;**42**:265–72. doi:10.1016/J.ENBUILD.2009.09.002.

Downloaded from https://academic.oup.com/ijlct/article/13/4/320/5230203 by guest on 21 March 2020

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

[42] Vanhoudt D, Desmedt J, Van Bael J, *et al.* An aquifer thermal storage system in a Belgian hospital: long-term experimental evaluation of energy and cost savings. *Energy Build* 2011;**43**:3657–65. doi:10.1016/J.ENBUILD.2011.09.040.

[43] Mat N, Shekhar H, Wei C, *et al.* A techno-economic assessment of a combined heat and power photovoltaic/fuel cell/battery energy system in Malaysia hospital. *Energy* 2016;**112**:75–90. doi:10.1016/j.energy.2016.06.056.

[44] Ghaem Sigarchian S, Malmquist A, Martin V. Design optimization of a complex polygeneration system for a hospital. *Energies* 2018;**11**:1071. doi:10.3390/en11051071.

[45] Bujak J. Heat consumption for preparing domestic hot water in hospitals. *Energy Build* 2010;**42**:1047–55. doi:10.1016/J.ENBUILD.2010.01.017.

[46] Whiffen TR, Riffat SB. A review of PCM technology for thermal energy storage in the built environment: Part II. *Int J Low-Carbon Technol* 2013;**8**:159–64. doi:10.1093/ijlct/cts026.

[47] tuttnauer.com n.d.

[48] Kaseman T, Boubour J, Schuler DA. Validation of the efficacy of a solar-thermal powered autoclave system for off-grid medical instrument wet sterilization. *Am J Trop Med Hyg* 2012;**87**:602–7. doi:10.4269/ajtmh.2012.12-0061.

[49] Dravid MN, Chandak A, Phute SU, *et al.* The use of solar energy for powering a portable autoclave. *J Hosp Infect* 2012;**80**:345–7. doi:10.1016/J.JHIN.2012.01.006.

[50] Neumann O, Feronti C, Neumann AD, *et al.* Compact solar autoclave based on steam generation using broadband light-harvesting nanoparticles. *Proc Natl Acad Sci* 2013;**110**:11677–81. doi:10.1073/pnas.1310131110.

[51] Ahmadi MH, Ahmadi MA, Nazari MA, *et al.* A proposed model to predict thermal conductivity ratio of Al2O3/EG nanofluid by applying least squares support vector machine (LSSVM) and genetic algorithm as a connectionist approach. *J Therm Anal Calorim* 2018:1–11. doi:10.1007/s10973-018-7035-z.

[52] Ahmadi MH, Nazari MA, Ghasempour R, *et al.* Thermal conductivity ratio prediction of A l 2 O 3 /water nanofluid by applying connectionist methods. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp* 2018. doi:10.1016/j.colsurfa.2018.01.030.

[53] Ahmadi MH, Mirlohi A, Nazari MA, *et al.* A review of thermal conductivity of various nanofluids. *J Mol Liq* 2018. doi:10.1016/j.molliq.2018.05.124.

[54] Panwar NL, Kaushik SC, Kothari S. Thermal modeling and experimental validation of solar tunnel dryer: a clean energy option for drying surgical cotton. *Int J Low-Carbon Technol* 2013;**11**:ctt053. doi:10.1093/ijlct/ctt053.

[55] Čiplienė A, Novošinskas H, Raila A, *et al.* Usage of hybrid solar collector system in drying technologies of medical plants. *Energy Convers Manag* 2015;**93**:399–405. doi:10.1016/J.ENCONMAN.2015.01.051.

[56] Al-oqla FM, Omar AA, Fares O. Evaluating sustainable energy harvesting systems for human implantable sensors. *Int J Electron* 2018;**105**:504–17. doi:10.1080/00207217.2017.1378377.

[57] Song K, Han JH, Yang HC. Nam K Il, Lee J. Generation of electrical power under human skin by subdermal solar cell arrays for implantable bioelectronic devices. *Biosens Bioelectron* 2017;**92**:364–71. doi:10.1016/J.BIOS.2016.10.095.

[58] Hoover JN, Singer DL, Pahwa P, *et al.* Clinical evaluation of a light energy conversion toothbrush. *J Clin Periodontol* 1992;**19**:434–6. doi:10.1111/j.1600-051X.1992.tb00674.x.

[59] Rahman KA, Nishimura M, Matsumura S, *et al.* Inhibition of the adhesive ability of Streptococcus mutans on hydroxyapatite pellet using a toothbrush equipped with TiO2 semiconductor and solar panel. *Pediatr Dent J* 2010;**20**:16–21. doi:10.11411/pdj.20.16.

Downloaded from https://academic.oup.com/ijlct/article/13/4/320/5230209 by guest on 21 March 2020

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Clean Energy, 2022, **6**, 404–411
https://doi.org/10.1093/ce/zkac027
Advance access publication 2 June 2022
Research Article

Optimal integration of battery energy-storage system with high penetration of renewable energy in radial distribution network

Hafsa Imra Sheikh*, Mahesh Kumar Rathi and Amir Mahmood Soomro

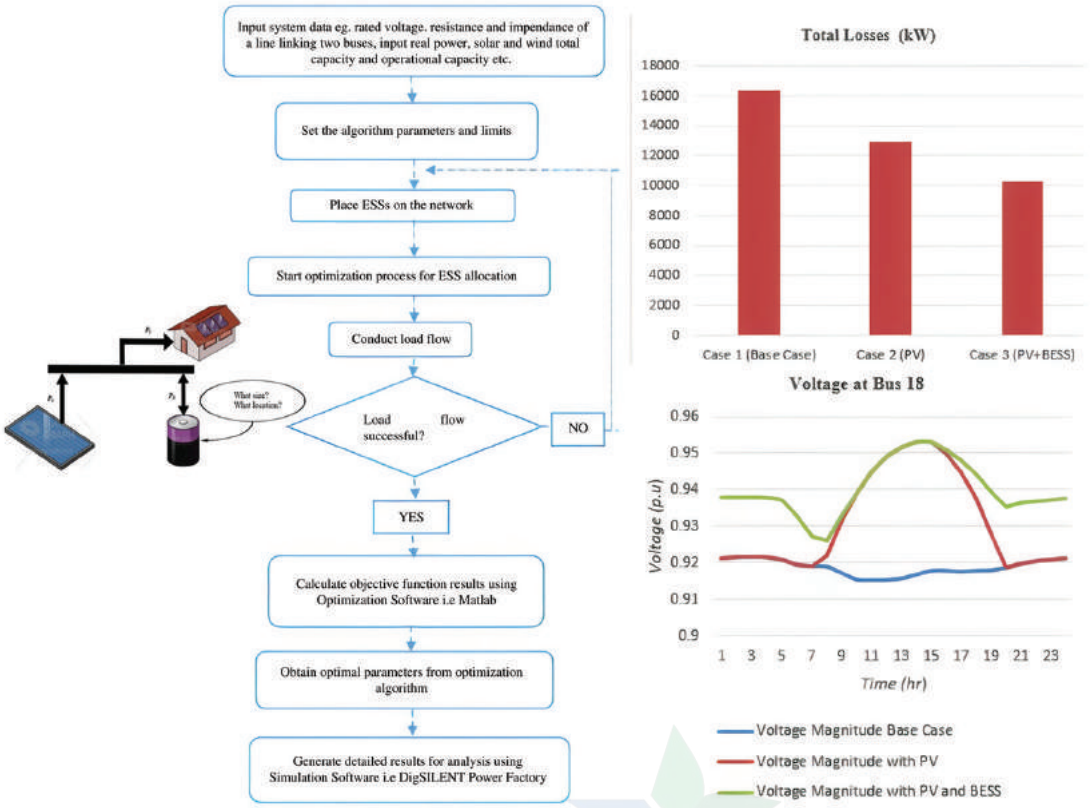
Department of Electrical Engineering, Mehran University of Engineering and Technology, Jamshoro, Pakistan

*Corresponding author. E-mail: hafsa.sheikh09@yahoo.com

Abstract

Considering the intermittent nature of renewable energy, a storage system to reserve power in off-peak hours and then to supply it during peak hours is necessary. However, if these storage devices in a network are not placed in an appropriate manner, the advantages can never be achieved. In this study, the allocation and sizing strategies of a battery energy-storage system (BESS) in an optimal way are proposed to improve the performance of the radial distribution networks. The test network adopted is a standard IEEE 33 bus network that is integrated with solar power. Simulations are carried out in DIgSILENT PowerFactory for the distribution network model and the process of optimization is done through MATLAB®. The optimization algorithm adopted is the genetic algorithm. The system is studied for 24 hours with a step size of 15 minutes, employing a time-sweep analysis of dynamic load. It is studied under three different scenarios and the results are compared. The results illustrate a considerable reduction in power losses in the case of the optimized BESS. The total losses before the optimization process are 16 365.57 kW. The total losses after the employment of the proposed solution are 10 246.5 kW, which means that the losses are reduced by ≤62%.

Graphical Abstract



Keywords: energy and environment; energy storage; solar

Received: 10 February 2022. **Accepted:** 22 April 2022

© The Author(s) 2022. Published by Oxford University Press on behalf of National Institute of Clean-and-Low-Carbon Energy
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which permits non-commercial re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. For commercial re-use, please contact journals.permissions@oup.com

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/3/404/6598931 by guest on 24 March 2023

Introduction

These days, great interest has been aroused in reliable and flexible energy integration. It is a great challenge to balance power generation and consumption considering the stochastic nature of renewable energy [1]. Renewable energy is considered a path towards a clean and less polluted environment. It is seen as a possibility to reduce CO_2 emissions. The degrees of atmospheric pollution along with the sources of air pollutants have increased essentially over the years [2, 3]. At the same time, numerous research studies have been done on solar energy integration to meet the renewable-energy target [4]. Different policies for renewable energy-generation strategies have also been launched by some governments [5]. Furthermore, it is expected that by the end of 2025, the levelized cost of electricity of solar energy could fall by 43% [6]. Few research studies have also been carried out for loss minimization; however, a renewable energy source was not considered in the network [7]. Despite the environmental and sustainability benefits of renewable energy, one of the most important problems is the management of power. Mainly, the photovoltaic (PV) system generates power depending on the local insolation level according to that area and the time of day. Especially in local electricity grids, in which the percentage of generation from solar is higher than that from other conventional generating technologies, the management of power becomes a challenge. The behaviour of the grid is disturbed due to these non-manageable energy-generating technologies. If the percentage of generated power through PV is low, the disequilibrium between production and consumption is not very problematic but if this percentage increases, the variability of electricity produced and its consumption become considerable matters. This intermittent power becomes the reason for the destabilization of power.

Therefore, the management of electricity produced by such intermittent sources is under great consideration these days [8, 9]. One of the possible solutions suggested by the literature is to use hybrid renewable-energy systems for this issue of intermittency, to integrate different renewable-energy resources in an optimal manner [10]. In this system, sources with lower generation during a period can be compensated for by sources having a higher generation level during that period [11]. Thus, system efficiency and supply reliability can be increased [12]. The optimal sizing of generation units is reviewed in detail in [13] and different control strategies for renewable energy in [14].

The other solution suggested by the literature is the battery energy-storage system (BESS) [15]. The energy-storage system (ESS) is the key technology for the reliable integration of renewable energy resources [16]. The surplus amount of energy is stored in the ESS, which is fed when consumption is higher than generation. If the ESSs are not placed in the correct manner in a distribution network, the benefits from the ESS cannot be achieved [17]. As a result, optimal sizing and allocation of the BESS have become crucial areas of research. However, in this study, the allocation and sizing strategies of the BESS in an optimal way are proposed to improve the performance of the radial distribution networks.

The problem of the optimal sizing and siting of the BESS in the distribution network has been significantly studied in the literature [18]. In [19], the authors used a modified non-sorting dominated genetic algorithm (GA) for the location and size of distributed generation (DG) optimally in distribution networks (DNs). The objective function is power-loss minimization, which improves the voltage profile of the system. This proposed methodology was tested on an IEEE 33-bus system. Misplacement or misuse of energy-storage devices can lead to several network performance issues in terms of voltage and frequency regulation, power quality, reliability and load controllability [18]. To achieve the optimal operation of an ESS, an appropriate way of placement is required for improvement in voltage and power quality [19, 20], peak-demand reduction [19], relaxation in distribution congestion [18], power-flow control [18], power-loss minimization [21], network security and cost reduction [8, 9], RES integration [10] and system effectiveness.

There are several variables that are defined to approach the optimal sizing and siting of a BESS in a distribution network, such as optimizing technique, performance metrics for optimum evaluation, battery technology, and modelling and testing of the network.

After a successful analysis of resources and estimation of solar production, a system needs to be developed to maintain the balance between generation and consumption patterns [16]. Intermittent PV production throughout the day can be smoothed by including ESSs and filling in the gaps. The smooth production of renewable energy throughout the day can be achieved through ESSs. They have the ability to handle ramps or the frequently known duck curve [7]. The ability to handle the load ramp cannot be done through traditional conventional generators but it can be handled very quickly through energy-storage devices [22]. The BESS has attracted considerable attention from researchers because of its advantages such as speedy response, controllability, energy management and reliability improvement [5]. Therefore, locating grid-scale ESSs becomes important in improving distribution network performance and minimizing the issues. If not placed in the correct manner in a distribution network, the benefits from the ESSs cannot be achieved [23]. However, in this section, an extensive review of the literature on optimal allocation and sizing of batteries is presented. The term 'optimization' means to reach the established goals with the help of available resources through a set of processes. The general optimization process algorithm for optimal sizing and placement has the following steps:

(i) Identify the problem to be analysed in a network and the support solution provided by the ESS or we can identify the major objective, such as peak shaving, loss minimization, power quality and reliability, etc.
(ii) Formulation of the fitness function and necessary constraints related to the optimal sizing and placement of the BESS.
(iii) Evaluate the fitness function using optimization techniques such as analytical or meta-heuristic approaches.
(iv) Update the fitness value and current best location and size of the BESS.

The general flow chart of the heuristic optimization approach and the utilization of GA in the optimal allocation are shown in Fig. 1.

The objective of this research is to reduce the power losses in a radial distribution network given the constraints on power balance, bus voltage, energy-storage power, charge/discharge balance and remaining capacity of the ESS. The optimal placement and size of the ESS are determined by the GA optimization method. Several GA approaches have been utilized in other studies [15, 17]. These studies highlight the effectiveness of GA compared to other stochastic methods based on the processing duration and error percentage of the solution. In this study, DN

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/3/404/6598931 by guest on 24 March 2023

data and BESS data were fed as inputs into the GA. The algorithm processes these data through many iterations and the resultant is the optimal place for a BESS that assures the minimum power loss in the distribution network.

DIgSILENT PowerFactory (DPF) provides solutions for distribution network problems such as system design, modelling and optimization capabilities, grid interaction skills in a multi-user environment and data handling [24]. MATLAB® is used to control the system models developed in DPF and to facilitate genetic optimization. Furthermore, electricity production from renewable sources such as solar energy varies with changing solar radiation; thus, power generation is a function of time. Performing load-flow simulations during a certain time (in this case, a 24-hour period) in the different nodes of an electric power system requires the use of quasi-dynamic simulation, a time-varying load-flow calculation tool. Different researchers suggest that quasi-dynamic methods, as compared with quasi-static methods, not only improve the fidelity of the simulation of the process, but also reduce the processing time of the dynamic simulations. The main contributions of this paper are summarized as follows:

- An optimal BESS placement is carried out based on GA to significantly reduce the overall system power losses associated with the integration of high penetration levels of solar PVs. Although a similar investigation was carried out in [25], a unity power factor (p.f.) approach is applied on the ESS dispatch (i.e. the ESSs only inject P to the network). In this study, however, the ESSs inject both the P and Q to the network for better performance improvement with variable p.f. on the dispatch of an ESS.
- The effectiveness and robustness of the proposed methodology are comparatively tested and validated by different approaches on IEEE 33 bus systems. The first approach studied assumes that only the PV is contributing to the network and the voltage at the farthest node, such as bus no. 18. These values of voltages are later compared with the proposed network, such as after installing the BESS at the optimal place. The second approach is that active power losses are studied with and without the employment of the BESS of the overall DN. Overall, active power losses are reduced after the employment of the proposed strategy.

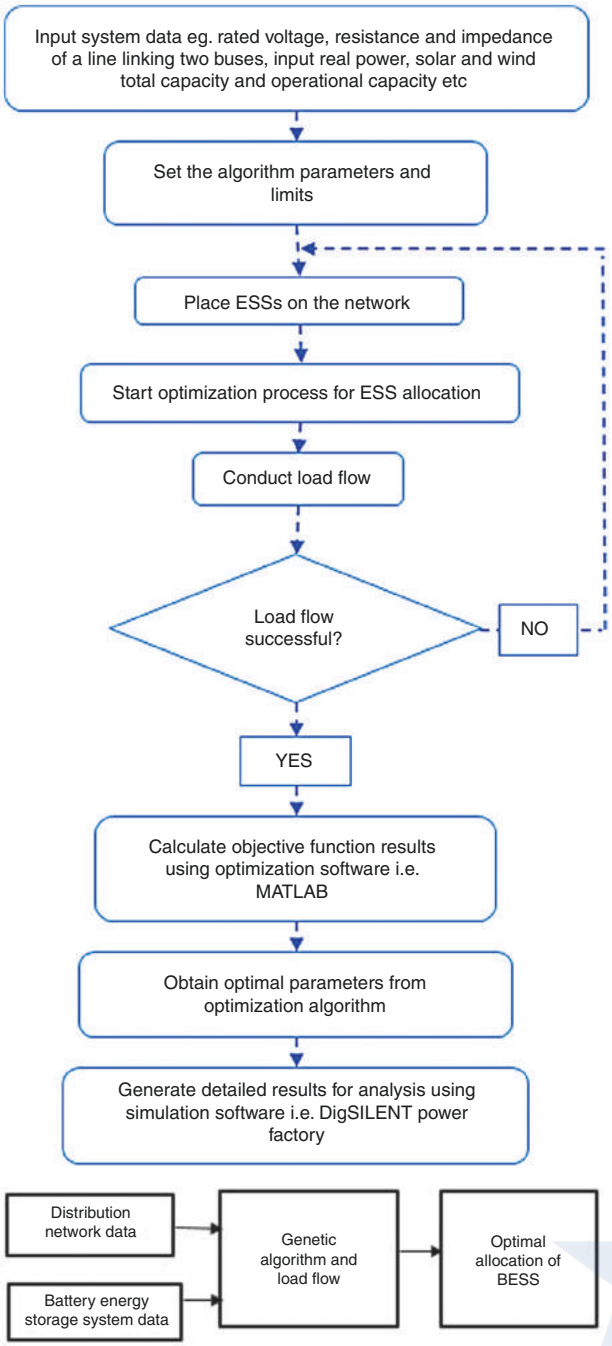


Fig. 1: (a) Flow chart of GA optimization approach. (b) Illustration of GA utilization.

1 Methodology

1.1 Quasi-dynamic simulation

A quasi-dynamic simulation is offered by DPF for the execution of medium-term to long-term electrical studies. It performs several load-flow calculations with user-defined time-step size. This tool is useful for dealing with studies in which long-term generation and demand profiles are defined and network models are developed considering expansion stages and variations [26].

The main benefit of this type of simulation is that it provides faster calculation results because it does not require solving all the mathematical expressions. Other researchers [27, 28] have suggested that quasi-dynamic simulation language offers better accuracy than other methods such as quasi-static. Quasi-dynamic simulations have been used in electrical studies into

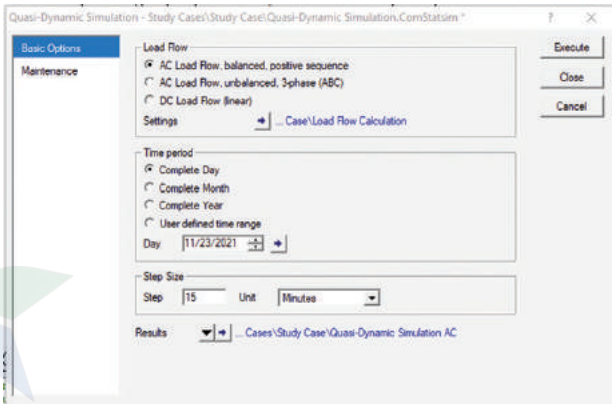


Fig. 2: Quasi-dynamic simulation window.

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/3/404/6598931 by guest on 24 March 2023

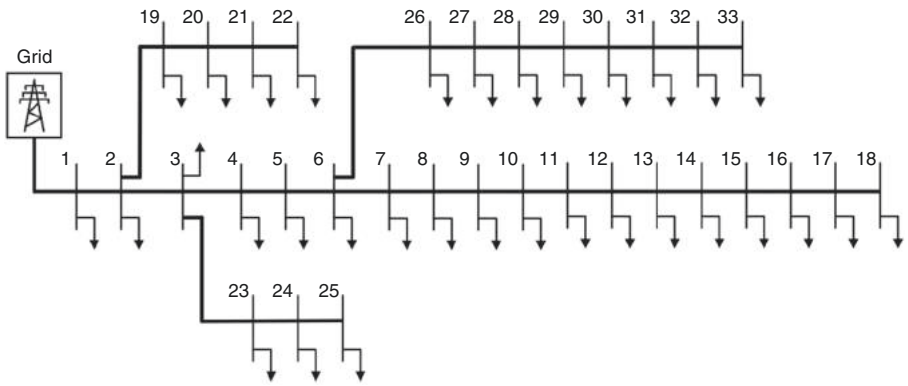


Fig. 3: IEEE 33 bus system.

Table 1: 33 Bus system parameters

Parameter	Value	Unit
Voltage level	12.66	kV
Frequency	60	Hz
Rated active power from external grid	3917.7	kW
Rated reactive power from external grid	2435.2	kVAr
Rated total active power losses on lines	202.7	kW

Source: Ref. [29].

Table 2: Basic data of PV model

Name	Aleo 150L
Peak power (MPP)	160 W
Rated voltage (MPP)	23.4 V
Rated current (MPP)	6.8 A
Open-circuit voltage	30.5 V
Short-circuit current	7.2 A
Material	Single-crystalline silicon (mono-Si)
NOCT	47℃

MPP, maximum power point; NOCT, nominal operating cell temperature.

units such as circuit-interruption devices, PV energy systems, ESSs and distribution network studies. In this work, the 'Quasi Dynamic' tool (Fig. 2) is used to analyse the distribution network with varying demand in order to determine the behaviour and changes in system dynamics when some nodes in the system include solar DG.

By modifying the load, each node in the system has a different demand that varies moment by moment. This new behaviour is analysed under different scenarios. The load flow is calculated every minute for 24 hours in order to identify the changes in the network variables such as power losses and voltage profiles. In order to analyse the simulation results, the IEEE 33 bus system was used as a test system model (Fig. 3).

1.2 Load modelling

The proposed load model is the IEEE 33 bus test system. It is designed using DPF. The system consists of 33 buses and 32 nodes with a current-carrying capacity of 400 A from Node 1 to Node 9, whereas other lines have a capacity of 200 A. The base voltage is 12.66 kV and the base power is 10 MVA. The total active power load is 3715 kW and the reactive power load is 2300 KVAr. Since the base system is modelled with a firm power load, it is required to simulate the load variations over time to study the dynamic nature of load under a 24-hour period. The quasi-dynamic simulation is used to calculate the set of time-dependent load-flow calculations. The standard Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft load profile is utilized [30]. The basic system parameters are shown in Table 1.

1.3 Solar PV modelling

There are a few factors that affect the generation from PV models, such as rated power, solar irradiance and temperature. The PV system generates power during the day. The output power of the solar module is shown in Fig. 4. It is generated based on Karachi city solar irradiance measured on the hottest day of the year, which is 21 July. The maximum output power is ~2.2 MW at 1 p.m. The number of parallel inverters is 20 000. The watt/panel is 110 watt so 110 × 20 000 = 2.2 MW. Integration of PV systems in DPF requires basic data for the network model. The type of PV panels is Aleo 150-L. The basic data for the PV model are shown in Table 2.

1.4 BESS modelling

The ESS is simulated using the built-in static generator unit that is used to model any non-rotating power-generation and storage unit that is connected to the AC grid through an inverter. The use of this element is an appropriate approximation and it is also supported by DPF in which ESSs are represented by static generators.

To implement this time-varying system, the time-dependent load-flow script 'time sweep' is utilized. The objectives achieved by this framework are: appropriate objects on the grid topology such as PV units, energy-storage units and time-dependent loads are identified; specific system parameters are then read to perform the time-dependent load-flow analysis later to extract the results; the adopted load-flow script analyzes the name of storage units and its capacity to calculate the state of charge with user-defined time-step sizes.

In this research, it is assumed that the BESS is fully charged at the start of the day and discharges gradually as time goes by[31]. In order to simulate a battery storage unit over a period of time, the unit is modelled considering the following three parameters:

(i) maximal charge and discharge power;
(ii) charge–discharge efficiency;
(iii) storage capacity.

The battery storage unit is used for the modelling of a BESS. The active power rating of the battery is 1.1 MW.

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/3/404/6598931 by guest on 24 March 2023

1.5 Optimization method

GAs are optimization techniques used to solve non-linear or non-differentiable optimization problems. GA uses concepts from evolutionary biology to search for a global minimum. The name 'genetic algorithm' comes from the fact that the algorithm is mimicking evolutionary biology techniques. GA works by starting with an initial generation of candidate solutions that are tested against the objective function, then generating subsequent generations of points from the first generation through processes such as selection crossover and mutation.

The GA runs its iterations until it converges to the best objective function, i.e. when the fitness function value is no longer changing or it is changing by a really small amount.

This paper employs GA as an optimization method to optimally size and site the BESS in a distribution network. This process is done using MATLAB® programming. The system summary from DPF is synchronized with MATLAB® for the process of optimization. It is assumed that the PV system only supplies active power and is placed arbitrarily at buses. The objective function is to reduce line losses, formulated as:

$$Ploss = min \sum_{t=1}^{Ttotal} \sum_{i,j=1\ i\neq j}^{nbr} g\ i,j(U_i^2 + U_j^2 - 2U_iU_jcoscos\ (\theta_i - \theta_j)) \quad (1)$$

where Δt represents the time interval; t_{total} represents the total time period considered, gi,j represents the conductance between

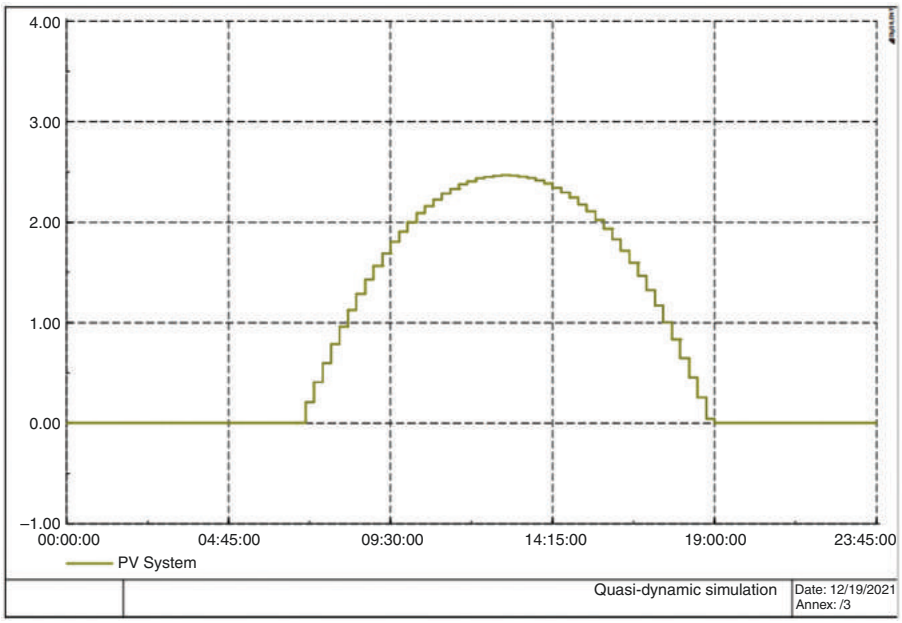


Fig. 4: PV output curve.

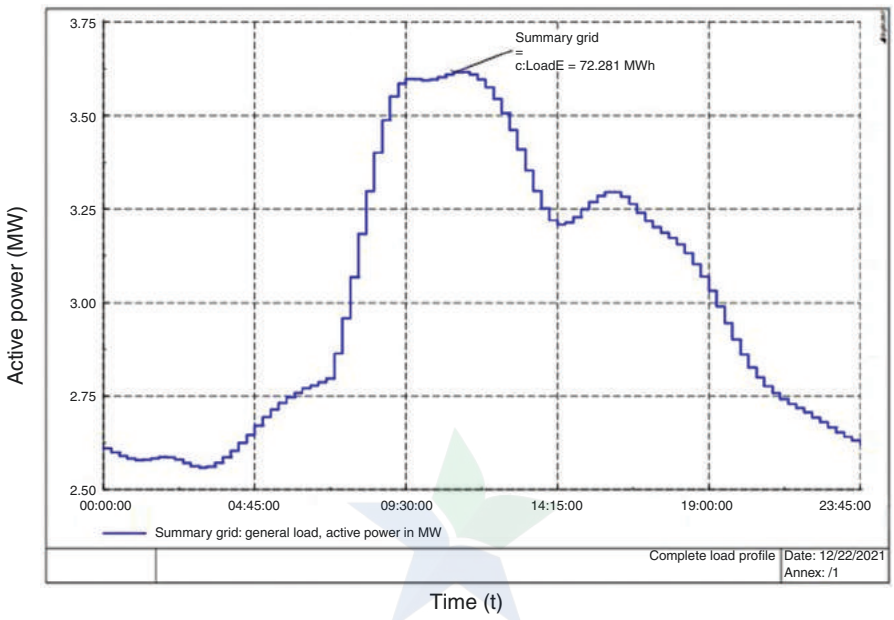


Fig. 5: Load profile of 1 day.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/3/404/6598931 by guest on 24 March 2023

buses *i* and *j*, *nbr* represents the total number of branches in the network, U_i and U_j represent the voltage magnitudes of the buses *i* and *j*, and θ_i and θ_j represent the voltage angles of buses *i* and *j*.

Equation (1) interprets the expression for total network power losses based on the AC power-flow equation. For each and every evaluation of fitness function, the non-linear AC power flow is calculated. In addition to the above objective function, the optimal network configuration has to satisfy the following operational constraints:

$$U_i^{min} \leq U_i \leq U_i^{max} \quad (2)$$

$$S_b \leq S_b^{max} \quad (3)$$

where U_i^{min} represents the minimum voltage magnitude for *i* buses, U_i^{max} represents the maximum voltage magnitude for *i* buses, S_b represents the actual power flow and S_b^{max} represents the maximum actual power flow. U_i^{min} and U_i^{max} represent the voltage limit of each bus and S_b^{max} represents the maximum current level of each branch b in terms of actual power flow.

The whole search process of the proposed method for determining the location and size of the BESS to minimize total active power loss is described in detail as follows:

Step 1: Define the input data (V_{rated}, R_L, X_L, PV and MVA_{base}) to simulate the studied distribution network in DPF and evaluate candidate buses to find the best location for the BESS installation.

Step 2: Initialize the parameters of the algorithm.

Step 3: Select one candidate bus as the location for the BESS installation.

Step 4: Execute the algorithm (as in Fig. 1) to solve the optimization problem.

Step 5: Conduct a load-flow process at the current candidate bus at which the BESS is installed.

Step 6: Evaluate the objective function at that point.

Step 7: Update the best solution.

Step 8: If the maximum iteration is reached, calculate optimal coefficients (Step 9); otherwise, continue optimization (Step 4).

Step 9: Obtain optimal coefficients at the current candidate bus at which the BESS is installed from Step 3.

Step 10: If the candidate bus is the last candidate, proceed to the optimal BESS installation (Step 11); otherwise, select the next candidate bus and execute the algorithm (Step 3).

Step 11: Determine the optimal siting of the BESS installation, which is the candidate bus providing the minimum value of the objective function, such as reduced power losses.

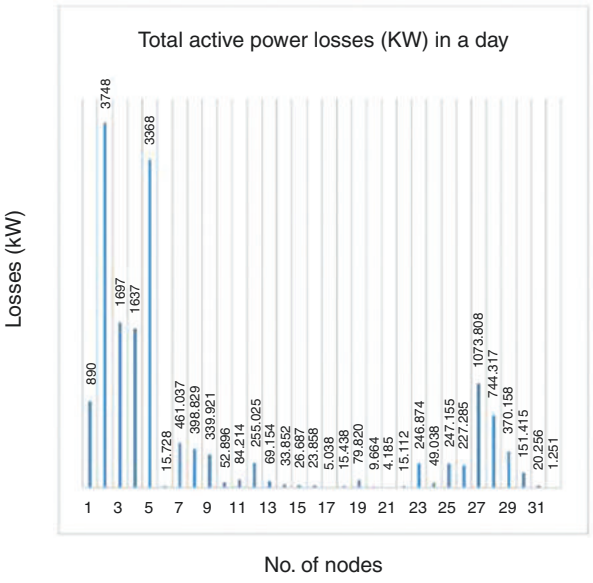


Fig. 6: Active power losses base case.

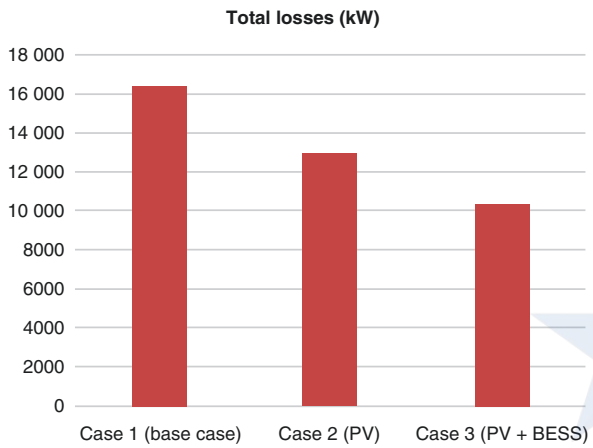


Fig. 7: Total losses in each case.

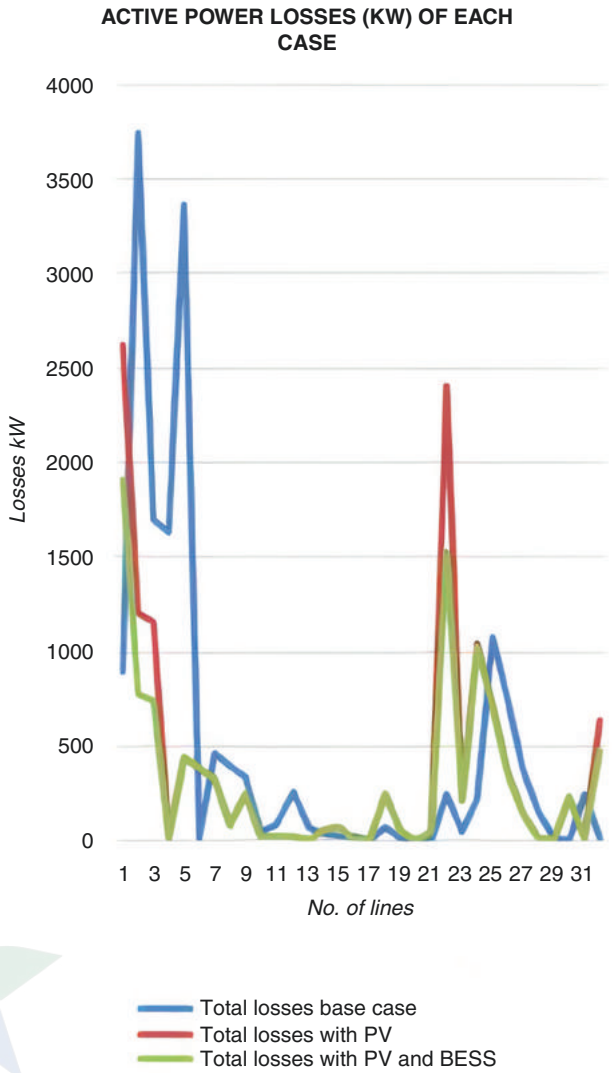


Fig. 8: Losses in kW.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/3/404/6598931 by guest on 24 March 2023

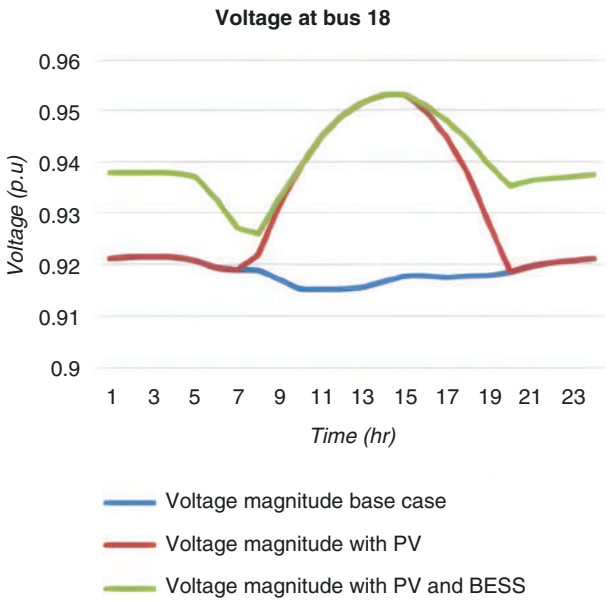


Fig. 9: Voltage magnitude at bus 18 in each case

Step 12: Substitute the obtained coefficients in the BESS unit.

2 Results and discussion

The results were obtained using DPF for model simulation and MATLAB® for the optimization process. The standard IEEE 33 bus system is taken as the base case and its data are shown in Table 2. The data are modified to create a dynamic load demand and system dynamics are studied for 24 hours with a time-step size of 15 minutes (Fig. 5). There are three cases in this study. The system load is dynamic in all three cases, which is 72.28 MWh. The load is maximum at around 9.30 to 11.30 a.m., as shown in Fig. 5. The first case is the base case that includes no PV and BESS. The total losses in that case were 16 365.57 kW. Fig. 6 shows the total active power losses in a complete day of 32 branches.

The total losses after the employment of the proposed solution are 10 246.5 kW, which means that the losses are reduced by ≤62%. The reduction in total active power losses in each case are shown in Figs 7 and 8.

The voltage profile of each bus in the base case is shown in Fig. 9. As the voltage reduces at a node with respect to an increase in the distance from the supply side, only the farthest node is studied in this research, which is bus no. 18. The voltage at bus no. 18 in each case is shown in Fig. 9. It is evident that the voltage has improved after the employment of the proposed solution. The voltage between the midnight hours has improved by 0.02 p.u. Hence the overall system voltage has been improved by 97% and it is under the stability limits.

3 Conclusion

In this research, a GA approach was utilized to find the optimal size and placement of a BESS integrated with PV and a grid in the IEEE 33 bus system. The overall system active power losses are reduced and the voltage is improved after the employment of the proposed solution. Several cases have been established to verify the results compared to the test system. The simulation results reveal that the overall system losses under dynamic load without the usage of BESSs are 16 365.57 kW and after the placement of distributed BESSs they are reduced to 10 246.5 kW. Therefore, losses in the proposed solution are reduced by 62%. The improvement in voltage is also justified in the results by the use of BESSs. Intermittent renewable-energy systems, especially at higher levels of penetration, can also be made stable by this application of BESSs. For future work, the proposed solution can be tested for other renewable-energy integrations as well, such as wind, fuel-cell, etc. The objective function can be expanded as a multi-objective optimization approach and this study will contribute to the efforts.

Conflict of interest statement

None declared.

References

[1] Yi W, Zhang Y, Zhao Z, *et al*. Multiobjective robust scheduling for smart distribution grids: considering renewable energy and demand response uncertainty. *IEEE Access*, 2018, 6:15–24.
[2] Colbeck I, Nasir ZA, Ali Z. The state of ambient air quality in Pakistan—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2010, 17:49–63.
[3] Javed W, Wexler AS, Murtaza G, *et al*. Spatial, temporal and size distribution of particulate matter and its chemical constituents in Faisalabad, Pakistan. *Atmósfera*, 2015, 28:99–116.
[4] Labbé M, Leal M, Puerto J. New models for the location of controversial facilities: a bilevel programming approach. *Computers & Operations Research*, 2019, 107:95–106.
[5] Christiansen C, Murray B. *A Storage Market Review and Recommendations for Funding and Knowledge Sharing Priorities. Energy Storage Study*. Sydney: AECOM, 2015, 97–113.
[6] Taylor M, Ralon P, Ilas A. *The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025*. Abu Dhabi: International renewable energy agency (IRENA), 2016.
[7] Giaccone L, Lazzeroni P, Repetto M, *et al*. Uncertainty quantification in energy management procedures. *Electronics*, 2020, 9:1471.
[8] Delgado J, Faria R, Moura P, *et al*. Impacts of plug-in electric vehicles in the Portuguese electrical grid. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2018, 62:372–385.
[9] Canova A, Giaccone L, Spertino F, *et al*. Electrical impact of photovoltaic plant in distributed network. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2009, 45:341–347.
[10] Denholm P, O'Connell M, Brinkman G, *et al*. *Overgeneration from Solar Energy in California. A Field Guide to the Duck Chart*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2015.
[11] Luna-Rubio R, Trejo-Perea M, Vargas-Vázquez D, *et al*. Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: a review of methodologies. *Solar Energy*, 2012, 86:1077–1088.
[12] Gupta P, Pandit M, Kothari D. A review on optimal sizing and siting of distributed generation system: integrating distributed generation into the grid. In: *6th IEEE Power India International Conference (PIICON)*, Delhi, India, 5–7 December 2014, 669–675.
[13] Mekhilef S, Saidur R, Kamalisarvestani M. Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16:2920–2925.
[14] Arul P, Ramachandaramurthy VK, Rajkumar R. Control strategies for a hybrid renewable energy system: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 42:597–608.
[15] Chen Z, Mi C, Xiong R, *et al*. Energy management of a power-split plug-in hybrid electric vehicle based on genetic algorithm and quadratic programming. *Journal of Power Sources*, 2014, 248:416–426.

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/3/404/6598931 by guest on 24 March 2023

[16] Almas Prakasa M, Subiyanto S. Optimal cost and feasible design for grid-connected microgrid on campus area using the robust-intelligence method. *Clean Energy*, 2021, 6:823–840.
[17] Awad AS, El-Fouly TH, Salama MM. Optimal ESS allocation for benefit maximization in distribution networks. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2015, 8:1668–1678.
[18] Das CK, Bass O, Kothapalli G, *et al*. Overview of energy storage systems in distribution networks: placement, sizing, operation, and power quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 91:1205–1230.
[19] Siddique R, Raza S, Mannan A, *et al*. A modified NSGA approach for optimal sizing and allocation of distributed resources and battery energy storage system in distribution network. *Materials Today: Proceedings*, 2021, 47:102–109.
[20] Xiao J, Zhang Z, Bai L, *et al*. Determination of the optimal installation site and capacity of battery energy storage system in distribution network integrated with distributed generation. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2016, 10:601–607.
[21] Jayasekara N, Masoum MA, Wolfs PJ. Optimal operation of distributed energy storage systems to improve distribution network load and generation hosting capability. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2015, 7:250–261.
[22] Wen S, Lan H, Fu Q, *et al*. Economic allocation for energy storage system considering wind power distribution. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2014, 30:644–652.
[23] Gallo A, Simões-Moreira JR, Costa HKM, *et al*. Energy storage in the energy transition context: a technology review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 65:800–822.
[24] Argyrou MC, Christodoulides P, Kalogirou SA. Energy storage for electricity generation and related processes: technologies appraisal and grid scale applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 94:804–821.
[25] Babacan O, Torre W, Kleissl J. Siting and sizing of distributed energy storage to mitigate voltage impact by solar PV in distribution systems. *Solar Energy*, 2017, 146:199–208.
[26] Marzano V, Papola A, Simonelli F, *et al*. A Kalman Filter for quasi-dynamic o-d flow estimation/updating. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2018, 19:3604–3612.
[27] Pan Z, Wu J, Abeysekera M. Quasi-dynamic interactions between electricity systems and heating systems in normal operation. In: *IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, Beijing, China, 26–28 November 2017, 21–26.
[28] Qin X, Shen X, Sun H, *et al*. A quasi-dynamic model and corresponding calculation method for integrated energy system with electricity and heat. *Energy Procedia*, 2019, 158:6413–6418.
[29] Starčević V, Zeljković Č, Kitić N, *et al*. PV system integration assessment by automated Monte Carlo simulation in DIgSILENT PowerFactory. In: *2021 20th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 17–19 March 2021, 1–5.
[30] Bitterer R, Schieferdecker B. *Repräsentative VDEWLastprofile AktionsplanWettbewerb*. Tech. Rep. M32-99. Frankfurt: VDEW, 2001.
[31] Moreno R, Moreira R, Strbac G. A MILP model for optimizing multi-service portfolios of distributed energy storage. *Applied Energy*, 2015, 137:554–566.

Downloaded from https://academic.oup.com/ce/article/6/3/404/6598931 by guest on 24 March 2023

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Portfolio optimization of power plants by using renewable energy in Iran

Seyedeh Asra Ahmadi[1], Seyed Mojtaba Mirlohi[1], Mohammad Hossein Ahmadi[2,*] and Majid Ameri[1]

[1]*Faculty of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, P.O. Box 3619995161, Shahrood, Semnan Province, Iran* [2]*Faculty of Mechanical Engineering, Shahrood University of Technology, P.O. Box 3619995161, Shahrood, Iran*

Abstract

Lack of investment in the electricity sector has created a huge bottleneck in the continuous flow of energy in the market, and this will create many problems for the sustainable growth and development of modern society. The main reason for this lack of investment is the investment risk in the electricity sector. One way to reduce portfolio risk is to diversify it. This study applies the concept of portfolio optimization to demonstrate the potential for greater use of renewable energy, which reduces the risk of investing in the electricity sector. Besides, it shows that investing in renewable energies can offset the risk associated with the total input costs. These costs stem from the volatility of associated prices, including fossil fuel, capital costs, maintenance, operation and environmental costs. This case study shows that Iran can theoretically supply ∼33% of its electricity demand from renewable energy sources compared to its current 15% share. This case study confirms this finding and predicts that Iran, while reducing the risk of investing in electricity supply, can achieve a renewable energy supply of ∼9% with an average increase in supply costs. Sensitivity analysis further shows that with a 10% change in input cost factors, the percentage of renewable energy supply is only partially affected, but basket costs change according to the scenario of 5–32%. Finally, suggestions are made that minimize risk rather than cost, which will bring about an increase in renewable energy supply.

Keywords: renewable energy; risk portfolio optimization; investment risk; power sector; Iran

Corresponding author: mohammadhosein.ahmadi@gmail.com

Received 29 May 2020; revised 12 September 2020; editorial decision 28 September 2020; accepted 28 September 2020

1. INTRODUCTION

The prosperity of modern society depends on the stability of its energy supply. Unfortunately, nowadays, most countries are facing more challenges day by day like sustainability, chiefly in the electricity area. The shortage of investiture in this area leads to instability in the continuous electricity supply, which will reduce the growth and development of countries' welfare [1]. The main reason for the lack of investment is the investment risk in the electricity sector. In the fossil fuel power generation method, energy production is based on low-cost technologies in which the devices are advancing slowly in comparison to the current rapid growth in other industries. Also, energy technologies are homogeneous, and energy prices are stable. However, today's energy planners are faced with extremely complex environments full of uncertainty and risk. With the decline in fossil fuel reserves worldwide and environmental concerns such as pollution and global warming, countries are increasingly using renewable energy in their energy supply portfolio. Environmental pollution and emission of hazardous gases to the atmosphere can cause acid rain and other environmental damages that may lead to global warming and other harsh climate problems. These negative impacts can be reduced by utilizing renewable energy sources. In addition, producing power from renewable energy resources in case of availability [2] can decrease the dependency of the country on fossil-based power technologies [3]. It is predicted that renewable energy will be the main supplier source for the required demand in the future of clean power production [4]. The advantage of renewable energy resources is that they are close to the final consumers that make them economic due to decrease in transmission costs [5]. These resources show an ability to meet the energy demand at an appropriate and fixed level in a progressive manner. It should be high-

International Journal of Low-Carbon Technologies 2021, 16, 463–475
© The Author(s) 2020. Published by Oxford University Press.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
doi:10.1093/ijlct/ctaa079 Advance Access publication 6 November 2020

lighted that the dependency on a single energy carrier increases the energy production risk. Therefore, it is necessary to diversify energy production resources so as to achieve a sustainable energy portfolio [6]. In addition, the associated return of investing in the renewable power sector makes it invaluable for investors. It has been shown that investing 440 000$ for installing four wind turbines with a grid in which 84% of its demand is supplied with renewable energy can bring back the investment in 4 years [7].

2. INTRODUCTION TO IRAN

Iran is a country located in the Middle East with a population of 83 million in 2020 [8] and is considered a developing country (Figure 1). Iran is one of the richest countries of oil and natural gas in the world. This has affected the energy system in Iran. Oil and gas have allocated 44.5 and 54.5 of the total energy share, respectively, 90% of the electricity and 80% of Iran's export share [9]. As mentioned before Iran is the second Middle Eastern country that benefits from various energy resources. In addition to abundant conventional sources of energy, like oil and natural gas, the country can exploit from large renewable energy resources such as solar, wind, biomass, geothermal, hydro, etc. Moreover, oil reserves are limited and the next generation share of these resources must be considered so that they can utilize these badly treated treasures better. Iran will face a huge increase in electricity demand in future years as a developing country. Figure 2 shows electricity consumption in Iran. Extreme subsidies for energy production from fossilized resources such as oil and gas are because Iran is a petroleum-producing country. This is one of the most important causes that renewable energies in Iran have not developed. Iran is among the 20 countries that have a share in the 75% spread of greenhouse gases due to the expansive consumption of fossil resources in providing the necessary energy. Unfortunately, Iran the OPEC's second largest producer and exporter country experienced a significant rise in energy consumption and pollutant emission in recent years among developing countries. Iran has a high per capita energy consumption compared to other developing countries. Iran has a huge amount of CO_2 emission, which has placed the country among the top 10 emitting countries [10]. Global climate change has become a potential threat, and fossil fuel consumption has had the highest contribution to greenhouse gas emissions. In 2020 the fossil fuels releasing carbon dioxide (CO_2) emission were about tones in Iran (Table 1). Air pollution means a combination of air with gases to lead to a decrease in the quality of the air. Pollutant elements are carbon dioxide, monoxide, sulfur dioxide, etc.

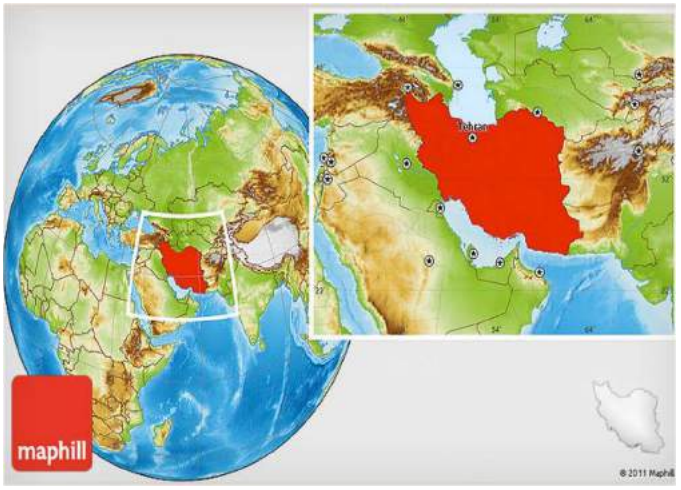


Figure 1. *Position of Iran in the Middle East [9].*

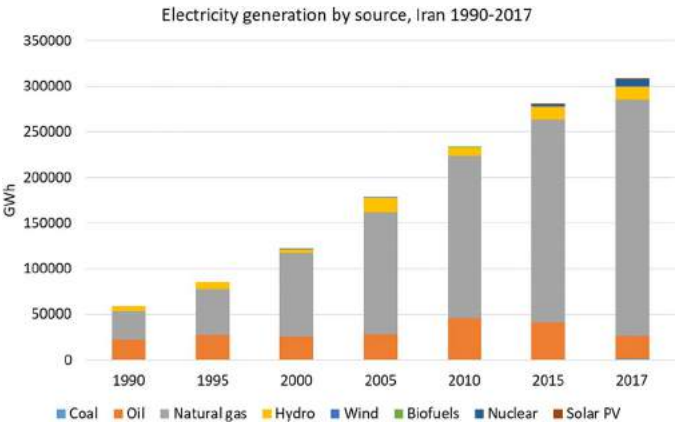


Figure 2. *Electricity consumption in Iran [10].*

Table 1. *CO_2 emission in Iran [10].*

Year	CO_2 emissions	Mt of CO_2
1990	171	Units
1995	245	Mt of CO_2
2000	312	Mt of CO_2
2005	418	Mt of CO_2
2010	499	Mt of CO_2
2015	553	Mt of CO_2
2017	567	Mt of CO_2

2.1. Iranian electricity market

Overall, electricity can be supplied from renewable and non-renewable energy resources. Renewable energy resources are considered to be a proper solution to sustainable targets in economic, environmental and social perspectives. Renewable sources of energy such as solar, biomass, wind, tidal, etc. are considered as the fuel source. However, these resources have several significant features. For example, the energy demand of remote communities can be supplied cost-effectively through renewable energy sources without imposing added investment, which is common when the demand is provided from fossil-based resources. From 25 years ago, the electricity access of residents in the developing countries has reached up to 1.3 billion, while the population growth is quite larger, i.e. 2 billion. Therefore, there are 700 million people in the studied period that cannot benefit from accessing electricity. Several affecting parameters such as cost, remoteness and demo-

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

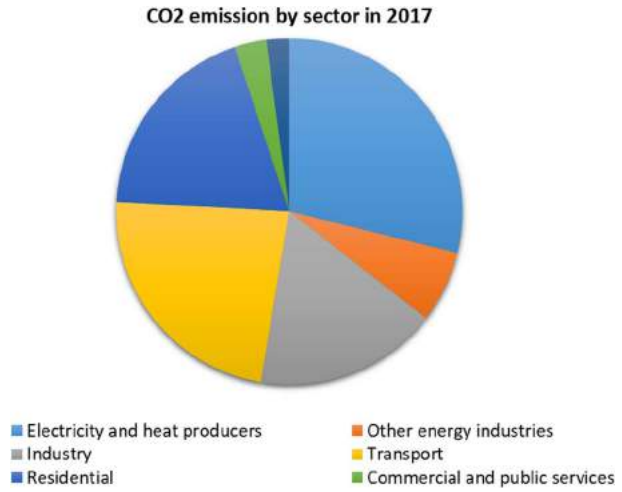


Figure 3. *CO_2 emission by different sectors in Iran [10].*

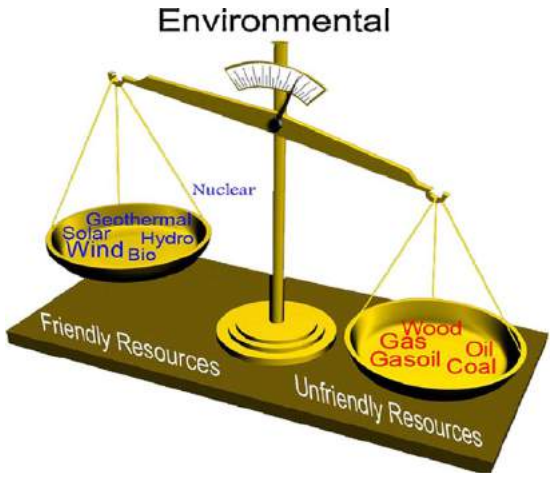


Figure 4. *Energy generation balance [13].*

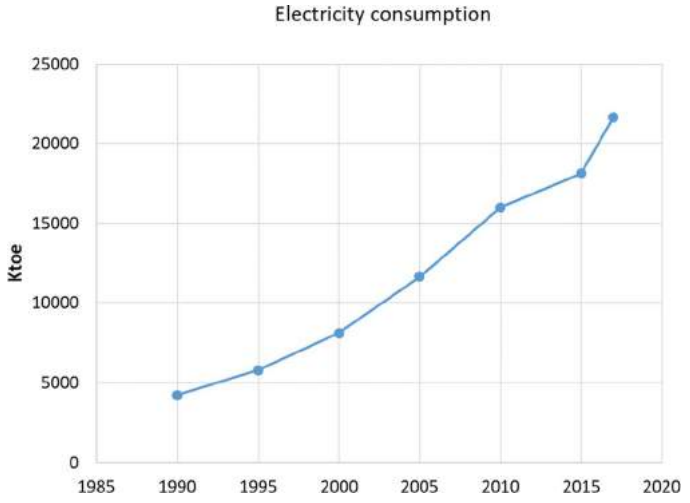


Figure 5. *Electricity generation by renewable and non-renewable sources [10].*

graphics make it difficult for the grid to provide electricity for these regions and those inhabitants. Hence, the remote area power system is a solution to supply electricity for these people [11]. As can be seen in Figure 3, in 2017, the largest amount of carbon dioxide produced belongs to the power and heat generation sector. The conventional energy systems are ecologically problematic and must be replaced by clean alternative energy systems. The life of fossil fuels is limited and the policy to burn them for their heat should be replaced by programs to save/utilize them towards achieving a sustainable development [12].

Although fossil fuel reserves are finite and the usage of fossil fuel sources has negative environmental effects. Renewable energy sources have gained significant importance due to their inexhaustibility, sustainability, ecological awareness and energy security supply. Thus. Renewable energy sources are believed to play an essential role, especially in the generation balance of electrical energy (Figure 4) [13].

Now, electrical energy is the major energy carrier that is utilized mostly in industries and in services. Hence, power consumption is one of the main factors in the development of societies. It is predicted that the total power consumption would be 33 000 TWh in 2035, which is two times more than that of 2008 [14]. This implies that electricity production capacity should be increased to respond to this growing demand. Therefore, installing new power plants is vital for this target since these resources are environmentally benign, adoptive, unlimited and also a proper choice for distributed power production. As time passed, people are becoming more and more aware of the hazardous effect of fossil fuels and the benefits of renewable resources; therefore, it is predicted that the portion of renewable resources will be increased in the future's energy portfolio. This statement is undeniable in the whole world, even for the countries in the Middle East that produce oil and it means that these countries will supply their electricity demand up to 16% from renewable energy resources in 2016, which is 16 times more than that of 2008 [14]. For all the reasons mentioned, it is necessary to add renewable energy along with fossil fuels in the energy supply portfolio for achieving sustainable economic growth in countries. However, it should be noted that the terms of sustainability are not defined sustainable for a long term period and it is changing at different times. Therefore, using an alternative source of power production with greater sustainability values would be an advantage to reach long-term sustainability.

Challenges of the country's energy sector, such as high-energy intensity, low-energy efficiency and productivity, high loss in various sectors of production, conversion and supply of energy, application of old technologies and high-intensity energy and high greenhouse gas emission rate, make it necessary to pay much more attention to renewable energy in the country. Adding these energy resources to the electricity basket will lead to diversity in energy resources, sustainable development and lead to energy stability in the country. In 2016, of the total 7 676 483.9 MW of power plant capacity, 11 836.2 MW and 256.4 MW were generated by renewable power plants, including and excluding hydroelectric power plants, respectively. Regarding the importance of renewable energies, the legislator in article 50 of the Islamic Republic of

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 2. *Contribution of different power generation technologies in the electricity production portfolio [15].*

Technology	Share in electricity production portfolio (%)
Steam power plants	20.7
Gas turbine power plants	36.4
Combined cycle power plants	25.5
Diesel power plants	0.6
Hydroelectric power plants	15.1
Wind, solar and nuclear power plants	1.7

Table 3. *Fossil fuel consumption in power plants [15].*

Type of fuel	Value
Natural gas	61.8 billion cubic meters
Mazut	4.5 billion liter
Diesel fuel	9.5 billion liter
Blast furnace gas	2.4 billion cubic meters
Coke gas	9.6 billion cubic meters

Iran's Sixth Five Year Economic, Social and Cultural Development Plan Act obliges the government to maximize the share of renewable and clean power plants with the priority of non-governmental (internal and external) investment. The maximum use of internal capacity should be considered to reach at least 5% of the country's electricity capacity by the end of the implementation of the plan act. In 2016, the required power of the country is provided by governmental and private power plants, including 20 steam power plants, 53 turbine gas power plants, 25 distributed power plants, 21 combined cycle power plants, 46 diesel power plants, 56 hydroelectric power plants (large, medium, small, mini), 239 wind turbines, 17 PV solar farms, 5 biogas-fired power plants and 2 thermal recycling power plants. Of these, 6 steam power plants, 28 turbine gas power plants, 25 distributed power plants, 17 combined cycle power plants, 4 hydroelectric power plants, 228 wind turbines, 11 PV-solar farms, 5 biogas power plants and 2 thermal recycling power plants are owned by the private sector. Table 2 shows the portion of each technology in the portfolio of power generation technologies in Iran in 2016.

Table 3 also shows the consumption of fossil fuels in power plants in Iran in 2016. Due to recent policies to make more use of natural gas in power plants, widespread efforts have been made to deliver gas pipelines to power plants, since this fuel in comparison to others reduces the environmental impacts have an advantage of simple operation and also reduce the maintenance and operations costs [15].

As described in the preceding sections, four important sources of risk for investors in the electricity sector include investment and fuel costs, also operating, environmental and maintenance costs. According to Iranian legislation, fossil-based power plants have to pay 1% of their sales as a penalty for tax. Therefore, the environmental cost is assumed to be equal to that amount. The average of these four types of costs over the past 18 years is shown in Figure 6, Figure 7 and Figure 8 [15].

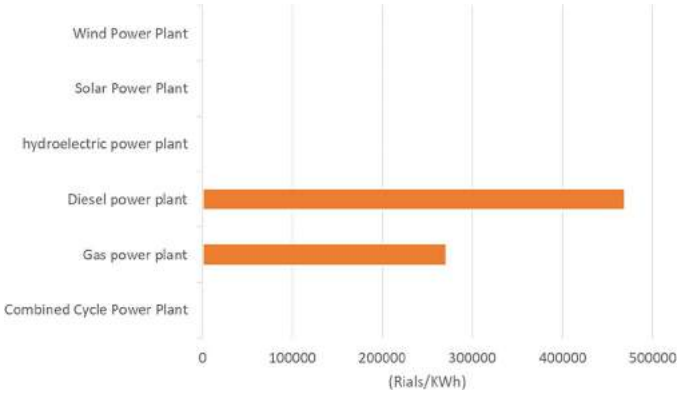


Figure 6. *Comparison of fuel cost through each technology [16].*

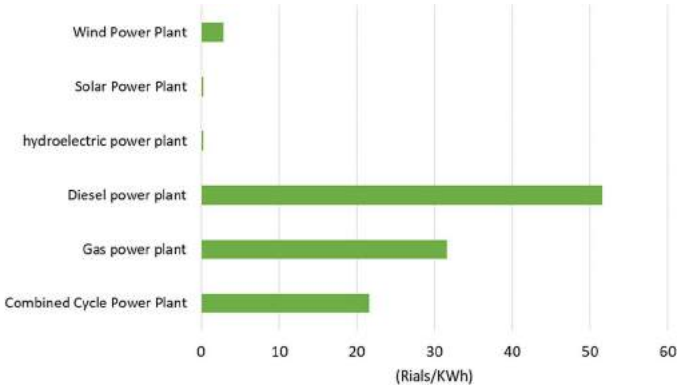


Figure 7. *Comparison of operation and maintenance through each technology [16].*

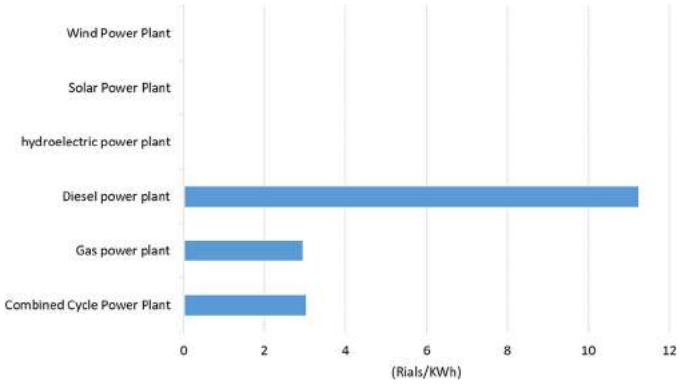


Figure 8. *Comparison of environmental taxes through each technology [16].*

3. STATEMENT OF THE PROBLEM

The main goal of this research is to optimize the existing risk in the power generation sector. One of the ways that are used to reduce the risk is known as diversifying the energy portfolio. According to Markowitz, portfolio diversification will reduce portfolio risk. This paper seeks to test the risk reduction effects of diversification in Iran's electricity portfolio. Therefore, introducing renewable energies and using these technologies alongside the existing tech-

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

nologies, such as fossil fuel power plants, sound to be a viable solution. The rationale behind the diversification of stocks is that the overall risk of holding a large number of shares is far less than the risk of holding a small number [16]. The effects of diversification and portfolio formation on risk reduction have been extensively studied by financial experts [17], but it should be noted that portfolio management is not about the number of shares held, but its importance depends on the nature and degree of portfolio compound risk [16]. Brealey made extensive research and demonstrated that a portfolio of 11 stocks, selected according to risk and diversification characteristics, has significantly less risk than a portfolio of 2000 stocks selected regardless of the risk criterion [4]. The establishment and optimization of the portfolio in financial markets reduce the unsystematic risk of investment and drastically increase the investment performance [16].

Risk aversion is an intrinsic property of investors, so in complex and risky environments such as the investment environment, how to create optimal risk-based portfolios and reasonable efficiency and outcome is crucial. This target of this research is to provide a reasonable answer to the following two questions:

- Will the expansion of the portfolio of power generation technologies by adding renewable-energy bring about an increase in efficiency and reduce risk?
- Is it reasonable to add renewable energy to the country's electricity portfolio?

Awerbuch and Berger [18] were the first to apply and to implement the portfolio average-variance approach to the portfolio of regulated electricity markets in the EU electricity portfolio. In contrast, Bar-Lev and Katz [19] used a more efficient portfolio model that displays the risks associated with production costs such as construction, operating, maintenance and fuel costs. Based on this model, the authors examined the impact of using different production technologies. The results showed that the addition of wind energy or renewable energy technologies to fossil-fuel technology improved the overall portfolio efficiency. Awerbuch [20] explored the ability to reduce fossil fuel price volatility through portfolio optimization. It has been shown that renewable energy technologies can reduce generating costs, even if they include relatively higher costs, regardless of their potential to increase energy stocks. This result may seem irrational at first sight, but it is completely in line with financial theories.

Risk reduction of the electricity market in Iran due to the concept of investment risk optimization is examined by this section. Solar energy has the potential to meet the world's future needs as a renewable resource. Due to specific geographical conditions, Iran has great potential for using hydro, wind and solar energy and these God-given blessings can best be exploited if new investments are made. This country is located in a region with about 300 sunny days, which is placed as the top countries in terms of solar irradiation. Hence, using solar and wind energy for a variety of reasons such as easy access and ease of conversion, adaptability to the environment life and their renewable feature is very desirable. If Iranian deserts will equip with radiant

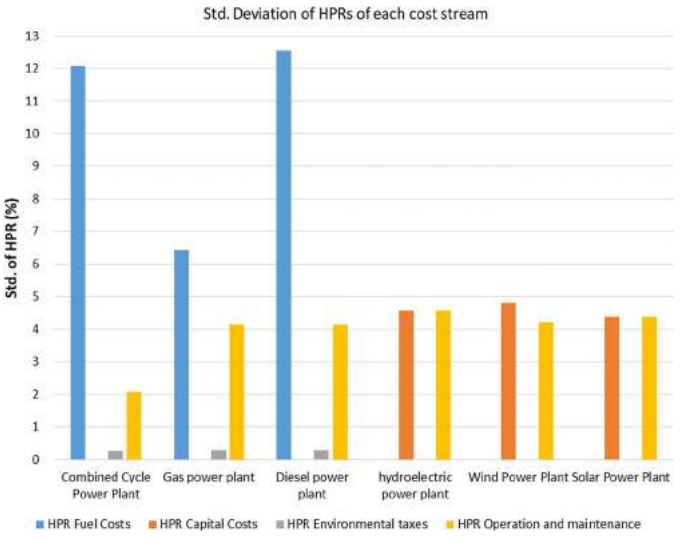


Figure 9. *HPR standard deviation of each production cost for different power plants (%).*

energy-receiving technologies, Iran has this potential to supply the energy needed for part of the Middle East region and also become an active country in exporting electricity. Fossil resource constraints, the high annual consumption of energy in Iran, the expulsion of Iran from oil exporter countries from the last century and the consequent disruption of oil exports make the country's development process severely affected if there is no planning to progress. Investing in the solar power industry is an investment in energy independence, and countries that can expand their solar infrastructure and electricity grid faster will be one step ahead of their opponents in competing for electricity generation and economic development.

Holding period return (HPR) is defined as an efficiency index of a portfolio as the percentage of changes in spending flows in 1 year in comparison to the previous year. The portfolio risk equals the standard deviation of the HPR of production costs. HPR is calculated as follows:

$$HPR = (EV - BV)/BV \tag{1}$$

In Eq. 1 EV equals the cost of the year 't + 1' and BV is equal to the cost of the year 't' [21]. For all cost streams, the value of HPR is calculated and is illustrated in Figure 9.

As shown in Figure 9, fossil fuel power plants have a cost, risk percentage of fuel cost risk, while renewable power plants do not. In other words, renewable power plants have a high investment cost.

Portfolio theory is commonly used in the context of financial securities in the estimation of the probable risk of stocks and returns perform based on annual volatility. In the case of the electricity production portfolio, costs are calculated as production costs (Rials per kWh) [18]. This analysis uses a similar concept of portfolio costs (technologies) and their returns and their share of

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

the portfolio's overall risk.

$$E\left(\sigma_p\right) = \sqrt{\left[\sum_{(i=1\ to\ n)} w_i^2\sigma_i^2 + \sum_{(j=1\ to\ n)} \left(w_i w_j \mathrm{cov}_{ij}\right)\right]} \quad (2)$$

3.1. Methodology: simulation and optimization for portfolio risk analysis

One of the methods that is used to calculate the portfolio risk and return period is the portfolio theory. In this study, a similar approach as Awerbuch and Berger [18] is used to calculate the costs of portfolio and return period to evaluate the overall portfolio risks. The schematic layout of this experiment is illustrated in Figure 10.

3.2. Mathematical formulation

The expected cost of the portfolio is defined as the average expected cost of production of the assets of each technology:

$$E\left(c_p\right) = \sum w_i \bullet E\left(c_i\right) \ \ where\ i = 1.2.\ldots.n \quad (3)$$

where w_i is the share of ith technology in the portfolio, and $E(c_i)$ denotes the expected average cost of production in the ith technology in Rials per kW.

Expected portfolio risk ($E(\sigma_p)$, where σ_p is the standard deviation of the portfolio) is estimated as annual changes in production costs. This is also a weighted average of the variance of the costs of any technology that is considered by their co-variance.

$$\mathrm{Minimize}\left(E\left(\sigma_p\right)\right) = \mathrm{Min}\ \sqrt{\left[\sum w_i^2\sigma_i^2 + \sum \left(w_i w_j \mathrm{cov}_{ij}\right)\right]} \quad (4)$$

where $i \neq j.i = 1.2.3.\ldots.n$ and $j = 1.2.3.\ldots.n$

subject to $\sum w_i = 1$ and $i = 1.2.3.\ldots.n$

$$w_i^{min} \leq w_i \leq w_i^{max}$$

$$\sum w_i^{RE} \geq 0/15$$

where σ_i and σ_j are the standard deviations of the HPR of the annual costs in the years of i and j, respectively, and ρ_{ij} is the correlation coefficient between them. Here the co-variance of the HPRs of the two different assets of i and j is defined as $\mathrm{cov}_{ij} = (\rho_{ij}\sigma_i\sigma_j)$. The value of HPR is calculated for each technology and cost flow. Cost flows are defined as fuel, operating and maintenance costs and so forth. The smaller the ρ_{ij} among portfolio assets, the greater the diversification that ultimately reduces the expected risk $E(\sigma_p)$. To be specific, increasing portfolio diversification by more technologies addition can reduce investment risk, which may be due to the lack of correlation between portfolio components. Also, it supports the notion that adding renewable energies to the portfolio of risk-free technologies of fuel costs and environmental costs can reduce the expected risk of electricity supply.

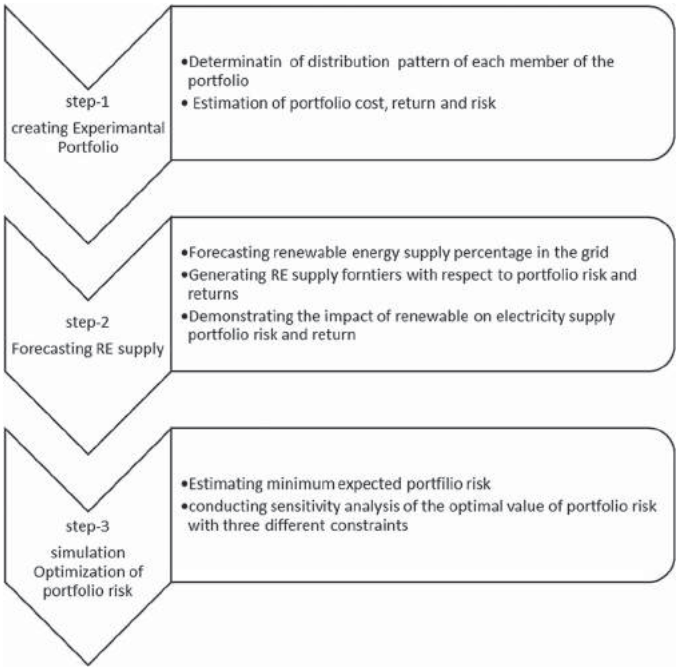


Figure 10. *Schematic illustration of the overall structure of the experiment [22].*

Table 4. *Properties of the current portfolio of power generation technologies.*

Technology	$E(c_i)$ Rials per kW	$E(\sigma_p)$ (%)	The portion of each technology (%)
Combined cycle	16833.9618	0.38	25.5
Steam	905239.2258	21.75	20.7
Turbine gas	7967434179	4.13	36.4
Diesel	26558507805	4.13	0.6
Hydroelectric	29693368.75	4.57	15.1
Wind	28181189	4.80	1.1
Solar	2942887.5	4.39	0.6

Minimizing the portfolio investment risk (E (p)) under given limitations of allocating various power production technologies in the portfolio in the target function of the model is used in this study. Considering the existence of n different power production technologies in the portfolio, the optimization procedure can be expressed as follows:

where, w_i, w_i^{min} and w_i^{max} represent the share of each technology, lower and higher limits of each technology in the portfolio, respectively. $\sum w_i^{RE}$ is the total capacity of renewable power production in the portfolio, which performs as a limiting factor in the optimization process. In the proposed model the need for renewable energy is compared with the basic scenario and it is predicted to be 15%, based on the available historical data in the energy balance reports and reported data from the Energy Ministry. The major objective of this limitation is to specify the optimal value of the power production capacity in Iran.

Downloaded from https://academic.oup.com/ijlct/article/16/2/463/5908000 by guest on 21 March 2023

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Table 5. *Comparison cost, portfolio risk and cost with and without renewable technologies.*

	Risk of the portfolio	Expected portfolio cost (Rials per kWh)
Fossil-based technology without renewables	0.3924	727324766.5
Diversified portfolio (fossil technologies in addition to renewable technologies)	0.0174	65185381

3.3. Simulation

Based on the current structure of electricity production in Iran, Table 4, using the share of each technology from the existing portfolio to the total electricity mix that has existed since 2016, an experimental portfolio has been created. Each scenario is based on the cost of production by the weighted average cost of production in Rials per kWh and standard deviation of HPRs from the flow of input costs and expected return on investment of any technology that is calculated based on the reverse production costs are defined (Table 5).

Each fossil fuel technology is determined by a span of contributions and distribution patterns based on its historical share over the past 18 years in the experimental portfolio set. Finally, due to the historical data and using the standard statistical computing mechanism of Oracle Crystal Ball Simulation Software, the best distribution for each technology is estimated.

3.3.1. *Simulation optimization model*

In comparison to conventional optimization techniques, simulation optimization can deal with more scenarios. Besides, simulation methods have this potential to consider uncertainties in the inputs, which is the reason behind the utilization of this technique in this research. The simulation optimization can predict the target outputs while different sources of uncertainties and different parameters are applied, which may affect the performance of the optimization technique [23]. In order to obtain an invaluable output from a statistical manner, two discrete functions are happening in a logical manner based on metaheuristic search procedures that used the output response of the simulation model in parallel. This simulation, which is known as a system assessment stage, specifies the significance of inputs on the basis of pre-specified probability distributions and produces the most appropriate output for an optimizer module. The module then produces new inputs that are assessed by the simulation. This process is iterated for 10 000 times, with an exclusive arbitrary number each time, which is generated by the model and is progressively continued till it reaches to its global optima. Because of the presence of the uncertainties in the inputs and the degree of complicatedness in the output targets, it is difficult to obtain the solution space with normal optimization approaches and it is predicted that using conventional optimization techniques may lead to stop in the local optima instead of the global optima. This problem can be surmounted by applying adoptive memory and population sampling methods with the help of metaheuristic optimization techniques. Therefore, the Crystal Ball OptQuest is utilized, which benefits from the above-mentioned advantages.

3.3.2. *Simulation technique*

Spreadsheet calculation and simulation approaches are used in this proposed risk-analysis model, to evaluate the influence of different inputs on the targets and objectives of the system. Statistical distributions were employed to determine the different inputs of the problem. A model is simulated with the Monte Carlo method, which randomly and continuously produces values for uncertain values. The used probability distributions are arbitrary and independent. In this model, the random probability generated for one trial is completely dependent and does not have any effect on the next value. Crystal Ball applied the Monte Carlo model by employing spreadsheet values with explicit estimations, assumptions and targets in a three-phase procedure including producing an arbitrary number for each assumption pre-given probability distribution, recalculation of the spreadsheet and producing an estimated value in the designed model. This procedure is progressively continued until it comes to its defined stopping point, here 1000 iterations. In order to avoid repeated numbers, a Multiplicative Congruential Generator ($[(r \leftarrow (62089911.\ r).\ \mathrm{mod}(2^{31} - 1)]$) is employed [22].

4. RESULT

At the first step of the examination, each technology in the experimental portfolio was designed to separate risk–return and risk–cost diagrams to illustrate the overall relative position of each technology in terms of risk, cost and return characteristics. Simulations were performed to predict the percentage share of renewable energy (within the experimental sample of electricity generation) under certain circumstances concerning generation costs and risk. Finally, simulation and optimization were performed to minimize portfolio risk.

4.1. Risk assessment of cost and return of the portfolio

As discussed earlier, HPR as the output and risk dependent on each technology is the standard deviation of the annual HPR changes of each input cost component. This shows how a mixture of technologies in a portfolio can treat in terms of risk reduction and efficiency. Using equations (3) and (4) the return and risk for each technology based on the return maintenance behavior of the diverse input costs are estimated (Figure 11, Figure 12).

4.2. Forecast of renewable energy supply

Simulations have three purposes. The first objective is to predict the amount of renewable energy supply in Iran without any tech-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/ijlct/article/16/2/463/5908000 by guest on 24 March 2023

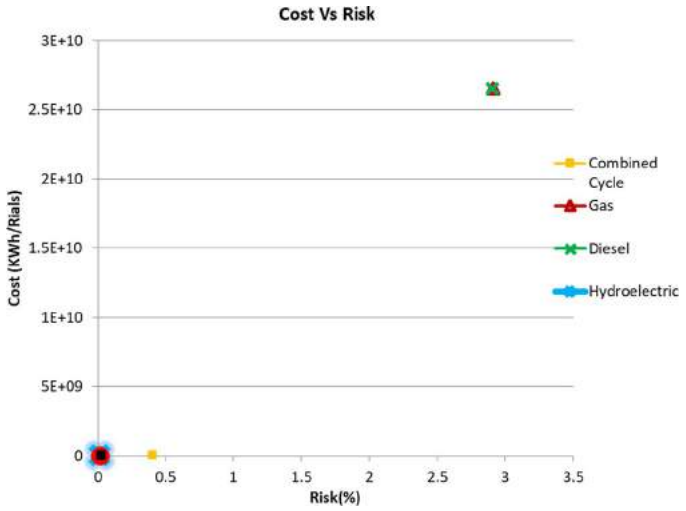


Figure 11. *Risk–cost diagram.*

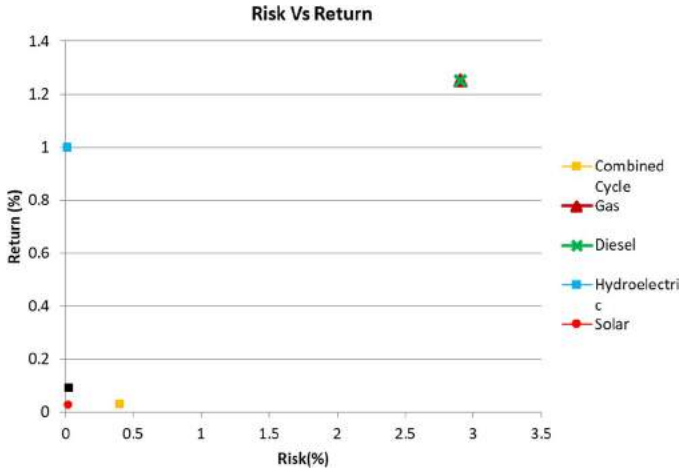


Figure 12. *Risk–return diagram.*

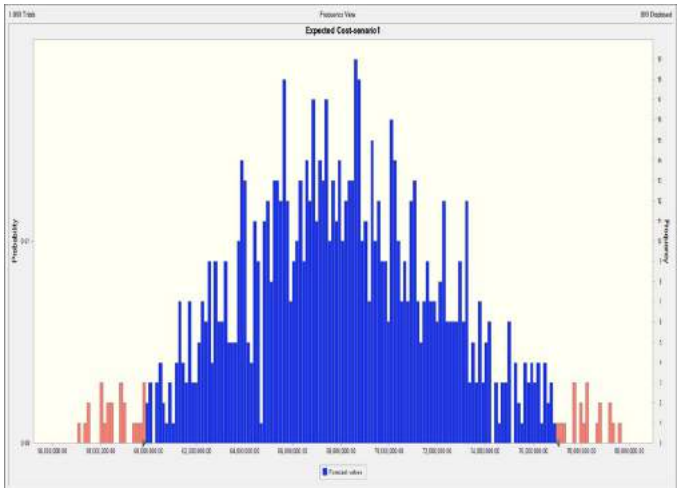


Figure 13. *Expected expenditure in scenario 1.*

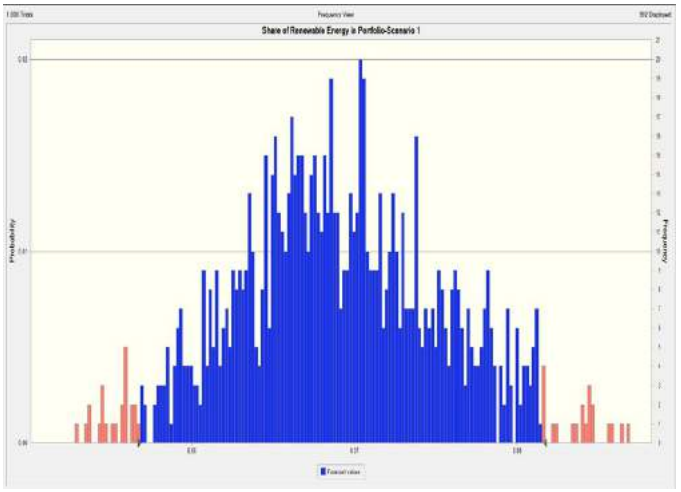


Figure 14. *Predicting the share of renewables in scenario 1.*

Table 6. *Distribution functions and parameters of portfolio technologies.*

Technology	Distribution function	Parameters
Combined cycle	Lognormal	Location: 0.73 Mean: 2.56 St. Dev: 11.99
Gas turbine	Normal	Mean: 1.71 St. Dev: 4.14
Diesel	Wiebull	Location: −0.87 Scale: 1.91 Shape: 0.65164
Hydroelectricity	Lognormal	Location: 1.02 Mean: 0.9 St. Dev: 2.27
Solar	Wiebull	Location: −0.89 Scale: 1.46 Shape: 0.57159
Wind	Wiebull	Location: −0.88 Scale: 1.38 Shape: 0.54277

nical, financial or environmental constraints. The second goal is to create two distinct boundaries for renewable energy supply, which relate to the expected risk and return, respectively. Finally, it aims to show the impact of renewable energy on the technology portfolio of electricity in terms of risk and expected costs in Iran.

As can be seen in Table 6, with the assumptions of the presented distribution functions of input technologies in the simulation procedure of the power plant, a simulation model is predicted to supply up to 10–15% of whole electricity in Iran over the next decade; until 2028, it leaves all other conditions to control these energies. We use a simple prediction method that optimizes the prediction parameter to lower the error between historical data and the appropriate value for a given number of periods.

4.3. Portfolio risk simulation optimization

So far, the importance of the portfolio risk of electricity generation and its impact on electricity supply has been discussed. It was

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/ijlct/article/16/2/463/5900000 by guest on 24 March 2023

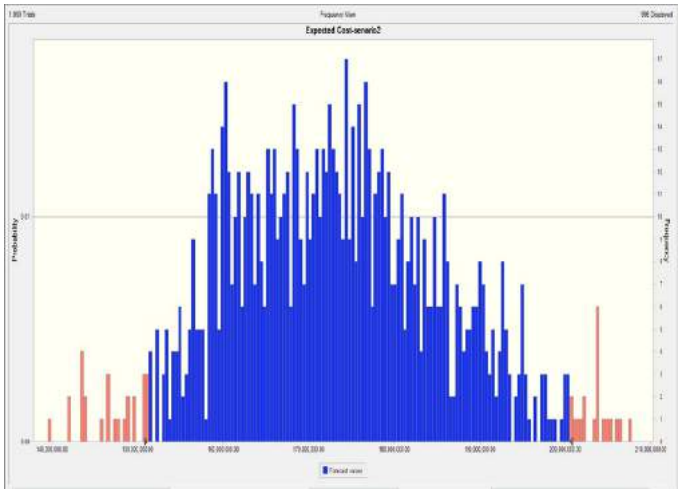


Figure 15. *Expected cost in scenario 2.*

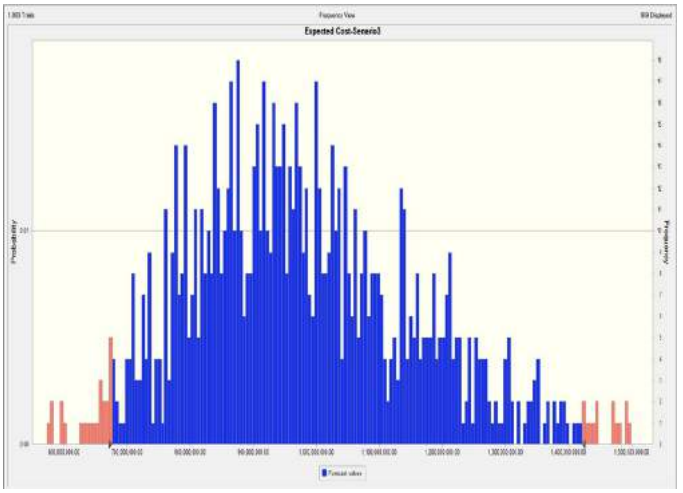


Figure 17. *Expected cost in scenario 3.*

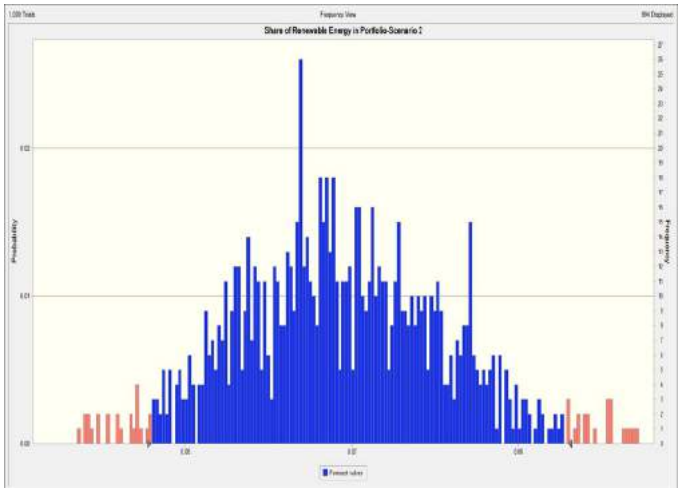


Figure 16. *Predicting the share of renewables in scenario 2.*

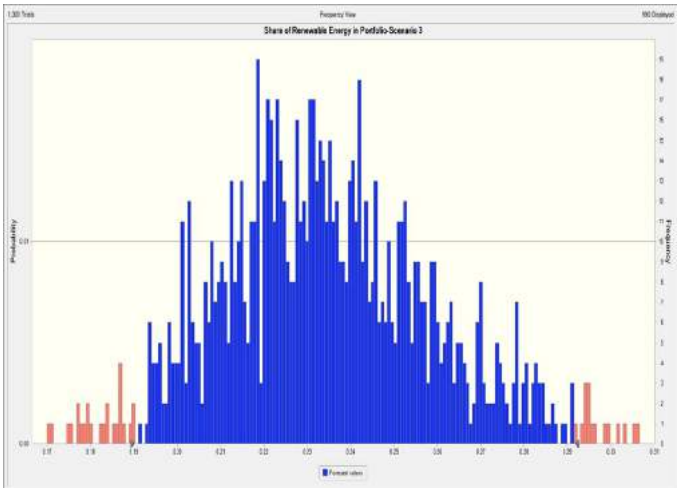


Figure 18. *Predicting the share of renewables in scenario 3.*

also found that the risk-based portfolio allows for more renewable energy in the portfolio than the cost-based portfolio. In the third set of simulations, an optimization test based on the risk simulation of the test portfolio was performed to estimate the minimum expected portfolio risk. The examination was continued in three different limited positions to analyze sensitivity. It is assumed that three main input constraints could affect the risk pattern of a renewable energy portfolio in Iran. Based on the literature review, it was identified that fossil fuel prices [24], capital costs for renewable energy production [25] and environmental costs [26] can be considered as three key factors that affect asset risk and costs. Therefore, we need to analyze the portfolio risk sensitivity using these three main input factors. Optimization was done by relying on simulations with the need for renewable energy supply exceeding 15% to make baseline scenarios. Three further tests with three different scenarios to examine the effects of these constraints on objective performance i.e. expected investment risk, and related variables such as portfolio cost were performed after the simulation. Finally, using these four simulations, four optimal risk levels were evaluated for a test portfolio. The simulation results of each of the scenarios are discussed below.

4.3.1. *Baseline scenario with minimum renewable energy supply*

The baseline scenario (first scenario) is optimized with expected investment risk E (σ_p) under the set of initial decision parameters and the minimum renewable energy commitment limit of 15% or higher. The result shows that the minimum risk trading is 0.02, which is just below the limit of the supply of renewable energy at risk factor, the export percentage of renewable energy in the reliability range of 0.95 could be in the range of 0.05–0.10 of the total national supply. Table 7 illustrates the optimization results.

This result shows that in the Iranian electricity market, the performance of the renewable energy sector is low. Now, Iran's electricity portfolio has a risk of 0.017 and a supply of 15%

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/ijlct/article/16/2/463/5908000 by guest on 24 March 2023

Table 7. *Optimized portfolio, first scenario.*

Parameters	Objective function	Optimized value
Objective function: expected risk of the portfolio	Minimization	0.01741064
Limitation: minimum renewable technology supply	RE ≥ 15/0	Certainty range: 0.95 Upper limit: 0.09 Lower limit: 0.05
Expected portfolio cost	—	Certainty range: 0.95 Upper limit: 86100638 Lower limit: 55272371 (Rials per KWh)

Table 8. *Optimized portfolio, second scenario.*

Parameters	Objective function	Optimized value
Objective function: expected risk of the portfolio	Minimization	0.01741844
Limitation: minimum renewable technology supply	RE ≥ 15/0 10% increase in fossil fuel prices	Certainty range: 0.95 Upper limit: 0.10 Lower limit: 0.05
Expected portfolio cost	—	Certainty range: 0.95 Upper limit: 213219116 Lower limit: 139516951 (Rials per KWh)

of renewable energy. The simulation results show that Iran can reduce the expected investment risk by as much as 37% but cannot meet the minimum renewable energy supply limit (15%) (Figure 13 and Figure 14).

4.3.2. *High fossil fuel price scenario (second scenario)*

Simulation of the second scenario is essentially a sensitivity analysis that examines the huge effect of high fossil fuel prices on the risk and potential costs of investment and its impact on the amount of renewable energy supply. This scenario is simulated by a 10% increase in fossil fuel prices across the border compared to the initial scenario. As a result, there is a slight increase in expected investment risk compared to scenario 1, as well as slight changes in the amount of related renewable energy supply (Figure 15 and Figure 16). This result expressed that the rise in fossil fuel prices will not cause much change in investment risk, but astonishingly, it might not enhance the supply of renewable energy. The main cause of such behavior may be the short-term and unpredictable nature of such prices, which is not enough for investors to switch to renewable energy technologies. On the whole, it has been discovered that in periods when fossil fuel prices are high, investment in renewable energy research and development activities has increased significantly, but unfortunately not in actual energy supply. The reasons might be a relatively long period for renewable power plants to start operating since the decline in fossil fuel costs, as well as a slight effect on reducing the additional financial burden caused by rising fossil fuel prices. Another reason may be the fact that policymakers and investors are unaware of the overall benefits of renewable energy. At the policy level, this can supply more incentives for governments and legislators to create sustainable policies for the development of renewable energy. Table 8 displays the simulation results.

4.3.3. *The scenario of high costs of renewable energy capital (third scenario)*

Scenario simulation results show three different effects of increasing renewable energy capital costs against expected risks and costs. According to the simulation results, high-speed renewable energy inputs into the portfolio increase the likelihood of expected investment as well as portfolio. In Iran, solar production is still very costly; however, it has very little risk. Therefore, despite the low-risk advantage, wind and solar technologies need significant investment. In this scenario, it is tried to evaluate the effects of a 10% rise in the cost of renewable energy capital on expected investment risk (Figure 17 and Figure 18). Table 9 lists the optimal results for the key parameters. The simulation results show that production costs are predicted to increase by 10–21% and renewable energy by 12–24% in comparison with the baseline scenario. In addition, it is observed that the risk of scenario 3 is ∼2% lower than the baseline scenario.

5. CONCLUSION

It has been monitored that the risk of the portfolio can be lowered by integrating renewable energies; meanwhile, the portfolio supply costs and return can be increased. Considering the basic status of the experimental portfolio, portfolio risk can be reduced through optimization in comparison to the present status while external factors seem to be constant. This expresses the signifi-

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Table 9. *Optimized portfolio, third scenario.*

Parameters	Objective function	Optimized value
Objective function: expected risk of the portfolio	Minimization	0.01531107
Limitation: minimum renewable technology supply	RE ≥ 15/0 10% increase in investment costs of renewable technologies	Certainty range: 0.95 Upper limit: 0.33 Lower limit: 0.17
Expected portfolio cost	—	Certainty range: 0.95 Upper limit: 1827357216 Lower limit:573518636 (Rials per KWh)

Table 10. *Comparing different scenarios.*

Scenario	Expected risk	Share of renewable energy in the portfolio (%)	Expected cost (Rials per kWh)
Portfolio without renewable energy	0.3924	0	727324766.5
Baseline scenario (first scenario)	0.01741064	Min:5 Max:9	Min: 55272371 Max: 86100638
Second scenario	0.01741844	Min: 5 Max: 10	Min: 139516951 Max: 213219116
Third scenario	0.01531107	Min: 17 Max: 33	Min: 573518636 Max: 1827357216

cance of two main policy decisions in the fields of investment in the energy sector. It may benefit to reduce the portfolio risk and also supplying from a variety of renewable energy resources would lower the investment risk.

The associated risk with the power sector is rising as a result of the high status of uncertainties. This is complicated as several policies are imposed and also the necessity of environmental protection actions. This investigation was performed to illustrate the significance of explicating the portfolio risk and also to demonstrate the possible alleviation by adding renewable energy resources. Based on our obtained results, the input cost factor is a crucial item when a renewable resource is added to the portfolio and the portfolio risk is proportional to this input cost factor. Also, an increase in the CO_2 price brings about a side effect on the contribution of renewable energy in the portfolio and in addition boosts the utilization of other cleaner technologies such as liquefied natural gas and hydropower.

Based on past results, it was observed that renewable energies integration into the electricity portfolio could substantially reduce the probability of expected investment risk. As it was seen, the test portfolio risk was reduced by 37% by adding renewable energies compared to non-renewable energies. The change is significant, but it can increase expected production costs and expected return on investment too. In the original scenario where there is no significant restriction, the expected investment risk is reduced in comparison with the current condition. This illustrates the importance of two important policy decisions regarding energy investment. First, it emphasizes the advantage of reducing portfolio risk for investors; second, it suggests that using all available and diversified energy sources can help to reduce the risk. On account of the high level of market uncertainty, investing in the energy sector in today's world is at high risk. Environmental protection measures and other policies complicate the condition. To date, in the energy planning sector, the dominant paradigm of cost minimization and risk minimization has been implicit, which is reflected in the estimates. The goal of this study is to show the importance of the apparent risk of portfolios as well as the risk that can be mitigated by using of portable renewable energy. Our modeling results also illustrate that portfolio risk with a renewable energy component is susceptible to changes in input cost factors, and therefore, as portfolio cost factors increase, portfolio risk increases. In essence, the standard deviation of the price fluctuation is the key to determining the risk portfolio. Therefore, the risk of this portfolio is not sensitive to changes in fossil fuel prices and does not affect the overall price. The important conclusion can be that even if fuel price volatility is high if the price volatility is high, the investment risk will still be high, which can reduce investment in renewable energy and thus investment risk. Sensitivity investigations also illustrate that with a 10% alter in input costs, the percentage of renewable energy supply is only partially affected, but portfolio costs change from 2.5 to 21% in the scenario. It is a challenge even with the portfolio risk optimization approach to choose a style for Iran that can enhance the share of renewable energy. As shown in Table 10, only scenario 3 is capable of providing at least 15% renewable energy. Scenario 3 has the least risk compared to other scenarios. But the total cost increases by 28% compared to the current portfolio cost of Iran. So, at least 28% in cost is anticipated for achieving a low-risk portfolio with a high renewable energy

Downloaded from https://academic.oup.com/ijlct/article/16/2/463/5908000 by guest on 21 March 2023

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

source. Therefore, continued government support is required to manage the three most important subjects of cost, risk and credit. Scenario 3 is the best scenario to offer because it has the least risk and the highest share of renewable energy. It has also considered the possibility of increasing the cost of using renewable energy, which is a logical issue. So in exchange for some extra cost, a low-risk portfolio with a higher portion of renewable energy can be achieved. Achieving this optimized portfolio and reducing the use of fossil fuels in Iran's electricity portfolio will reduce emissions of pollutants, environmental pollution and other renewable energy benefits.

To conclude, a summary of the findings is as follows:

1. Reducing investment risk should be one of the clear goals of energy sector investors.
2. Adding renewable energy to the portfolio can raise the cost of portfolio production. On the other hand, it can also lower investment risk and related costs.
3. Price volatility is not the main reason for high investment risk. Therefore, this policy should be designed to stabilize such fluctuations and therefore require government intervention.
4. Changes in environmental costs have little impact on renewable energy risk and supply. Therefore, increasing environmental costs does not motivate investors to bring finance into renewable energy.
5. Considering the risk, the concept of a positive correlation between rising fossil fuel prices and investment in renewable energy may not be taken into account. This finding needs further studies on the behavior of renewable energy investments in fossil fuel prices.

6. FINDINGS

- The power sector investors should highlight investment risk alleviation.
- The portfolio's generation cost can be increased as a result of integrating renewable energies. However, this can lead to a decrease in portfolio risk and risk hedging costs.
- Variations in price state the major reason behind the risk of high investment. Hence, it is more crucial to regulate the price changes instead of decreasing or controlling the output actual price. So, government intervention through policy-making can be useful to soothe such variations.
- It has been monitored that the carbon tax's effect on the portfolio risk and also on the renewable energy supply can be neglected. Thus, increasing the carbon tax is not encouraging for investors to invest in renewable energy sectors to lower the portfolio risk.
- If the corresponding risk perspectives are considered, the conventional notion of a positive correlation between the fossil fuel price increase and investment in renewable energy may not work in reality. Further investigation into the behavior of renewable energy investment during high fossil fuel prices is needed for this finding.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

REFERENCES

[1] International Energy Agency 2008. www.iea.org.
[2] Vakilabadi MA, Bidi M, Najafi A. Energy, exergy analysis and optimization of solar thermal power plant with adding heat and water recovery system. *Energy Convers Manag* 2018;**171**:1639–50.
[3] Atwa Y, El-Saadany E, Salama M *et al.* Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization. *IEEE Trans Power Syst* 2009;**25**:360–70.
[4] Garcia-Heller V, Espinasa R, Paredes S. Forecast study of the supply curve of solar and wind technologies in Argentina, Brazil, Chile and Mexico. *Renew Energy* 2016;**93**:168–79.
[5] Bidabadi M, Biouki SA, Afzalabadi A *et al.* Modeling propagation and extinction of aluminum dust particles in a reaction medium with spatially uniform distribution of particles. *J Therm Anal Calorim* 2017;**129**: 1855–64.
[6] Mohamed MA, Eltamaly AM, Alolah AI. Sizing and techno-economic analysis of stand-alone hybrid photovoltaic/wind/diesel/battery power generation systems. *J Renew Sustain Energy* 2015;**7**. 063128.
[7] Akbari Vakilabadi M, Afzalabadi A, Khoeini Poorfar A *et al.* Technical and economical evaluation of grid-connected renewable power generation system for a residential urban area. *Int J Low-Carbon Technol* 2019; **14**:10–22.
[8] Worldometers Website. 2020. www.worldometers.info.
[9] Moghaddam NB, Mousavi SM, Nasiri M *et al.* Wind energy status of Iran: evaluating Iran's technological capability in manufacturing wind turbines. *Renew Sust Energ Rev* 2011;**15**:4200–11.
[10] International Energy Agency. 2017. www.iea.org.
[11] Ghobadian B, Najafi G, Rahimi H *et al.* Future of renewable energies in Iran. *Renew Sust Energ Rev* 2009;**13**:689–95.
[12] Ghorashi AH, Rahimi A. Renewable and non-renewable energy status in Iran: art of know-how and technology-gaps. *Renew Sust Energ Rev* 2011;**15**:729–36.
[13] Saeidi D, Mirhosseini M, Sedaghat A *et al.* Feasibility study of wind energy potential in two provinces of Iran: North and South Khorasan. *Renew Sust Energ Rev* 2011;**15**:3558–69.
[14] International Energy Agency. 2010. www.iea.org.
[15] Iran Energy Balance Sheet. 2016; 36–62.
[16] Hagin R. 1979. *The Dow Jones–Irwin Guide to Modern Portfolio Theory*. McGraw-Hill/Irwin.
[17] Evans JL, Archer SH. Diversification and the reduction of dispersion: an empirical analysis. *J Finance* 1968;**23**:761–7.
[18] Awerbuch S, Berger M. Energy security and diversity in the EU: a mean-variance portfolio approach. *IEA Res Paper* 2003. **3**:69

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Downloaded from https://academic.oup.com/ijlct/article/16/2/463/5900000 by guest on 24 March 2020

[19] Bar-Lev D, Katz S. A portfolio approach to fossil fuel procurement in the electric utility industry. *J Finance* 1976;**31**:933–47.
[20] Awerbuch S. Portfolio-based electricity generation planning: policy implications for renewables and energy security. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 2006;**11**:693–710.
[21] Bazilian M., Roques F. (eds) *Analytical methods for energy diversity and security: portfolio optimization in the energy sector: a tribute to the work of Dr. Shimon Awerbuch*. Elsevier, 2009.
[22] Bhattacharya A, Kojima S. Power sector investment risk and renewable energy: a Japanese case study using portfolio risk optimization method. *Energy Policy* 2012;**40**:69–80.
[23] Better M, Glover F, Kochenberger G *et al.* Simulation optimization: applications in risk management. *Int J Inf Technol Decis Mak* 2008; **7**:571–87.
[24] Iida T. 2002. Greening energy policy in Japan: building a coalition for renewable energy. In *Energy Market Restructuring and the Environment: Governance and Public Goods in Globally Integrated Markets*. Maryland: University Press of America. 181–96.
[25] Ito K, Morita Y, Yanagisawa A *et al.* 2006. *Japan Long-Term Energy Outlook*. Tokyo: The Institute of Energy Economics.
[26] Takase K, Suzuki T. The Japanese energy sector: current situation, and future paths. *Energy Policy* 2011;**39**:6731–44.

Downloaded from https://academic.oup.com/ijlct/article/16/2/463/5880000 by guest on 24 March 2023

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Potential for renewable energy–assisted harvesting of potatoes in Scotland

Tariq Muneer* and Rory Dowell
School of Energy Engineering, Edinburgh Napier University, Edinburgh, EH9 2BU, Scotland

Abstract

Depleting energy resources, enhancing energy security and energy access and approaching climate change related challenges are some of the present day challenges. Against this backdrop, renewable energy (RE)-based farming has been a topic of serious discussion within Great Britain and Scotland. There are multiple advantages in the development and applications of RE micro-grids for farming communities as often they are located in areas that are quite remote and hence their energy sustainability provides security of supply. In the present article, a large-scale RE system that included solar photovoltaic and wind turbine has been critically analyzed with respect to its fractional contribution toward the total energy budget of a potato farm that produces 8000 tons of crops annually, with 4500 tons of the produce in cold storage for up to 8 months. The findings and recommendations from these case studies will help renewable energy practitioners in erecting and analyzing similar installations.

Keywords: energy payback time; renewable energy; wind energy; solar energy

* Corresponding author:
T.Muneer@Napier.ac.uk

Received 20 October 2021; revised 21 January 2022; accepted 25 January 2022

1 INTRODUCTION

The earliest sources of energy that humans exploited were wind and sun. The history of wind energy may be traced up to 2800 BC when the Egyptians used it to sail their ships [1]. Likewise, solar energy use has been recorded within the historical developments of the Greek civilization. Archimedes, a Greek physicist, allegedly used highly polished shields to focus the sunlight to burn down enemy ships. Later on in the 3000 BC, the Greeks and Romans were reported to harness solar power with mirrors to light their torches. Chinese civilization documented the use of mirrors for the same purpose later on in the year 20 AD [2].

Presently employed energy systems will be unable to cope with future energy requirements—fossil fuel reserves are depleting, and climate change has become a serious issue [3]. In the year 2019, the global average atmospheric carbon dioxide concentration was 409.8 ppm and these levels are higher than at any point in the past 800 000 years [4]. In fact, the last time the carbon dioxide concentration was this high was more than 3 million years ago when the temperature was 2–3°C higher than pre-industrial era and the sea level was 15–25 m higher than today [5, 6].

Fossil fuel and nuclear energy production and consumption are closely linked to environmental degradation that threatens human health and quality of life and affects ecological balance and biological diversity. Although available only in a diffuse quantity, renewable energy is abundant, inexhaustible and widely available. These resources have the capacity to meet the present and future energy demands of the world [7]. The cost of energy generated from these renewable sources has fallen by a factor of seven in the past 7 years [8]. On the other hand, the cost of fossil fuel–produced energy is in an increasing mode.

Over the past three decades, solar and wind energy systems have experienced rapid growth [8]. This is being supported by several factors such as declining capital cost; declining cost of electricity generated and continued improvement in performance characteristics of these systems. By the end of year 2020, the number of solar photovoltaic (PV) systems in the UK had exceeded 13 400 [9] and wind energy installed capacity had exceeded 22 GW as far back as year 2018 [10]. This pattern is being duplicated the world over.

The cost of electricity from offshore wind projects completed during 2012–2014 was UK pence 13.1/kWh compared to a wholesale price of UK pence 4–5/kWh. In 2017, the Financial Times [11] reported that new offshore wind costs had fallen by nearly a third over 4 years, to an average of 9.7 UK pence/kWh, meeting the government's target of 10 UK pence/kWh 4 years early. Later in 2017, two offshore wind farm bids were made at a cost of 9.7 UK pence/kWh for construction by 2022–2023. It is expected that

International Journal of Low-Carbon Technologies 2022, 17, 469–481
© The Author(s) 2022. Published by Oxford University Press. All rights reserved. For Permissions, please email: journals.permissions@oup.com
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which permits non-commercial re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. For commercial re-use, please contact journals.permissions@oup.com
https://doi.org/10.1093/ijlct/ctac012 Advance Access publication 1 March 2022

a further 6 GW of clean energy is to be added to the grid by year 2025 at ~4.7 UK pence/kWh at 2019 prices [12]. These figures are lower than current generation costs for fossil fuels.

Energy is the key to economic development and sustenance of future world. With rapid urbanization and increase in aspiration of majority of population, energy demand in developing as well as developed countries across the world is ever increasing and expected to grow in future.

2 THE GROWTH OF SOLAR AND WIND ENERGY IN THE UK

It has been reported that offshore wind has the technical potential to provide 36 000 TWh/annum of energy, which is more than the current global electricity usage [13].

The world's cumulative electric power capacity for solar PV and wind reached the respective figures of 634 GW [14] and 743 GW [15]. That milestone was achieved in the year 2020 for solar and the year 2021 for wind. The comparable installed capacities in the UK for solar and wind were 13.6 and 24 GW [16]. With the respective populations for the globe and UK at 7.674 billion and 66.8 million people [17], respectively, the per capita installed capacities for combined solar and wind installations are 179 and 563 W, respectively. Clearly, the UK is leading the rest of the world by a factor of 3. Despite the UK having a weak solar resource, the per capita installed capacity is 204 W, the comparative figure for the globe being 82 W. Once again, the UK is in the lead by a factor of 2.5. At this stage, a comparison is provided for the UK's average solar income (101 W/m^2) against that for mid and lower latitude countries such as Vietnam and India (western region) and those figures are 150 and 292 W/m^2, respectively. Hence, despite the odds, the UK has taken lead once again.

The UK offshore wind sector is due to expand fast as the government aims to increase its capacity from the current figure of 24 to 40 GW within a decade. That is evident by a number of ongoing activities such as follows: (a) the company Prysmian has won a contract to supply the submarine and land export cables for the Sofia wind farm, and (b) Prysmian is also constructing a submarine cable manufacturing facility in Wrexham, England, to supply the Hornsea 2 wind farm project [18]. The latter project will be constructed some 89 km off the Yorkshire coast and will be one of world's largest wind farm with 165 Siemens Gamesa 8 MW machines spread over an offshore area of 462 km^2. The project is due for completion in year 2022.

The reason for the acceleration of growth of solar and wind electricity generation technologies is the steep price drop as Table 1 indicates.

Here, a comparison of the generation cost of fossil fuel and renewable and nuclear power plants is provided. Note that over a decade, that is, from years 2009 to 2019, while the per kilowatt hour cost of solar PV and wind have dropped by a factor of 9 and 3.3, respectively, the cost for nuclear has actually risen and that for coal has remained stable. Table 2 presents the data on the ever-falling PV module price [19]. Table 3 provides information on the UK wind energy growth and performance statistics. The capacity factor data will be of particular relevance for this article. Furthermore, note that the capacity factor is on the increase as wind turbine installations move further offshore.

The solar cell was first used in space program over 60 years ago. Then a watt of PV module cost US$1865. Taking inflation into account, the price has now dropped by a factor of more than 3300! The price for wind energy generation has also dropped, but not on the scale of solar as shown in Table 2. Note that, for solar PV, each time installed capacity doubles, the cost of electricity



Figure 1. *Google map of Cononsyth, Arbroath, Scotland Latitude: 56.613304 North.*

Table 1. *Price comparison for electricity generation technologies, US cents/kWh*

Energy generation source	2009	2019
Coal	11.1	10.9
Gas	8.3	5.6
Geothermal	7.6	9.1
Nuclear	11.1	15.5
Solar PV	35.9	4
Wind, onshore	13.5	4.1

Table 2. *Solar PV module price, US$ per watt*

Year	Price
1976	106.09
1980	35.01
1985	14.85
1990	8.81
1995	5.83
2000	4.88
2005	4.24
2010	2.04
2015	0.6
2019	0.38

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Table 3. *UK wind energy growth and performance statistics*

Year	Installed capacity, GW	Capacity Factor	Percentage of total electricity use
2016	16.2	26.3	12
2017	19.8	28.6	17
2018	21.7	30.0	18
2019	24.0	32.0	21

Table 4. *Cumulative installed wind power capacity in Scotland*

Year	MW
2008	1745
2009	2121
2010	2677
2011	3688
2012	3955
2013	4779
2014	5277
2015	5585
2016	6478
2017	7578
2018	8562
2019	9334
2020	9366

falls by 36% [20]. This relationship has also been observed for wind energy developments. The levelized cost of energy (LCOE) of onshore wind has fallen by 23% while capacity has doubled; for example, see [21]. For offshore wind, the cost has dropped by 10%. The International Energy Agency has determined that the cost of offshore electricity will drop 40% more by year 2030 [22]. On the other hand, the LCOE for nuclear power plants has risen by more than 60% in the past decade.

3 ENERGY DEMAND AND RENEWABLE ENERGY GENERATION IN SCOTLAND

Scotland has an installed wind power capacity of close to 9.4 GW and generates 31.8 TWh of electricity from renewable sources, with a population of 5.454 million that translates to the energy use of 5.83 MWh/year-capita. That is in contrast to the year 2014 world average of 3.13 MWh/year-capita. The bulk of the world electricity generation includes fossil fuel plants. Table 4 presents the rapid growth of wind power plants in Scotland.

Note that with an annual-average wind speed reaching 9 m/s Scotland has one of the best energy resource of nearly 1200 W/m^2. The solar resource is much more dilute though as the receipt is around 850 kWh/m^2-day compared to certain parts of Africa, which get over 1900 kWh/m^2-day. Despite the weak solar resource, the number of solar PV plants is on the rise in Scotland as shown in Table 5.

The irony of the present situation is that those locations that have the most potential for capturing the two most promising

Table 5. *Cumulative installed solar PV capacity in Scotland*

Year	MW
2011	48
2012	95
2013	133
2014	175
2015	264
2016	326
2017	343
2018	344
2019	364
2020	378

sources of renewable energy—solar and wind—are lacking in their effort to exploit as shown via Tables 6 and 7. Those tables are based on material presented in reference [23].

4 PRESENT INVESTIGATIONS

Large parts of land in Scotland are used for agricultural purposes. The farmers have an important role to play within the Scottish economy. As the link between climate change and energy use is becoming increasingly evident, the farmers are in the process of installing solar and wind energy conversion systems. There are many research questions to be answered though and the main purpose of this article is to address a few of them such as:

a. Based on long-term measurements, what are the seasonal and annual capacity factor for solar PV and wind energy conversion?
b. To what extent are solar and wind resources complimentary?
c. Given the high latitude of Scotland what is the seasonal influence on the above resources?
d. In an agriculture perspective, what is the present day monetary cost of solar PV and wind energy conversion in Scotland?
e. What are the solar and wind generation associated Carbon emissions?
f. What are the long-term prospects of electricity storage?

5 SOLAR AND WIND TURBINE INSTALLATION ON A POTATO FARM

5.1 Cononsyth Farms

Cononsyth Farms (CF) houses 'North Mains of Cononsyth' and 'Cononsyth Farm' (see Figures 1 and 2). The farms are a medium- to large-scale agricultural farming entity located within rural East Angus (56.613304, −2.695326). The main business activities include the growing and processing of cereal crops, oilseed rape and potatoes over a 1500 acre geographical area. Note that an 'acre'

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Table 6. *Number of cities with high solar potential*

Percentile	Global horizontal irradiance, kWh/m^2-day	No. of cities in the dataset	No. of cities with renewable energy target	No. of cities with 100% target
Top 10	6.126	66	3	0
Top 20	5.851	248	17	6
Top 30	5.493	621	39	14

Table 7. *Number of cities in the world with high wind potential*

Percentile	Wind power density (W/m2)	No. of cities in the database	No. of cities with renewable energy targets	No. of cities with 100% target
Top 10	607	57	29	26
Top 20	457.7	206	88	80
Top 30	381.5	394	151	130



Figure 2. *Geometrical drawing of the detail of Cononsyth and North Mains at Arbroath, Scotland F1: North Mains of Cononsyth, T: Turbine, F2 Cononsyth Farm.*

is 4840 square yards or 0.405 hectare and is a measure of area that is widely used in the British farming industry.

The farm has diversified into commercial contract drying service for oilseed rape, peas, beans, oats, wood chip and pallet logs. Various food supermarket chains purchase the products grown and supplied by the farm. In order for a supplier of significant product volumes to trade with these supermarket chains, they must demonstrate that their processes align with their carbon emission reduction strategies.

CF has installed 2.939 MW of biomass heat production, 330-kWp wind turbine and 350-kWp solar PV electrical generation; these technologies have enabled a significant de-carbonization of its energy-demanding processes. The farm is also transitioning from combustion engines with investing in a fleet of EV forklifts, which are charged utilizing onsite generated renewable energy.

The gross owned landmass at CF is 500 acres, of which 100% is irrigatable. The business produces on average 8000 tons of potatoes annually on owned and rented ground in the County of Angus. Each year, 4500 tons of potatoes are stored in cold stores at 2.5–3.5°C for 6 to 8 months of the year.

The journey to renewables at CF began in 2008 when they were introduced to small-scale wind turbines. This initiated the idea of an 11 kW Gaia Turbine. CF investigated the possibility of a wind turbine and inquired into an early small scale renewable incentive scheme known as Renewable Obligation Certificates (ROCs). However, CF understood that to significantly reduce the farms' energy bills, a larger turbine would be required.

In 1 April 2010, a new UK Government–led renewable incentive scheme was introduced for generation of less than 5 MW rating. The scheme introduced is called the Feed-in-Tariff. From the launch of the scheme in 2010, the incentives were reduced by the process of degression until the closure for new applications in March 2019.

CF initially proposed a 500-kW turbine; however, it was advised that planning would be too high of a risk. The farm decided on a 330-kW turbine manufactured by a German company called Enercon. Enercon turbines were known to be of high reliability due to their non-gear generating technology.

Planning was submitted to Angus Council in June 2010 and was approved in December the same year. The turbine, which was one of the largest in Angus at the time, received no objection from 12 consultees. The application was seen to be consistent with the local development plan of the area, and no material considerations of sufficient weight would warrant the refusal of the application. The turbine was installed in 2012 and achieved an incentive payment of 23.5 p/kWh of electricity generated.

Also in 2010, CF enquired into the possibilities of roof-mounted solar PV. At the time, CF experienced difficulty getting Angus Council to agree to this principle as no roof-mounted solar PV system application had been submitted to them previously. The farm found a way around this by drawing panels on the roof of a new cold store warehouse extension. CF inadvertently got planning approval for the first 50-kW solar PV system in 2011, obtaining an incentive payment of 31 p/kWh generated. As it is index linked, the incentive payment is 38.5 p/ kWh. The installed JA Solar JAP60S01 270 W polycrystalline PV modules sit on the

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA



Figure 3. *The 300kWp solar PV plant at Cononsyth, Arbroath, Scotland* ***Note:*** *The dull colored PV modules at the back of this picture were installed in year 2011. The brighter colored modules were installed in year 2019.*

roofs that are at an angle of 15 degrees from horizontal, with an aspect of 5 degrees East of South.

The de-carbonization of heat on the farm was initiated in 2013, with the installation of a biomass burner with floor-drying infrastructure to dry all the cereals grown by the business. Furthermore, biomass burners were installed in 2014, 2015 and 2016. CF identified a business opportunity for supplying dried woodchip to neighboring farmers with their own woodchip burners. CF was one of the only authorized suppliers in the area. The demand for woodchip lead to a gradual increase in biomass heat generation. March 2021 saw the installation a 900-kW woodchip burner. The farm now has 2.939 MW of heat generation from three units manufactured by an Austrian company ETA with thermal capacities of 199, 350 and 500 kW. Two other units in use were manufactured by German manufacturer Heizomat with respective thermal capacities of 990 and 900 kW.

The buildings at North Mains of Cononsyth are used for potatoes and potato box storage, grading and grain handling. The largest buildings are potato cold stores. The potato cold stores are energy demanding and operate for 6 to 8 months of the year. The stores have the capacity to store 1500 tons and maintain a temperature of 2.5–3.5°C.

All solar systems operate with no service fee; however, they are periodically reviewed to ensure performance is as expected. A service call out will be initiated if there is a notable decrease in energy generation.

In October 2012, CF installed a 330-kWp turbine after gaining planning consent in 2010. The turbine secured a Feed-in-Tariff of 23.5 p/kWh and paid back in just 4.5 years. The turbine generates electricity that is consumed directly on-site for the cooling demand of the 8000-ton crop grown annually. Although, the energy generation is 300% of the annual consumption of the farm, some 34% of the annual energy use is still imported. That is due to a lack of synchronicity between wind energy conversion and demand.



Figure 4. *The 330kWp wind turbine at North Mains of Cononsyth Date of installation: October 2012.*

The wind turbine is serviced under an agreement called Enercon PartnerKonzept contract. The annual cost of the service contract is €10 000 up to 7 years then €20 000 up to 15 years. Then after, the service fee is negotiable. As the turbine is now 8 years old, the service fee is now in the second phase.

5.2 Renewable energy generation at CF

In the year 2019, the North Mains solar PV plant was further enlarged, significantly, by addition of another 250 kW. That

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 8. *Annual performance of the 330 kW wind turbine at Cononsyth potato farm at Arbroath, Scotland*

Year	2012*	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Average wind speed, m/s	9.1	6.8	6.3	7.0	6.3	7.0	6.6	6.6
Average power, kW	111	108	100	118	92	104	98	82
Capacity factor, ratio		0.33	0.30	0.36	0.28	0.31	0.30	0.25

*Records exist only from November 2012.

Table 9. *Monthly performance of the 330 kW wind turbine at Cononsyth potato farm at Arbroath, Scotland, for year 2015*

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Av. WS, m/s	7.4	8.1	6.5	7.4	5.4	6.5	5.8	6	5.9	8.3	7.8	8.6
Av. power, kW	130	90	106	107	63	80	76	79	74	144	147	147
Capacity factor	0.4	0.27	0.32	0.33	0.19	0.24	0.23	0.24	0.22	0.44	0.45	0.44

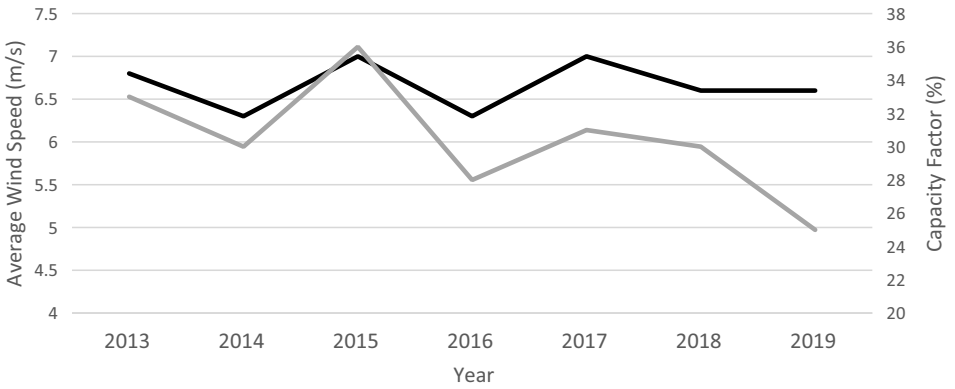


Figure 5. *Annual-averaged wind speed and capacity factor for the 330 kW Arbroath wind turbine* ***Note:*** *Average wind speed, black line; Capacity Factor, gray line.*

completed facility is shown in Figure 3. The total PV capacity at CF complex is thus 350 kW, split between Cononsyth (300 kW) and North Mains (50 kW). Each 15 minutes, the data-logger records the minimum, maximum and the average power output for the three power-plants. The three solar power-plants are the 50 kW each, installed in year 2011 at the Cononsyth Farm and the North Mains of Cononsyth, and the additional 250 kW installed in year 2019 at Cononsyth Farm. All PV plants are in good order, and their maintenance is backed up by a service contract.

The frequency of data collection from the wind turbine is 10 minutes, and among the parameters recorded are wind speed at the height of wind turbine nacelle (82 m), wind direction and minimum, maximum and average power output of the turbine and energy generation. Figure 4 shows graphical views of the CF wind turbine. It has to be reiterated that the turbine is in good order and its maintenance is backed up by a different service contract.

Tables 8 and 9 present performance of the wind turbine on an annual and monthly basis, respectively; the latter being for 1 year, 2015, which was most productive. The capacity factor is a good measure to assess the performance of a power plant. The capacity factor indicates the fraction of the time that the power plant was delivering at full capacity or the ratio of actual energy generated to the ideal value of energy that may be generated provided the plant ran at full capacity for the entire duration. While the capacity factor is of a high order, perhaps reaching a value of 0.9 for nuclear and fossil fuel plants, its value is much lower for renewable energy plants. It may be noted that in Table 8 no capacity factor has been reported for year 2012. This is due to the fact that the wind energy generation start date was 8 November 2012. Due to incompleteness of the year, the capacity factor for 2012 is not comparable to the corresponding value from other years. The average wind speed shown for year 2012 is also quite high (9.1 m/s) as the data are skewed heavily toward winter months with associated higher wind speeds. A few interesting points that may be picked up here are as follows: (a) in years 2015 and 2017, the average wind speed is identical, and yet the average power in year 2015 was 13% higher; (b) likewise, in years 2018 and 2019, the same phenomenon occurs, that is, identical wind speeds and yet year 2018 delivers power that is 19.5% higher; (c) compared to annual average, the two winter months of November and December have a wind speed average that is 37% higher.

The disparity of the energy yield for the years 2015 and 2017, and for the years 2018 and 2019 may be investigated further via Figures 5 and 6, and Figures 7 and 8, respectively. These four plots are explored furthermore. The first two plots, Figures 5 and 6, show the annual mean wind speed and capacity factor and a scatter plot that relates capacity factor to mean wind speed, respectively. Both figures indicate that for a given annual wind

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

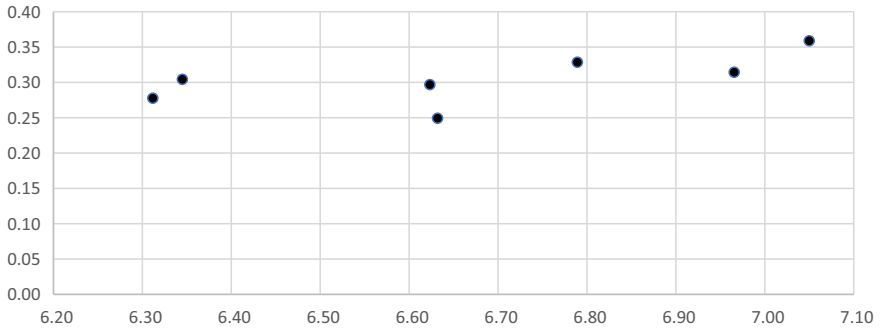


Figure 6. *Annual-averaged capacity factor versus wind speed for Arbroath x axis: wind speed, m/s; y axis: capacity factor.*

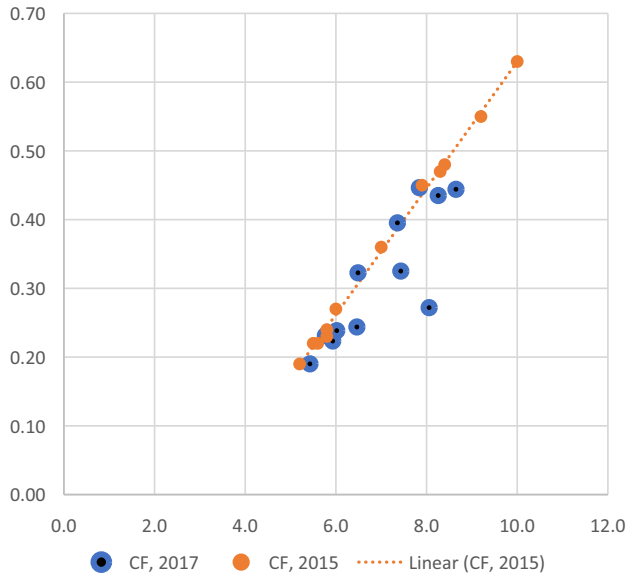


Figure 7. *Monthly-average wind turbine power versus wind speed for years 2015 and 2017 x axis: wind speed, m/s; y axis: capacity factor*

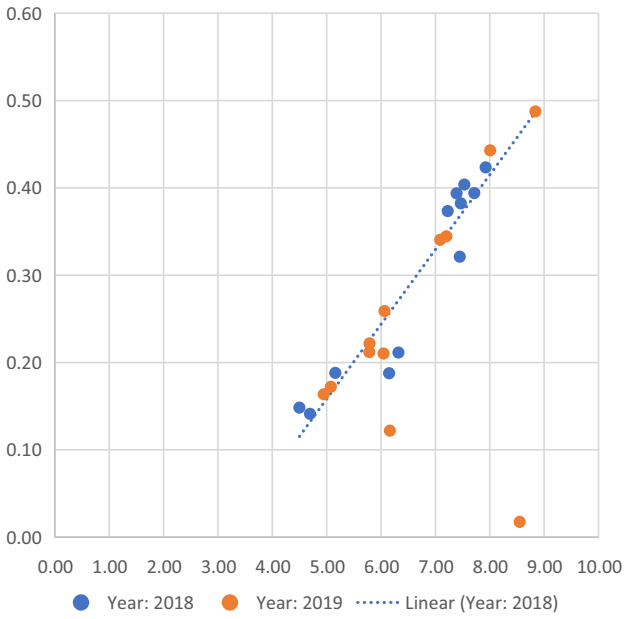


Figure 8. *Monthly-average wind turbine power versus wind speed for years 2018 and 2019 x axis: wind speed, m/s; y axis: capacity factor.*

speed the turbine delivers different values of capacity factor. That could be due to three reasons: (a) the mean wind speed is a combination of many instances of either low wind that lies below the cut-in speed of the wind turbine, which is around 4.5 m/s and that would reduce the capacity factor; (b) instances when the turbine was shut down due to storm conditions or mechanical breakdown; or (c) a combination of the latter two factors.

Close inspection of the dataset revealed that item (c) was the cause of the aforementioned phenomenon, that is, identical average wind speed and yet very different values of capacity factors. Note that the slope of the best-fit line for data from year 2015 (Figure 7) and year 2018 (Figure 8) indicates the same trend.

Hence, the conclusion is that the turbine is well maintained and has an annual high capacity factor of 0.36. Figure 9 provides further evidence in this respect, that is, the frequency of occurrence of a given wind speed is similar for the 2 years under discussion—2018 and 2019. The considerable departure of capacity factors for the latter two years is therefore mainly due to turbine downtime.

Tables 10 and 11 present data for solar PV performance in a manner similar to Tables 8 and 9. Once again note that the solar PV data were logged from 30 September 2011 onwards and hence in Table 10 no information is presented on capacity factor for that year. Furthermore, for the year 2021 the data were only available up to the month of April and hence the capacity factor is not available for the latter year. It is clear from the tabular information presented so far that at Arbroath the capacity factor for wind energy conversion is three times more compared to solar PV. That is on an annual basis.

On a monthly-averaged basis the wind/solar capacity factor ratio is much higher in winter months with low sun angle and shorter days. Hence, if a solar PV plant is to compete with wind turbine, the capacity of the PV plant ought to be at least three times more. Figure 10 presents such information for the combined total energy of a 330-kW wind turbine and 1-MW solar PV plant. Note that the energy delivery profile is now much more stable as

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

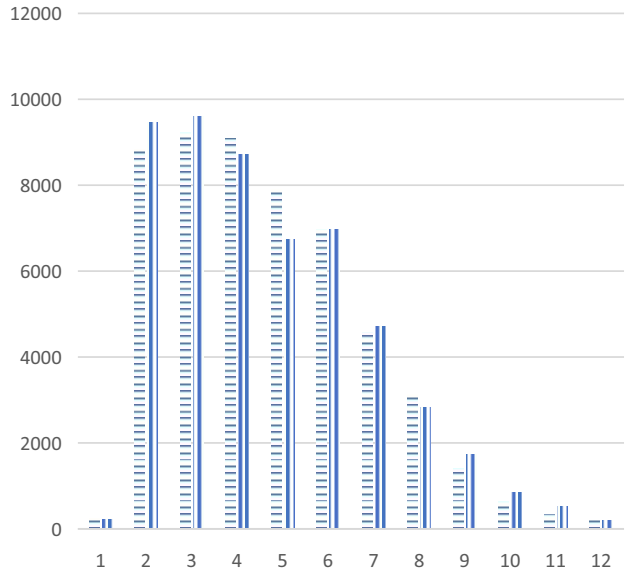


Figure 9. *Frequency of wind speed (m/s) for years 2018 and 2019.*

opposed to sole delivery from either a wind or a solar plant. The low performance of solar plant in winter months is subsisted by high wind energy delivery and vice-versa in summer.

That information is further enhanced via Table 12, which provides the average, the standard deviation and coefficient of variation (CoV) for solar, wind and combined plants. Note that for the combined plant the CoV drops to only a third of the value for solar and half of what the wind turbine offers, thus making it a stable entity.

The element of wide variation of energy delivery is inevitable in both solar and wind energy. Figures 11–13 present the daily variation of energy delivery from wind, solar and combined plants. The plots have been made for two months—January, a winter month, and September, a late-summer month. Once again, the advantage of the combined plant is obvious. The usefulness of such plots is that they enable design analysis of the storage that would be required for any given load profile. Renewable energy plants will need to overcome the intermittency related issues to become truly popular and useful. A great deal of work is ongoing with respect to battery and other forms of energy storage. That item shall be briefly explored in the following section.

Figure 14 provides a comparison of the turbine power delivery—the manufacturer's provided acclaimed performance is compared against measured power for two years, 2015 and 2019. The year 2015 presents data when the turbine was just over two years old, whereas 2019 data are for the machine when it was 7 years of age. No significant departure of actual power delivery is seen, thus validating the quality and maintenance of the machine.

6 EMBODIED CARBON ANALYSIS

With the rapid decline in the cost of PV modules and wind turbine electricity generation, the key decision parameter will be the emissions associated with any energy generation technology. Both solar and wind are in good stead as the present analysis will show.

In Lifecycle Assessment (LCA) studies, the energy payback time (EPBT) for any product is calculated as total primary energy used in the manufacture of the product divided by the annual energy generated by the product. For renewable energy products or systems the EPBT will be among other things, dependent upon the energy intensity of available electrical and thermal energy, and the climate as the latter will dictate the solar or wind energy resource. Within the context of the Scottish climate, Muneer *et al.* [24] carried out an LCA on an Edinburgh solar PV installation. Using the data provided in references [25–28], Muneer *et al.* [24] showed that the embodied CO_2 in the given solar PV system that included the mono-crystalline modules, inverters, cables and the supporting structure was 44 g CO_2/kWhe. The EPBT was found to be 8 years for Scottish climate.

More recent such work has been carried out by Kim *et al.* [29] and Ludina *et al.* [30].

Kim *et al.* [29] have shown that the EPBT for the mono-crystalline PV facility in South Korea was 2.97 years. The embodied CO_2 in the South Korean PV system that, once again, included the mono-crystalline modules, inverters, cables and the supporting structure was reported as 25 g CO_2/kWhe and the Carbon intensity of the mains electricity grid as 495 g CO_2/kWhe.

Table 10. *Annual performance of the 50 kW solar PV facility at Cononsyth potato farm at Arbroath, Scotland*

Year	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
En. Gen, MWh	3.2	39.4	41.1	43.5	48	45.6	44.8	46	46.3	47.7	6.8
Capacity factor		0.09	0.094	0.099	0.11	0.104	0.102	0.105	0.106	0.108	

Table 11. *Monthly performance of the 50 kW solar PV facility at Cononsyth potato farm at Arbroath, Scotland, for year 2015*

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
En. Gen, MWh	1.3	2.5	3.9	6.7	6.8	6.7	6.2	6	3.9	2.5	1.1	0.5
Capacity factor	0.03	0.07	0.11	0.18	0.18	0.18	0.17	0.16	0.11	0.07	0.03	0.01

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

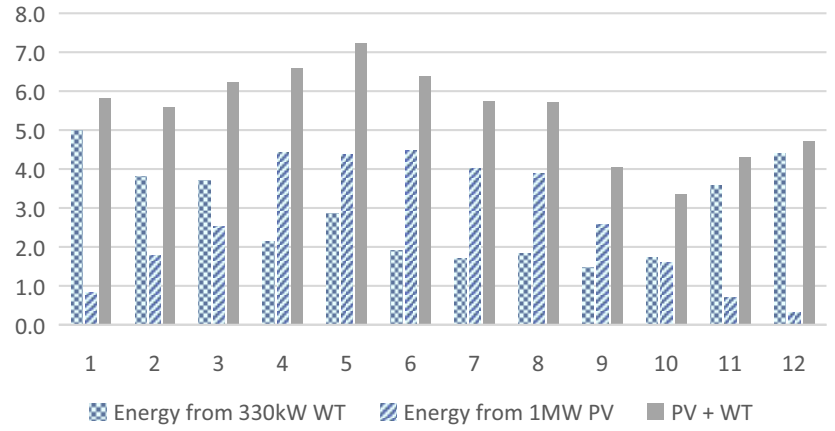


Figure 10. *Combined generation from 330 kW wind turbine and hypothetical 1 MW solar PV facility x axis: month number.*

Table 12. *Combined monthly performance of solar PV and wind turbine at Cononsyth farm for year 2015*

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Av.	SD	CoV
WT	5	3.8	3.7	2.1	2.9	1.9	1.7	1.8	1.5	1.7	3.6	4.4	2.8	1.2	41
PV	0.8	1.8	2.5	4.4	4.4	4.5	4	3.9	2.6	1.6	0.7	0.3	2.6	1.5	57
PV + WT	5.8	5.6	6.2	6.6	7.2	6.4	5.7	5.7	4	3.3	4.3	4.7	5.5	1.1	20

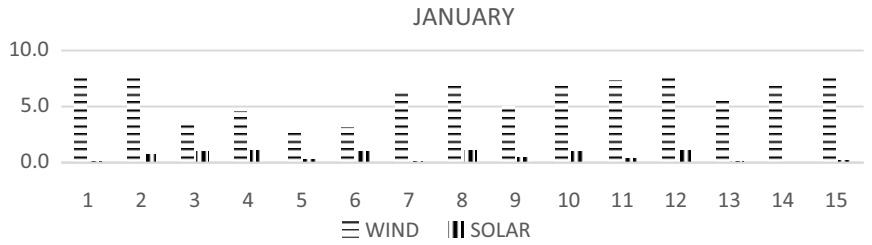


Figure 11. *Energy generation (MWh) of the 330 kW wind turbine and 1 MW solar PV plant for January 2015 x axis: day number.*

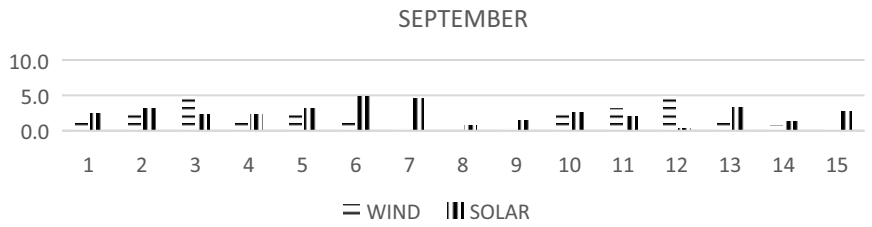


Figure 12. *Energy generation (MWh) of the 330 kW wind turbine and 1 MW solar PV plant for September 2015 x axis: day number.*

Ludina *et al.* [30] have provided LCA for rooftop mono-crystalline silicon PV in Southern Europe (solar irradiation of 1700 kWh/m^2/year). The reported EPBT was 2.5–3.0 years in year 2000 and 2.1 years in 2006, which decreased to 1.75 years in 2009. The gradual decrease is due to improvements in manufacture of PV modules that use less Silicon as time progresses. The latter EPBT figure of 2.5–3 years for Southern Europe ties closely with the 8 years EPBT for Scotland, reported by Muneer *et al.* [24]. The Scottish solar irradiation is 822 kWh/m^2/year, which is roughly half the receipt for Southern Europe, and hence the EPBT is doubled for Scotland.

Incidentally, Ludina *et al.* [30] have also quoted the GHG emissions data for wind power as having a range of 6.2–46 g CO_2-eq/kWh.

The work of Lenzen and Munksgaard [31] has shown that the capacity factor for wind turbines lie in the range of 10–50%,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

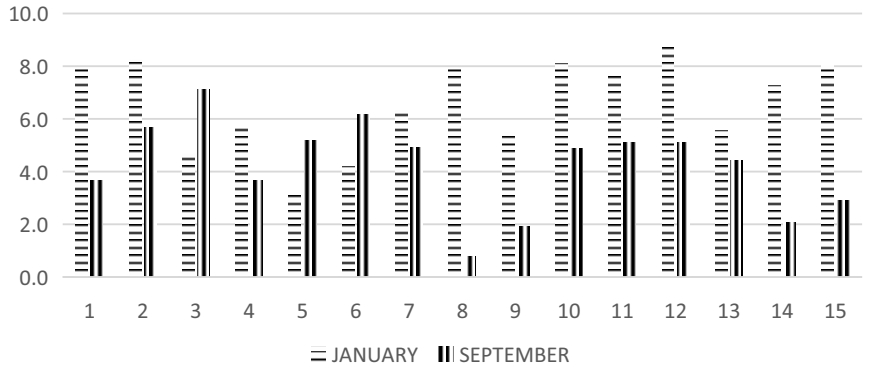


Figure 13. *Energy generation (MWh) of the combined 1 MW solar and 330 kW wind power plants for year 2015 x axis: day number.*

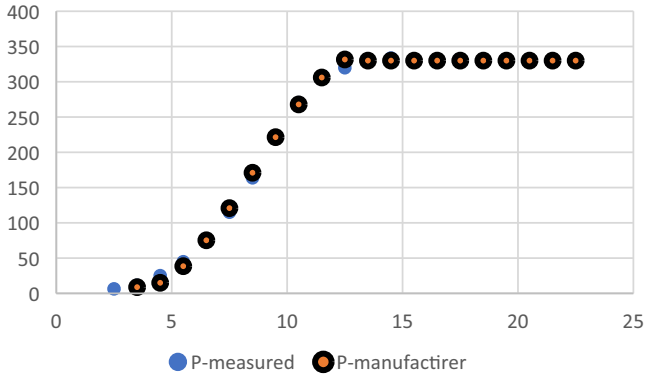


Figure 14. *Comparison of actual and manufacturer-claimed power delivery of the 330 kW wind turbine. X axis: wind speed, m/s; y axis, kW.*

although most modern machines have that range narrowed down to 20–35%. We have seen in the present analysis that under Scottish climate the capacity factor could be much higher, particularly during winter months.

Based on the works of Krohn [32], Gurzenich *et al.* [33], Schleisner [34] Ancona and McVeigh [35] and Wibberley *et al.*. [36], the lifetime of modern wind turbines has been shown to be between 20 and 30 years. Furthermore, work carried out under the aegis of Vestas wind turbine manufacturers [37] has shown that even after the latter time period the only components that may need replacement are the moving parts: generator, gearbox and blades. The 330-kW Enercon machine under discussion seems to validate the above claim with only the blade covering starting to show signs of wear and tear after 9 years of operation.

The works of Pick and Wagner [38] carried out for a 500-kW machine, and Tremeac and Meunier [39], for a 4.5-MW turbine have shown that respective embodied energy quantities are 3948 GJ and 70 152 GJ.

Research undertaken by Crawford [40] on the lifecycle audit of embodied energy of an 850-kW and a 3-MW wind turbine included a detail assessment of four major components—foundation, tower, nacelle and rotor. His results indicate that the embodied energy of the 850-kW machine was 34 574 GJ/MW and that for the 3 MW machine was 30 725G J/MW.

More recently, Smoucha *et al.* [41] carried out carbon analysis for 14 wind turbines that ranged from 50kW to 3.4-MW output suggests and confirms the works of Pick and Wagner [38] and Tremeac and Meunier [39], that is, the higher rated machines have higher carbon content per MW but the payback time drops with capacity. Smoucha *et al.* [41] found that the higher rated wind turbines had higher embodied Carbon per kW capacity, e.g. whereas an 80 kW machine had 58 tonne of Carbon, a 3 MW machine had 1,046 tonne embodiment. However, the latter research team has note that the payback time of larger machines was much shorter due to their higher capacity factors. That may be explained to the siting of higher capacity machines in open spaces such as offshore locations and higher hub height.

The work of Smoucha *et al.* [41] may be summarized with respect to embodied energy; thus, the embodied ton of CO_2 for 80-, 100-, 250- and 500-kW machines are 58, 61, 148 and 274, respectively, and their EPBTs expressed as a percent of the machine lifetime are 2.6, 2.2, 2.1 and 2. Interpolating for the 330-kW Enercon machine presently under discussion leads to an embodied 190-ton CO_2 and an EPBT of 3.1% of the lifetime.

7 LARGE-SCALE ENERGY STORAGE: PROSPECTS AND CHALLENGES

7.1 Electricity storage in electric batteries

The rapid rise of electric vehicle (EV) fleet around the globe presents an opportunity for large-scale storage of off-peak electricity from solar and wind. The trip efficiency of electricity storage and its reuse is very high, and thus this technology is appealing. On the downside, however, the large-scale mining of lithium and cobalt from a very limited number of countries in South America and Congo and the very serious environmental impact will be a big challenge. It is clear that off-peak storage will have to be via a number of alternate technologies.

In Scotland alone, with a population of 5.4 million people, the number of EVs is now over 7000. The average Li-ion battery has a 40-kWh capacity, and that figure is rising for newer models of

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

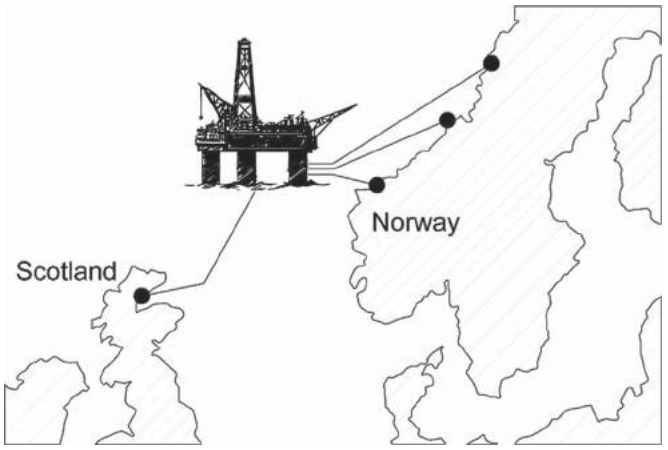


Figure 15. *Schematic for hydrogen production and transmission from Norway to Scotland*

vehicles that are appearing on the market. That translates into a storage capacity of 280 MWh that is available in the present time. However, by the year 2040, when most of the present automobile fleet of 3 million is replaced in favor of EVs, the storage capacity will exceed 180 GWh. The latter figure assumes an average battery capacity of 60 kWh for the EVs by year 2040. Note that the projected storage capacity of 180 GWh is over 40% of the daily electricity use in Scotland and should therefore suffice as a solution to the intermittency issue of renewable energy. However, there are other solutions available as well such as pumped hydro and hydrogen production via electrolysis of water. The pumped hydro is an established technology in Scotland with one of the first such schemes having been built in the year 1896 by Alcan for their aluminum smelter near Foyers, Inverness. Pumped hydro requires a large land area and further exploitation of this technology seems unlikely. However, hydrogen production is on the up and shall be discussed in the following section.

7.2 Electricity storage via electrolysis of water

The Scottish Port of Cromarty Firth is in the process of setting up agreements with the company Gen2 Energy of Norway to develop a project that will eventually lead to import of renewable electricity generated hydrogen into the UK. Figure 15 shows the schematic for hydrogen production and transmission.

The plans include setting up of an industrial scale electrolyser. The time scales demand that clean energy will be available by the year 2023. This will be demonstration of a large-scale, international project that will include the production, storage and supply of green hydrogen to Scotland, the rest of Great Britain and Europe. The plans include shipment of hydrogen by land and sea. Note that the thinly populated northern regions of Norway have an excess of renewable energy and present constraints on introducing that energy in the electricity network and thus the production and shipment of hydrogen presents a unique opportunity [24].

8 DISCUSSION

In Section 5, an initial analysis of the energy conversion performance of the 330-kW wind turbine and 50-kW solar PV facility on Cononsyth farm was presented. In this section further discussion is provided with the five research questions that were raised in Section 4 addressed expressly.

Tables 8 and 9 respectively presented data on annual and monthly wind speed, average power and capacity factor. Inter-annually, the wind speed is fairly consistent, varying between 6.3 and 7 m/s. The average and standard deviation of wind speed are 6.7 and 0.3 m/s, respectively. The average power delivered from the 330-kW machine varies between 82 and 118 kW. The corresponding capacity factor varies from 0.25 to 0.36 with mean and standard deviation of 0.33 and 0.03. Note that the ratio of standard deviation to mean is 10% on an annual basis. On the other hand, on a monthly basis, obviously, the variations are much more pronounced with a low capacity factor of 0.19 in September that rises to a high value of 0.63 in January, with a mean of 0.36 and standard deviation of 0.14 for the 12-month data. That is a reflection of the associated wind speeds in those months—5.2 m/s in September and 10 m/s in January.

The installed cost for the 330 kW Enercon wind turbine was £850 000. Reference [41] cites the life of modern wind turbines as 20–30 years. Assuming a 25-year life of the machine and referring to Table 8 for the energy delivery profile the monetary cost of the wind generated electricity works out as 3.56 UK pence/kWh or 4.03 US cents/kWh. The latter figure compares well with data provided in Table 1, which quote the cost of wind energy conversion as 4.1 US cents/kWh. The embodied EPBT for the wind turbine under discussion has been shown to be 3.1% of the lifetime (see Section 6).

Likewise, Tables 10 and 11 presented data for solar PV. On an annual basis the capacity factor has a range of 0.09–0.108, a mean value of 0.1 and standard deviation of 0.01. On a monthly basis, however, the variations for solar are much, much higher as would be expected for such a high latitude location as Arbroath—the capacity factor varying 0.01–0.18, a mean of 0.109 and a standard deviation of 0.063 for the 12-month data. The coefficient of variation (ratio of a standard deviation to mean) is now 58%. The corresponding figure for wind was 0.4, which indicates a much more stable resource.

Table 12 presented results for a hypothetical farm, which has the same 330-kW wind machine but with a much more enhanced solar PV facility of 1-MW capacity. In this case, the combined resource has a much more stable energy delivery with the coefficient of variation being only 20%. That is because of the complimentary nature of wind and solar—the former being a strong and stable resource in the winter months and vice-versa for solar. The latter is the case particularly at high latitudes with a large swing of availability of wind and solar throughout the year.

The actual installed cost quote that was received by the farm owners is £0.812 per watt. At the present conversion rate that is US$1.13 per watt. For the energy delivery profile shown in Table 10 and assuming a 20-year life of the PV installation, that

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

works out at 4.54 UK-pence/kWh or 5.13 US-cents/kWh. That figure also compares well with data of Table 1, which showed a PV-generated electricity price of 4 US-cents/kWh. The embodied energy payback time for PV under Scottish climate was shown to be 8 years, which also has good agreement with reference [30].

In Section 7 two different technologies were presented for electricity storage that has to come into play given the intermittent nature of solar and wind resource. In view of the steep rise of EV sales and increasing amount of research being carried out on behalf of large corporations and governments on hydrogen generation and storage, the long-term prospects of electricity storage are indeed favorable.

9 CONCLUSION

CF is located near Arbroath in Scotland. In the years 2011/2012, the farm installed 50-kWp capacity of solar PV and a wind turbine of 300-kW capacity. Energy generation data were collected respectively at a frequency of 15- and 10-minute intervals. The following conclusions are drawn from the analysis of per 7 years of data.

The annual capacity factor for solar PV and wind energy conversion were in the range of 0.09–0.108, a mean value of 0.1 and standard deviation of 0.01 for solar PV and 0.25–0.36 with mean and standard deviation of 0.33 and 0.03 for wind. The monthly capacity factor for solar varies widely between 0.01 and 0.18. For wind the range of monthly capacity, factor was 0.19–0.63. It was found that the solar and wind resource in Scotland are advantageously complimentary with the output of the combined solar/wind plant having only a third of the coefficient of variation compared to solar or half of that for wind. The abovementioned wide variations in the monthly capacity factor are primarily due to the high latitude of Scottish locations.

A monetary energy and embodied carbon-related assessment was also carried out. It was found that the per kilowatt-hour cost of electricity from solar and wind were, respectively, 5.13 and 4.03 US cents. The payback time for wind turbine was found to be 3.1% of the lifetime of the machine or, in other words, 9.3 months. For solar PV the figure quoted was 8 years payback time.

Renewable energy plants will need to overcome the intermittency related issues to become truly popular and useful. A great deal of work is on-going with respect to battery and other forms of energy storage. A review of that work was presented and critically discussed.

9.1 Biographies of authors

Professor Tariq Muneer is a senior academic who is based at Edinburgh Napier University in Scotland. Professor Muneer has also been employed both by the government and industry as a consultant on a large number of engineering projects. Professor Muneer has been awarded several prestigious awards including the Royal Academy of Engineering Industrial Fellowship (2000–2002), the Royal Academy of Engineering Engineers Secondment Overseas (1995), the Leverhulme Trust (1989) and the University College, Oxford/General Electric Company, (1989) Research Fellowships. He is also the recipient of the Osmania University's Karamat Jung Gold Medal (1974), CIBSE Carter Bronze Medal (1990), CIBSE Napier Shaw Bronze Medal (1999), Millennium Commission's Fellowship Award (1999), Walsh-Weston (Society of Light & Lighting, London) Award (2002), Services to Industry Group's Proof of Concept award (2003) and the Scottish Green Energy, Highly Recommended Best Renewable Award (2006).

Professor Muneer is the author of 10 books and over 280 articles that have attracted over 4000 citations. He is also an editorial board member of the following three journals:

'Energies', published by the Swiss-based MDPI publishing house.

Sustainable Cities and Society, published by Elsevier.

Advisory Board Member: International Journal of Synergy in Engineering and Technology (IJSET).

Professor Muneer has also served as guest editor for the following three special issues of 'Energies' journal.

1. Recent Advances in Sustainable Buildings: Space Heating, Space Cooling and Lighting https://www.mdpi.com/journal/energies/special_issues/recent_advances_in_sustainable_buildings
2. Practice and Innovations in Sustainable Transport https://www.mdpi.com/journal/energies/special_issues/practice_and_innovations_in_sustainable_transport
3. Development of Sustainable Energy: Generation Technologies and Concepts https://www.mdpi.com/journal/energies/special_issues/generation_technologies_and_concepts

Professor Muneer is a visiting professor at the University of Granada, Granada, Spain and University of Maribor, Celje campus, Slovenia (2013–2023).

Rory Dowell has a Bachelor of Engineering degree in Energy and Environmental Engineering (Honors) from Edinburgh Napier University and a Masters of Sciences degree in Management from the University of Edinburgh. Rory is an energy consultant for a renewable consultancy in Edinburgh. Rory also works on renewable investment, engineering activities and project management. Rory has a strong interest and understanding of rapidly emerging renewable markets within the agriculture communities of Scotland and has spoken about his experiences at numerous events.

10 Author Contributions

Conceptualization, RD and TM; methodology, TM and RD; software, TM and RD; formal analysis, TM and RD; investigation, RD and TM; writing review and editing, TM and RD; supervision, TM.

REFERENCES

[1] 2008. *World Encyclopedia*2nd edn. Hampshire, UK: Geocenter International Limited, Basingstoke.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

[2] Energysage. *The History of Solar Energy*. https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-panel-technology/ (18 October 2021, date last accessed).

[3] Cuff D, Goudie A. 2009. *The Oxford companion to global change*. USA: Oxford University Press.

[4] Climate.gov. *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide*. https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide (18 October 2021, date last accessed).

[5] Scripps Institution of Oceanography/NOAA Global Monitoring Laboratory. June 2020.

[6] Climate.gov. www.climate.gov (18 October 2021, date last accessed).

[7] Asif M, Muneer T. Energy supply, its demands and security issues for developed and emerging economies. *Renew Sust Energ Rev* 2007;**11**:1388–413.

[8] Ramez Naam. Solar's Future is Insanely Cheap (2020). https://rameznaam.com/2020/05/14/solars-future-is-insanely-cheap-2020/ (18 October 2021, date last accessed).

[9] data.gov.uk. Solar photovoltaics deployment statistics. https://data.gov.uk/dataset/9238d05e-b9fe-4745-8380-f8af8dd149d1/solar-photovoltaics-deployment-statistucs (18 October 2021, date last accessed).

[10] Wikipedia. Wind Power in the United Kingdom. https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_the_United_Kingdom (18 October 2021, date last accessed).

[11] Financial Times. Wind power has capacity to meet world's entire electricity demands. https://www.ft.com/content/7c36dd38-f69b-11e9-a79c-bc9acae3b654 (18 October 2021, date last accessed).

[12] Tim Clark. Government green lights 6GW of renewable energy schemes. https://www.newcivilengineer.com/latest/government-green-lights-6gw-renewable-energy-schemes-23-09-2019/ (18 October 2021, date last accessed).

[13] en:former. Offshore wind – the Made in Britain challenge. https://www.en-former.com/en/offshore-wind-the-made-in-britain-challenge/ (18 October 2021, date last accessed).

[14] statista. Cumulative installed solar PV capacity worldwide from 2000 to 2020. https://www.statista.com/statistics/280220/global-cumulative-installed-solar-pv-capacity/ (18 October 2021, date last accessed).

[15] Global Wind Energy Council. *Global Wind Report 2021*. https://gwec.net/global-wind-report-2021/ (18 October 2021, date last accessed).

[16] en:former. Why electricity from wind and solar is becoming ever cheaper. https://www.en-former.com/en/why-electricity-from-wind-and-solar-is-becoming-ever-cheaper/ (18 October 2021, date last accessed).

[17] Word Population Review. *2021 World Population by Country*. https://worldpopulationreview.com/countries (18 October 2021, date last accessed).

[18] Office for National Statistics. https://www.ons.gov.uk/ (18 October 2021, date last accessed).

[19] Orsted. Offshore wind cable contract sparks investment in Wrexham. https://orsted.co.uk/media/newsroom/news/2018/08/offshore-wind-cable-contract-sparks-investment-in-wrexham (18 October 2021, date last accessed).

[20] PV Magazine. Module Price Index – PV Magazine International. https://www.pv-magazine.com/2021/12/29/pv-module-price-index-the-price-spiral-winds-up/ (18 October 2021, date last accessed).

[21] International Renewable Energy Agency. *Solar Power*. https://www.irena.org/solar (18 October 2021, date last accessed).

[22] IRENA, 2020, Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

[23] Reuters Events. Offshore wind opex set to fall 40% by 2030 as suppliers dig deep. https://www.reutersevents.com/renewables/wind-energy-update/offshore-wind-opex-set-fall-40-2030-suppliers-dig-deep.

[24] Muneer T, Younes S, Lambert N *et al.* Life cycle assessment of a medium-sized photovoltaic facility at a high latitude location. *Proc Inst Mech Eng A J Power Energy* 2006;**220**:517–24.

[25] Kato K, Murato A, Sakuta K. An evaluation on the life cycle of photovoltaic energy systems considering production energy of off-grade silicon. *Sol Energy Mater Sol Cells* 1997;**47**:95–100.

[26] Jungblunth N. Life cycle assessment for crystalline photovoltaics in the Swiss eco-invent database. *Prog Photovolt* 2004;**13**:429–46.

[27] Jungblunth N, Bauer C, Dons R *et al.* Life cycle assessment for emerging technologies: case studies for photovoltaic and wind power. *Int J Life Cycle Assess* 2005;**10**:24–34.

[28] Kannan R, Leong KC, Osman R *et al.* Life cycle assessment study of solar PV systems: an example of a 2.7 kWp distributed solar PV system in Singapore. 2006. *Sol Energy*, volume 80, 5, 555-63.

[29] Kim J, Lee J, Kim K *et al.* Evaluation of the environmental performance of sc-Si and mc-Si PV systems in Korea. *Sol Energy* 2014;**99**:100–14.

[30] Ludina N, Mustafaa N, Hanafiahb M *et al.* Prospects of life cycle assessment of renewable energy from solar photovoltaic technologies: a review. *Renew Sust Energ Rev* 2018;**96**:11–28.

[31] Lenzen M, Munksgaard J. Energy and CO2 life cycle analyses of wind turbines – review and applications. *Renew Energy* 2002;**26**:339–62.

[32] Krohn S. 1997. The energy balance of modern wind trubines. In *Wind Power Note 16*. Copenhagen: Danish Wind Turbine Manufacturers Association.

[33] Gurzenich D, Mathur J, Bansal NK *et al.* Cumulative energy demand for selected renewable energy technologies. *Int J Life Cycle Assess* 1999;**4**:143–9.

[34] Schleisner L. Life cycle assessment of a wind farm and related externalities. *Renew Energy* 2000;**20**:279–88.

[35] Ancona D, McVeigh J. 2001. *Wind turbine – materials and manufacturing fact sheet*. US DoE: Princeton Energy Resources International for the Office of Industrial Technologies.

[36] Wibberley L, Nunn J, Cottrell A *et al.* LCA of steel and electricity production. Report no. B13. *BHP Research* 2001.

[37] Vestas Wind Systems, Life cycle assessment of offshore and onshore sited wind power plants based on Vetas V90-3.0MW Turbines report, Denmark, July 2006.

[38] Pick E, Wagner HJ. 2002. Cumulative energy demand (CED) and energy yield ratio for wind energy converters. In *Proc. of the World Renewable Energy Congress, VII* Wagner, H-J and Pick E, 2004, Energy yield ratio and cumulative energy demand for wind energy converters, Energy 2004;**29**:2289–95.

[39] Tremeac B, Meunier F. Life cycle analysis of 4.5MW and 250W wind turbines. *Renew Sust Energ Rev* 2009;**13**:2104–10.

[40] Crawford RH. Life cycle energy and greenhouse emissions analysis of wind turbines and the effect of size on energy yield. *Renew Sust Energ Rev* 2009;**13**:2653–60.

[41] Smoucha EA, Fitzpatrick K, Buckingham S *et al.* Life cycle analysis of the embodied carbon emissions from 14 wind turbines with rated powers between 50kW and 3.4MW. *J Fundam Renew Energy Appl* 2016;**6**:1–10.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

applied sciences

MDPI

Editorial

Renewable Energy Systems: Optimal Planning and Design

Yosoon Choi

Department of Energy Resources Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea; energy@pknu.ac.kr; Tel.: +82-51-629-6562

Renewable energy systems have emerged as a key solution to mitigate the impacts of climate change and meet the growing demand for energy in a sustainable way. The application of renewable energy technologies has the potential to reduce greenhouse gas emissions, promote energy security and access, and foster economic growth and job creation. As such, the development and deployment of renewable energy systems have become a top priority for many countries worldwide.

The Special Issue of *Applied Sciences* on renewable energy systems brings together a collection of original research and review articles that address various aspects of renewable energy systems. The contributions cover a broad range of topics, including solar, wind, and wave energy systems, and energy storage, grid integration, policy and regulatory frameworks, and socio-economic impacts.

One of the key themes that emerge from the articles is the importance of technological innovation, research, and development to drive the advancement of renewable energy systems. Several articles highlight the potential of new and emerging technologies, such as community battery energy storage systems, offshore wind and wave energy integrated stations, and renewable energy-based charging stations for electric vehicles, to enhance the efficiency and cost-effectiveness of renewable energy systems. Alrashidi [1] proposes a bi-level optimization method based on a neural network optimization algorithm for the efficient planning of multiple community battery energy storage systems (BESS) in low-voltage distribution systems with high residential rooftop photovoltaic (PV) units. The method optimally places and operates BESS collectively at a distributed system level, using linear programming to minimize the daily voltage signal. The simulations show the efficacy of the proposed method in enabling utilities to determine the optimal location, capacity, and number of BESS to regulate the voltage within acceptable bounds under the influence of network topology, load profiles, and the amount of PV power.

Le and Nhieu [2] propose a novel dual-side behavioral spherical fuzzy multi-criteria decision-making approach to determine high-efficient and sustainable locations for offshore wind and wave energy integrated stations (WWS). The proposed method combines quantitative indicators and qualitative criteria to provide recommendations for appropriate WWS locations. The research provides efficiency and sustainability positioning maps and compares findings with current development projects, plans, and policies in Vietnam for validation. Alkawsi et al. [3] review studies related to renewable energy-based charging stations for electric vehicles, covering aspects such as resources, potentiality, planning, control, and pricing. The study clarifies challenges and proposes suitable solutions for this type of charging station. The paper aims to provide an overview of charging electric vehicles through renewable energy and establish the ground for further research in this vital field. Pintér et al. [4] explores the potential of utilizing the battery energy storage systems of small electric boats in Lake Balaton, Hungary, as a means of energy storage to mitigate fluctuations in power generation. The paper presents the potential utilization of Europe's significant network of sea and inland recreational ports for the purpose of energy storage and explores the volume of energy storage potential in small electric boats, which may facilitate the creation of new types of flexibility services related to energy storage.

check for updates

Citation: Choi, Y. Renewable Energy Systems: Optimal Planning and Design. *Appl. Sci.* **2023**, *13*, 3986. https://doi.org/10.3390/app13063986

Received: 3 March 2023
Accepted: 13 March 2023
Published: 21 March 2023

Copyright: © 2023 by the author. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

The innovative novelty of this study is that it regards small, fully electric boats not just as vehicles, but also explores their energy storage potentials.

Others explore the challenges and opportunities of integrating renewable energy sources into the grid, and the role of smart grid technologies and energy management systems in optimizing energy consumption and reducing waste. Thiesen [5] highlights the insufficiency of existing energy system modelling and the literature covering the reduction in power system inertia resulting from the increasing share of grid frequency converter-connected renewables. The work proposes an open-source energy system model that incorporates minimum system inertia constraints, wind turbines, and battery storage systems as carbon dioxide-free sources for synthetic inertial response. The results indicate that integrating system inertia constraints has a high impact on system costs, and investments in additional storage units providing inertial response may be necessary. Sierra-Aguilar et al. [6] proposes a new model for solving the security constrained unit commitment problem in power systems, which addresses the challenges of reducing computational load and modeling uncertainty of intermittent generation and demand. The proposed affinely adjustable robust model uses linear decision rules and a novel method for evaluating N-1 security constraints, which increases computational efficiency when transmission line contingencies are considered. Monte Carlo simulations demonstrate the effectiveness, feasibility, and robustness of the proposed model.

Another significant theme that connects the articles is the need for supportive policy and regulatory frameworks to facilitate the deployment of renewable energy systems. Munkhbat and Choi [7] used a GIS-based approach to identify suitable sites for large-scale solar PV power plant installations in Mongolia. Seven criteria were used to collect data for each cell, and an analytical hierarchy process was used to determine the weightings of these criteria. Results showed that the central region of Mongolia should be prioritized for installing PV power plants due to the presence of good sites and high demand for electric power in the region. Seo and Suh [8] investigated 100 smartphone applications (apps) developed for the solar PV energy sector and categorized them based on their functions. The apps were grouped into seven categories, including computation of sun position, PV system optimal settings, PV site investigation, potential assessment of PV systems, environmental and economic assessment of PV systems, monitoring and control of PV systems, and education and learning for PV systems. The study discusses the limitations of app implementation in solar PV and implications for future improvement.

In sum, the Special Issue of *Applied Sciences* on renewable energy systems provides valuable insights into the current state and future prospects of renewable energy systems. It underscores the importance of interdisciplinary and cross-sectoral collaboration, and the need for continuous innovation, policy support, and stakeholder engagement to enable the transition towards a sustainable energy future.

Funding: This work was supported by an Institute for Information & Communications Technology Promotion (IITP) grant funded by the Korean Government's Ministry of Science and ICT [2021-0-01886].

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Alrashidi, M. Community Battery Storage Systems Planning for Voltage Regulation in Low Voltage Distribution Systems. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 9083. [CrossRef]
2. Le, M.-T.; Nhieu, N.-L. An Offshore Wind–Wave Energy Station Location Analysis by a Novel Behavioral Dual-Side Spherical Fuzzy Approach: The Case Study of Vietnam. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 5201. [CrossRef]
3. Alkawsi, G.; Baashar, Y.; Abbas, U.D.; Alkahtani, A.A.; Tiong, S.K. Review of Renewable Energy-Based Charging Infrastructure for Electric Vehicles. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 3847. [CrossRef]
4. Pintér, G.; Vincze, A.; Baranyai, N.H.; Zsiborács, H. Boat-to-Grid Electrical Energy Storage Potentials around the Largest Lake in Central Europe. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 7178. [CrossRef]
5. Thiesen, H. Power System Inertia Dispatch Modelling in Future German Power Systems: A System Cost Evaluation. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 8364. [CrossRef]

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

6. Sierra-Aguilar, J.E.; Marín-Cano, C.C.; López-Lezama, J.M.; Jaramillo-Duque, Á.; Villegas, J.G. A New Affinely Adjustable Robust Model for Security Constrained Unit Commitment under Uncertainty. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 3987. [CrossRef]
7. Munkhbat, U.; Choi, Y. GIS-Based Site Suitability Analysis for Solar Power Systems in Mongolia. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 3748. [CrossRef]
8. Seo, H.; Suh, J. A Review of Smartphone Applications for Solar Photovoltaic Use: Current Status, Limitations, and Future Perspectives. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 2178. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Journal of
Marine Science and Engineering

MDPI

Editorial

Tidal and Ocean Current Energy

Rafael Morales [1,*] and Eva Segura [2]

[1] Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Albacete, Universidad de Castilla-La Mancha, 02071 Albacete, Spain
[2] Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Ciudad Real, Universidad de Castilla-La Mancha, 13005 Ciudad Real, Spain; eva.segura@uclm.es
* Correspondence: rafael.morales@uclm.es

Renewable energy resources (for example, wind, solar or ocean currents, among others) possess an enormous potential, owing to the fact that they are a pollution-free and inexhaustible resource. However, although the technological developments for harnessing energy from the wind and the sun have been studied long-term, the technology for harnessing energy from tidal and ocean currents is still in its infancy.

In this Special Issue, we present contributions that focus on research in support of the development of tidal and ocean current energy in order to outline the current state of the art and highlight the emerging trends and challenges in this field, ranging from mathematical modeling to methodological aspects. We expect that these contributions will help in future designs of technologies for harnessing energy from tidal and ocean currents. The five papers in this Special Issue address the knowledge gap towards the development of tidal and ocean current energy technologies.

Yan et al. proposed in [1] the design of swept-back symmetrical airfoil blades based on three kinds of swept design methods, and discussed the influence of different designs on the hydrodynamic performance of the adaptive variable pitch blade. The software of SolidWorks was used to build the 3D model of the hydraulic turbine. Based on the preprocessing software ICEM CFD, the solver Fluent, and the post-processing software CFD-Post, axial thrust coefficient, energy acquisition characteristics, and starting torque of the turbine models were analyzed and discussed. In addition, physical model experiments of the selected model were carried out to verify the performance of the numerical simulation.

Cai et al. developed in [2] a novel output power internal control strategy based on a pseudo-tip-speed ratio and an adaptive genetic algorithm (PTSR-AGA) to improve the anti-interference ability and reliability. The proposed control scheme consists of two parts. The first part proposes the PTSR method for the maximum power point tracking (MPPT) to predict the tidal stream turbine's operating point, which contributes reducing the logical errors assigned to swell disturbances. The second part designs an AGA for the optimization of the pitch controller to conduct its angle delay. A reduced pitch control strategy was applied to the preprocessing of the pitch controller to reduce the mechanical wear over the rated power. The comparative simulation results validated that the tidal stream turbine system could obtain a higher power efficiency of energy capture and a smoother power output with the proposed control strategies at full range of tidal current speeds.

Schmitt et al. presented in [3] several field tests of a tidal turbine, performed using a self-propelled barge in real tidal flow and still water conditions, that were compared to a towing tank test. Factors influencing the performance characteristics, such as the choice of velocity sensor, vessel handling, and data processing techniques were investigated in this paper. Direct comparison with test results of the exact same turbine obtained in an experimental test facility further confirmed that field testing with robust data analysis capabilities was a viable, time- and cost-efficient alternative to characterize tidal turbines.

Zhou et al. numerically studied in [4] the key structural parameters of the spring–mass system that govern the dynamics of the double-elastic-constrained flapping taking the rigid

check for updates

Citation: Morales, R.; Segura, E. Tidal and Ocean Current Energy. *J. Mar. Sci. Eng.* **2023**, *11*, 683. https://doi.org/10.3390/ jmse11040683

Received: 23 February 2023
Accepted: 1 March 2023
Published: 23 March 2023

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

NACA0012 airfoil as the object. A two-dimensional numerical model, based on the CFD software FINE/Marine, was established to investigate the influence of the spring stiffness coefficient, frequency ratio, and damping coefficient on the motion and performance of the flapping hydrofoil. This study demonstrated that when the structural parameters were adequately adjusted, the power factor exceeding 1.0 had been achieved, and the corresponding efficiency was up to 37.8%. Moreover, this system could start and work within a wide range of damping coefficients. However, the hydraulic efficiency and power coefficient are sensitive to the change in damping coefficient, so it was very necessary to design an appropriate power output. Lastly, the most obvious parameter affecting the energy acquisition performance was the spring stiffness coefficients. Frequency ratios in the two directions had little influence on the peak value of the power coefficient, but they will cause the change of damping coefficients of the peak point. The key structural parameters studied in this paper provided a useful guideline for an optimized design of this interesting system through searching for the best performance.

Liu et al. investigated in [5] the influence of swept blades on the performance and hydrodynamics of the bidirectional horizontal-axis tidal turbines (BHATTs). A three-dimensional (3D) numerical model based on OpenFOAM was adopted to simulate a full-scale BHATT. The numerical framework was validated using two well-known experiments, and the mesh convergence was taken into consideration. The results indicated that the forward- and backward-swept blades had a limited impact on the performance and hydrodynamics of the BHATT.

Author Contributions: R.M. and E.S. jointly developed the concept and co-wrote this editorial. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This Special Issue has been supported by the postdoctoral researcher contract for scientific excellence within the framework Plan Propio de I+D+i of the Universidad de Castilla-La Mancha, co-financed by the Fondo Social Europeo (FSE) and the Fondo Social Europeo Plus (FSE+) [grant number 406].

Acknowledgments: The authors wish to thank all contributors to this Special Issue. The authors also wish to thank the very professional and efficient JMSE editorial staff without whose excellent assistance this issue would not have been possible. Additionally, the authors thank Marina Savic for her assistance in general and the help in editing this editorial paper in particular.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Yan, Y.-T.; Xu, S.-M.; Liu, C.; Zhang, X.; Chen, J.-M.; Zhang, X.-M.; Dong, Y.-J. Research on the Hydrodynamic Performance of a Horizontal-Axis Tidal Current Turbine with Symmetrical Airfoil Blades Based on Swept-Back Models. *J. Mar. Sci. Eng.* **2022**, *10*, 1515. [CrossRef]
2. Cai, Y.; Li, M.; Wang, T.; Wang, X.; Razik, H. An Output Power Interval Control Strategy Based on Pseudo-Tip-Speed Ratio and Adaptive Genetic Algorithm for Variable-Pitch Tidal Stream Turbine. *J. Mar. Sci. Eng.* **2022**, *10*, 1197. [CrossRef]
3. Schmitt, P.; Fu, S.; Benson, I.; Lavery, G.; Ordoñez-Sanchez, S.; Frost, C.; Johnstone, C.; Kregting, L. A Comparison of Tidal Turbine Characteristics Obtained from Field and Laboratory Testing. *J. Mar. Sci. Eng.* **2022**, *10*, 1182. [CrossRef]
4. Zhou, J.; Yan, W.; Mei, L.; Cong, L.; Shi, W. Principal Parameters Analysis of the Double-Elastic-Constrained Flapping Hydrofoil for Tidal Current Energy Extraction. *J. Mar. Sci. Eng.* **2022**, *10*, 855. [CrossRef]
5. Liu, S.; Zhang, J.; Sun, K.; Guo, Y.; Guan, D. Influence of Swept Blades on the Performance and Hydrodynamic Characteristics of a Bidirectional Horizontal-Axis Tidal Turbine. *J. Mar. Sci. Eng.* **2022**, *10*, 365. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sustainability

MDPI

Article

Wind Energy and the Energy Transition: Challenges and Opportunities for Mexico

Vanesa Magar [1,*], Alfredo Peña [2], Andrea Noemí Hahmann [2], Daniel Alejandro Pacheco-Rojas [3], Luis Salvador García-Hernández [4,†] and Markus Sebastian Gross [1,‡]

1 GEMlab, Departamento de Oceanografía Física, CICESE, Ensenada C.P. 22860, Mexico
2 DTU Wind and Energy Systems, Technical University of Denmark, 4000 Roskilde, Denmark
3 Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México C.P. 04510, Mexico
4 Independent Researcher, Ensenada C.P. 22800, Mexico
* Correspondence: vmagar@cicese.edu.mx
† Previous address: COLEF, Tijuana-Ensenada km 18.5, Tijuana C.P. 22560, Mexico.
‡ Deceased on 25 January 2022.

Abstract: We present a review of wind energy development in Mexico, factors hampering this development, and proposals for solutions to address this hampering. This review is relevant in the context of climate change mitigation strategies and the achievement of the United Nations' sustainable development goals. Wind energy can be harvested at competitive costs to solve society's energy poverty and climate change problems. Firstly, we present the current wind energy installed capacity and wind power generation status globally and in Mexico and discuss why Mexico is lagging behind, particularly since 2020. Despite this lag, several state governors are still considering wind energy developments. The current economic context is then considered, with community wind energy as a solution forward for wind energy development, using a successful case study from the UK that has addressed energy poverty and provided an additional income source for an island community. Any community energy project using wind as its main energy resource relies on accurate wind energy assessment in its feasibility analysis. Thus, an evaluation of different wind energy atlases for Mexico was performed, which showed that models considering microscale processes could lead to a relative difference of more than 50% when compared to those that do not consider them. This led to the conclusion that microscale effects must be considered in wind energy characterization models. Furthermore, it is acknowledged that wind faces other challenges, such as the effect of future climate change scenarios, grid planning, and vulnerability and risk associated with tropical storms, which can be substantial in Mexico. Solutions are proposed in the form of possible wind power generation scenarios, planning and implementation of centralized and distributed transmission lines, and possible wind siting and technological choices to reduce the vulnerability and risk to tropical storms. Finally, we close with some future perspectives for researchers and decision-makers. The main conclusions are that sustainable growth can only be compatible with a transition to renewable sources of energy, energy community projects can address energy poverty and achieve sustainable development goals, wind energy feasibility studies need to include microscale effects, return of investment can be improved by siting the wind farms in regions of low vulnerability and risk to extreme events, and high-voltage transmission lines are crucial for sustainable development, even with the important role that distributed systems play. Finally, turbine growth and materials recycling, among other factors, must be considered when assessing the environmental impacts of wind farm decommissioning.

Keywords: wind energy; energy policy; sustainable development goals; social and economic development; environment and climate change; Mexico

check for updates

Citation: Magar, V.; Peña, A.; Hahmann, A.N.; Pacheco-Rojas, D.A.; García-Hernández, L.S.; Gross, M.S. Wind Energy and the Energy Transition: Challenges and Opportunities for Mexico. *Sustainability* **2023**, *15*, 5496. https://doi.org/10.3390/su15065496

Academic Editor: Byungik Chang

Received: 14 January 2023
Revised: 13 March 2023
Accepted: 14 March 2023
Published: 21 March 2023

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

1. Introduction

Energy production from wind turbines constitutes a suitable alternative to fossil fuels. From utility-scale plants to small turbines in residential areas, technically-viable wind solutions have become widespread. Moreover, costs of onshore and offshore wind energy have declined by 39% and 29%, respectively, between 2010 and 2019 [1], making wind energy more affordable and helping reduce global energy poverty [2]. The technological maturity, combined with the economy of scale, gives wind energy a unique advantage over other renewable energy sources. As an affordable clean energy [3], it can play a synergetic role and help achieve several of the United Nations' sustainable development goals (SDGs), such as improving energy wealth, providing employment and economic growth opportunities, reducing inequality, promoting innovation [4], and fighting climate change [5,6].

Achieving transport and energy production decarbonization by 2050 will be crucial to comply with the terms of the Paris agreement [7], and reach net zero CO_2 emissions [8,9]. Although renewable technologies infrastructure still requires fossil fuels, life cycle greenhouse gas emissions are significantly lower for technologies powered by renewable resources than those powered by non-renewable ones [10]. Renewable energy corporations have been criticized for perpetuating social injustices [11] or using vast land extensions for energy production. However, when comparing normalized land use for both renewable and conventional energy sources, it has been found that some types of renewables, like PV, actually use the least amount of land [12]. Tröndle [13] showed that onshore wind has the highest land requirement if the spacing is considered, when compared to rooftop Photovoltaics (PV), utility-scale PV, and offshore wind, with the latter three being "no-regrets" options when the aim is to reduce the spatial extent of land-based renewables. Moreover, PV and wind power plants can be located in multi-use brownfields [14], and recent research has shown that land requirements of renewables can be reduced with little effect on costs [13].

Additional cost reductions can be achieved with hybrid systems and by addressing electricity generation and water desalination [15]. Studies on solar-wind independent systems are common, but not those integrating access to electricity with hydrogen storage and desalination. Although this technology would help provide electricity and potable water for communities in semi-arid coastal regions, the reliability of the system and its cost-benefit advantage, particularly at small scales, is unclear. Rajewski et al. [16] showed that wind turbines and crop co-location, such as corn and soybeans, were beneficial for the crops because turbines slow down the wind but increase turbulence. Therefore the wind interacts more with the crop, possibly increasing evaporation from the crop or moving carbon dioxide down into the crop. The turbines delay dew formation at night, which is beneficial to the crops because dew may cause fungi issues. Farmers can therefore get a stable income from the lease of the land, and as turbines take up a small proportion of the land, they can carry on with their farming activities. Moreover, because of the effects of the turbines on the microclimate around the crops, their crops will be healthier with present turbines than without.

From a socio-economic and rural sustainability perspective, a recent study by Mills [17] showed that wind energy development might help reverse the rural population loss observed since agriculture's industrialization. The economic impact of leasing the land to a wind farm is easy to measure. The income from land leasing is reinvested into agricultural activities by the farmers, but the social impact is more nuanced. An important finding of the study was that a farmer with a wind farm lease is significantly more likely to have a succession plan in place as well. In other words, the supplemental income provided by the wind turbines helps convince the younger generation that it is worth staying on the farm.

In relation to the impacts of adopting utility-scale wind energy in the fight against climate change, the immediate consequence of renewable energy production is the reduction of CO_2. However, the impacts go beyond just the reducting CO_2 emissions, with studies showing that large-scale wind farms can increase rainfall and change vegetation

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

growth patterns in arid lands [18]. Energy-intensive industries such as steel and iron are ideal clients for utility-scale wind. They have proactively researched and implemented green energy generation models to reduce their greenhouse gas emissions [19], without jeopardizing operations and securing the jobs provided by industry. The impacts of climate change can be reduced significantly thanks to the transition of these industries to clean energy sources.

As the Danish experience of the 1970s demonstrated, common citizens and small to medium-sized businesses can also contribute to the energy transition by organizing into energy communities. These energy communities play crucial active roles in the energy markets: they contribute two to eight times more to the local economy than non-local competitors, while efficiently decarbonizing the economy. A report by consultants CE Delft, based on the European union (EU), showed that energy communities could produce up to half of the EU's clean energy by 2050 [20]. Moreover, energy communities advance new forms of justice and democracy in practice [21]. However, it is unclear how they can gain a foothold on the prevailing structures of the renewable energy economic system [22].

This review paper is motivated by Mexico's lag in implementing onshore and offshore wind energy projects. By analyzing global and national installed capacities and their annual growth in the past years, we show that in the case of Mexico, such lag can be explained by the current Mexican economic and political context. Mexico's current policy discourages private investment in Renewable Energy projects, as the government argues that private projects perpetuate social injustice. To rebut this, we discuss an example of a community energy project that provides a solution to energy poverty and addresses the social injustices wind energy developers have otherwise caused in some parts of the country. Community energy projects based on wind energy, like any other wind energy project, require a characterization of the wind resources that is as accurate as possible at a local scale, i.e., the microscale. This improved accuracy should be reflected in what we commonly refer to as wind energy atlases. However, not all wind atlases incorporate the microscale effects, particularly those generated from weather models. Several wind atlases are available for Mexico; here, we show that the Global Wind Atlas produced by the Danish Technical University (DTU), which considers meso-microscale coupling for wind speed predictions, can be used to preliminary investigate wind energy potential. Wind faces other challenges, including the effect of future climate change scenarios, grid planning, and vulnerability and risk associated with tropical storms. Wind energy can combat climate change, but the degree to which it can achieve this depends on a number of factors, e.g., future generation scenarios; technical, ecological, and economic restrictions; the degree of development of the transmission lines; and the effects of hydro-meteorological extremes on wind farm siting and choice of technology. Other issues and solutions regarding the sustainable development of wind energy, e.g., territorial planning [23] and economic feasibility of wind energy projects for different site and technology choices based on the local wind climate [24,25], should be addressed too. We recognize the importance of these issues, as can be inferred by some of the examples we will use, but they are site and project-dependent. Here we will focus mostly, on problems and possible solutions with implications at a countrywide scale.

This work is organized as follows. In Section 2, the World's current status in installed capacity (IC) is discussed, and the evolution of IC in Mexico in the last few years is presented and discussed in relation to the energy policies implemented by the previous and the current federal administration. We selected some wind farm samples to show the spread of important wind energy resources throughout the Mexican territory. In Section 3, Mexico's lag with respect to global trends is explained within the context of the current government's political and economical approach. In Section 4, we present the case of an energy community in North Uist, an Island of the Outer Hebrides (in Scotland, UK), where a wind turbine project was implemented for community consumption and energy export. This has been included to show a current community energy success story using wind turbines and consider this a possible avenue in other countries, such as Mexico. In

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Section 5, we present different wind energy resource evaluation methods and highlight the advantages of models that integrate microscale effects into mesoscale wind energy resource assessments. Sections 6–8 focus on the challenges posed to wind energy development by future climate change scenarios, grid planning, and the vulnerability and risk indexes associated with tropical storms. Finally, in Section 9, long-term perspectives and concluding remarks are provided. It is worth noting that although the study focuses on Mexico, it can be replicated for any other country or region of the World.

2. Status of Installed Capacity and Changes in Energy Policies

Global renewable energy status reports show that the global IC in the wind energy sector increased between 52 and 64 GW annually from 2014 to 2019 [26–28]. In 2020 and 2021, it increased by 95 GW and 102 GW, respectively, thus reaching a total of 845 GW by 2021. In 2020, 35 GW [27], and in 2021 almost 19 GW [28], of the total IC corresponded to offshore wind farms. Figure 1 shows global installed capacity between 2002 and 2021 [28,29].

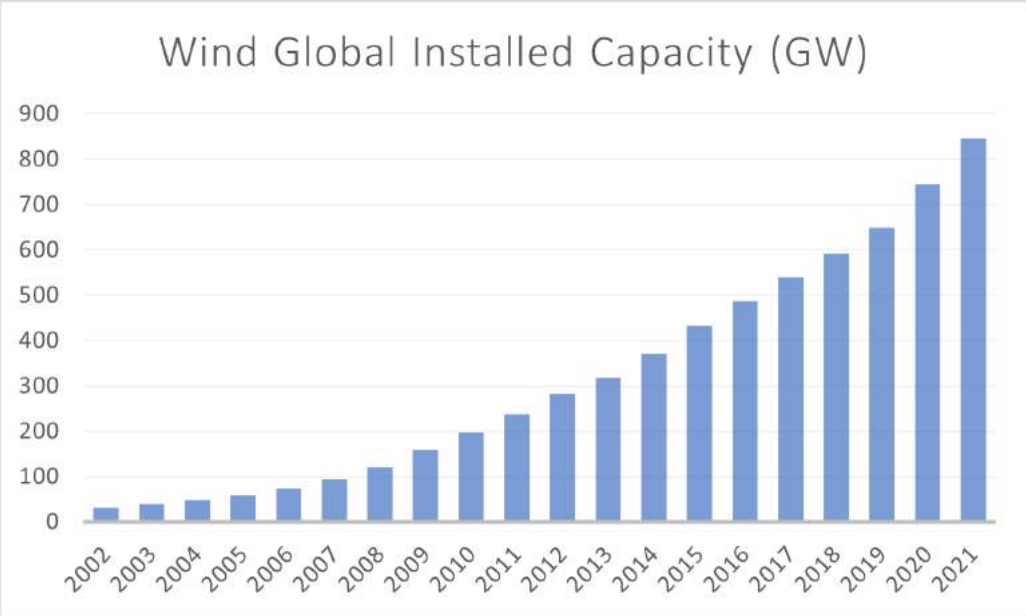


Figure 1. Global wind installed capacity from 2002 to 2021. Data taken from [28,29] (accessed on 1 March 2023).

Wind farms are operating in more than 90 countries; in 30 of them, more than 1 GW of IC has already been achieved. It is worth mentioning that by 2017, several European and some Latin American countries produced more than 10% of their energy from wind. Denmark and Uruguay, in particular, produced almost 60% and 40%, respectively, of their electricity from wind. The case of Denmark is noteworthy; since the 1970s, a number of wind farm projects have been developed by local energy cooperatives. This significantly increased the contribution of wind energy to the country's energy matrix and improved the level of acceptability of wind turbines as a source of energy among the Danish population.

Figure 2 shows the wind power generation (TWh) for all IEA member states from 2010 to 2021 [30], and Mexico's wind power generation (GWh) for the same years [31]. While IEA members' global wind power generation grew steadily between 2010 and 2021, we notice growth fluctuations in wind power generation for Mexico over that same period, with a growth deceleration from 2018 onwards.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

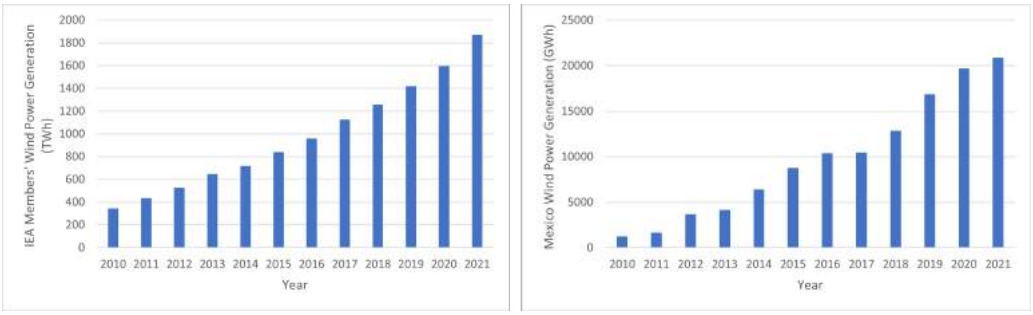


Figure 2. IEA members' total wind power generation in TWh (**left**), and Mexico's wind power generation in GWh (**right**), from 2010 to 2021. Figures generated with data from [30,31], respectively.

In 2018, 95% of new energy installations were exploiting renewable energy resources [32]. Furthermore, in 2018, the EU generated 362 TWh from wind energy farms, which increased to 458 TWh in 2020, corresponding to an increase of 25% in 2018 [33]. Wind energy covered 13.7% of the EU's energy demand in 2018, and 16% by 2020. It is expected that from now until 2025, some European countries will lead the wind energy development market, with the following IC (in GW): UK, 18; Germany, 16; France, 12; Sweden, 7; The Netherlands, 6 [33]. In 2020, Finland installed wind energy plants with the largest wind turbines on land, with an average rated power of 4.5 MW, while the smallest turbines, with an average rated power of 2.2 MW, were installed in the UK [33].

Offshore wind turbines are increasing continuously in rated power. While the largest turbine in 2017 had a rated power of 8 MW, some prototypes now reach 16 MW [34]. On the other hand, offshore wind turbines, such as the Heliade-X, have increased their capacity factors to up to 64%, compared to 25% to 42% that offshore wind turbines could achieve in the 1970s and 1980s [33]. From an economic point of view, each percentage increase in capacity factor represents a return on investment of approximately seven million dollars [35]. Thus, an increase to 60–64% in capacity factor represents an increase in the return on investment of 100 to 300 million dollars per turbine. Finally, wind turbines with hubs at higher heights and with longer blades might operate under conditions where wind speeds are less variable and under low turbulence, making energy production more predictable [35]. These facts illustrate some of the benefits of the economy of scale. Unfortunately, Mexico is far behind in wind development and deployment, with only onshore wind farms in operation and no clear offshore wind farm plans.

We now focus on historical and current onshore wind energy development in Mexico. In 2017, wind energy plants in Mexico produced 10 TWh, corresponding to 3.44% of the global annual energy production (AEP) from wind for that year. With 45 wind farms distributed throughout the national territory, only 3% of the total annual energy produced by the country was wind generated [36]. Table 1 shows some of the major wind energy plants currently in operation in Mexico. Compared to the largest wind farm in the world, Hornsea 2, off the Yorkshire coast, with 1.3 GW of IC, the largest wind farms in Mexico have installed capacities three times smaller. This helps put into perspective the degree of development of wind energy, or lack of it, in Mexico.

In 2017 the total installed capacity (IC) in Mexico was 75 GW, with only 29.5% of that based on renewable energy sources. This total IC had increased to 83 GW by 2020 [36,37], or a 10% growth in three years. The wind energy IC was 4 GW in 2017 and 6 GW in 2019, representing an increase of 50% in only two years. However, we must highlight that this growth took place mostly in 2018, under a regulatory policy framework promoting renewable energy projects. During 2020 and 2021, regulatory changes were introduced that hampered investments in the renewable energy sector. In fact, between 2019 and 2020, the wind energy sector only grew by 0.76 GW in IC [38]. Despite the regulatory measures introduced by the federal government, some states with the highest wind energy potential, such as Tamaulipas, have carried on planning a significant growth in IC, from 1.5 GW in 2020 to 1.9 GW by 2025 [38].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 1. Operating wind power plants (source: obtrenmx.org, accessed on 10 March 2022).

Plant Name	MW	Region	Owner	Prod. Scheme
Eólica del Sur	132.0	Oax	PGGM Inv.	Self-Supply
Alarde Tizimin	75.6	Yuc	Alarde Soc. de En.	Generation
Enel Palo Alto	129.0	Jal	Enel	Self-Supply
EDP Coahuila	199.5	Coah	EDP	Self-Supply
Acciona El Cortijo	183.0	Tamps	Acciona SA	Generation
Dominica En. Limp.	200.0	SLP	Enel SpA	Self-Supply
Enel Vien. del Altipl.	100.0	Zac	Enel SpA	Self-Supply
Sierra Juárez	155.0	BC	Sempra Energy	Export
Zuma Reynosa III	424.0	Tamps	Actis LLP	Generation
El Mezquite	250.0	NL	Cubico Ltd	Unknown

Plant Name Abbreviations: En. Limp.—Energía Limpia (Clean Energy); Vien. del Altipl.—Viento del Altiplano (Highland Wind). Region Abbreviations: Oax—Oaxaca; Yuc—Yucatan; Jal— Jalisco; Coah—Coahuila; Tamps—amaulipas; SLP—San Luis Potosí; Zac—Zacatecas; BC—Baja California; NL—Nuevo León. Owner Abbreviations: Inv.—Investments; Soc. de En.—Sociedad de Energía (Energy Society); EDP—Energías de Portugal (Portugal Energías). Prod.— Production.

In Mexico, only 10% of the total energy consumed was provided by renewable energy sources in 2020 [27]. Without considering hydraulic dams, renewables contributed 12.8% of the country's IC in 2017. This had increased to 18.4% by 2020. The IC of solar photovoltaic grew from 214 MW in 2017 to 5149 MW in 2020, being by far the renewable energy source with the largest annual growth rate, and positioning Mexico among the four most important photovoltaic energy developers in Latin America [27]. There was also a large increase in thermal solar energy projects in the industrial sector, positioning Mexico as the global development leader. Mexico also became the leader in Latin America in new geothermal developments, and sixth worldwide, with an IC of 9.9 GW at the end of 2020 [27].

3. Wind Energy Development in the Current Economic Context

From January 2020 to date, a global pandemic has slowed all the world's economies, dislocated industries and logistical and commercial production chains while simultaneously demonstrating the interdependence between countries and the importance of the energy sector on the economy. This economical crisis has been exacerbated by climate change impacts that are more noticeable and extreme than before. In this economic, energetic and environmental crisis, developing renewable energy sources, such as wind, plays a critical role.

Mobility and economic activities were significantly reduced during the pandemic, which caused a large reduction in energy demand. Consequently, we saw a negative price of crude oil in April 2020. The pandemic caused a contraction of the gross domestic product of −8.5% [39], an inflation rise of 7.45% [40], and a lower tax return on oil exports. On the other hand, the war in Ukraine has also contributed to oil price increases and inflation in 2022. Mexico has always exported oil and used oil revenue as a lever for economic growth. However, basing the country's development on fossil fuel exploitation is incompatible with climate change mitigation strategies. Energy is one of the strategic productive factors for all economies and having energy availability at affordable costs favors economic growth. However, if this energy comes from fossil fuels, GHG emissions will be generated, remaining in the atmosphere and causing global warming.

Renewable energy resources play a critical role in reducing GHG emissions and are compatible with green economic growth. The International Energy Agency estimates that over the next 30 years, radical changes will occur in the global energy sector toward a growth path with neutral emissions (net zero). In line with this perspective, daily oil production could go from 90 million barrels in 2020 to 22 million daily in 2050. These changes in the energy sector would be accompanied by an expansion of new electrical capacity, going from 261 GW in 2020 to 1000 GW in 2030, of which an additional 600 GW will be from photovoltaic solar power and 400 GW from wind power [41].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

The investments and costs of renewable energies will be an essential variable to achieve a path of economic growth compatible with sustainable development goals. The capital invested in renewable energy projects was just over 1 trillion dollars (2019 USD) during the period 2016–2020 and is expected to increase to 4 trillion dollars by 2030 and until 2050 [41]. During the last decade, a downward cost trend has been observed in the renewable energy sector, being an economically viable option even without any subsidy. Indeed, the weighted average leveled costs decreased in 2020 in solar thermal (16%), photovoltaic (7%) and wind energy both onshore (13%) and offshore (9%) compared to the year 2019, making them economically viable options [42]. The energy technologies that will allow a future with economic growth and neutral emissions already exist, their costs have decreased in recent years, and they should be installed in the country.

4. Community Wind Energy: The Case of North Uist, an Outer Hebrides Island

The North Uist project is a community-led, utility-scale wind energy development that demonstrates that well-organized communities can achieve their energy autonomy and turn into prosumers, both to produce energy for their homes and businesses or trade energy for other goods [43]. The project started operating in August 2019, and two ENERCON 0.9 MW community turbines generated 6129 MWh per year until September 2020, close to the forecasted yield of 6370 MWh per year. enough to cover the needs of the 1600 residents with an average household electricity consumption of 3831 kWh [44]. This project was chosen because of its success as a community project, and because it paves the way for similar projects of rural communities in other countries, particularly in Mexico.

The feasibility analysis of North Uist Wind was based on future community demands of energy, using clean energy technologies at the commercial readiness level, for the benefit of the local community and the environment [43]. The feasibility study included three types of energy: marine renewable energy, wind energy, and bioenergy. The Uist Wind partners analyzed the impacts and consequences of different projects at different scales: small-scale projects that can reduce the costs of energy consumption and at the same time reduce greenhouse gas emissions and large-scale projects that can become a sustained source of income for the community. The impacts focused on benefits and employment opportunities within reach of the community based on the renewable energy resources available on the island. This preliminary study, which includes from the start a socio-economic analysis, allows for prioritizing and planning different community-led projects, beginning with those with the best return on investment from the economic, ecological, and social perspectives.

The first issue considered in the planning and prioritization process concerned the population. The population density, settlement size in terms of the number of residents and a number of households, and settlement spread were critical in the analysis. These considerations help determine the optimal IC according to the distance from the grid and the nearest human settlements' size.

The second issue considered from the start was the presence of extensive industrial states in given areas. In coastal regions such as North Uist, industrial states include ports, warehouses, food processing plants, commercial fisheries, government offices, tourists, sports or retirement centers, or schools, to name but a few. The energy and heating needs of such users may be substantial. In locations with extreme environments or poorly insulated buildings such as North Uist, an eight-bedroom hotel may require between 25 and 35 thousand liters of fuel oil per year and have a demand for 30–45 kW in either heating or air conditioning, equivalent to 272–408 MWh per year [43].

The third issue concerns energy poverty and is directly linked to SDG7, i.e., universal access to clean and affordable energy. The feasibility analysis included a population census where the percentage of the population who live in energy poverty, i.e., those who used more than 10% of their net income to cover their energy needs, was determined [43]. In Mexico, alternative definitions of energy poverty based on relative social well-being have been proposed [45]. Still, the definition based on net income is non-ambiguous and thus more transparent to the need for action. Either way, renewable energy projects' ultimate aim

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

should empower the communities through democratic access to energy, energy services, and energy poverty abatement.

The fourth and final issue concerns possible development restrictions for conservating endangered species and natural protected areas. Which government and community authorities are in charge of managing these areas? How restrictive are the laws in relation to the development of renewable energy projects in these areas? Highly-restrictive areas need to be mapped out and identified as no-tolerance regions. Such is the case for areas of importance for the conservation of birds, or AICAs [23], for example. In marine areas, regions of no-tolerance include those for critically endangered marine species, such as the *Vaquita Marina* porpoise in the Gulf of California [46].

If there are only isolated settlements in a region, distributed small-scale renewable energy networks may be considered without any (or very few) negative environmental impacts. In this case, residential-scale turbines could be installed on rooftops or other locations with known wind speed classes and adapted to local conditions. Adopting this strategy would still solve energy poverty and GHG emission issues, albeit on a smaller scale. It should be noted that an isolated utility-scale turbine does not pose a significant threat to wildlife, even when installed in an AICA. If the turbine is still deemed unsafe for some endangered species after a thorough analysis, mitigation strategies must be put in place, or the turbine installed elsewhere.

Achieving project development milestones depends on flawless planning, thorough environmental and social impact studies, and focused community consultations. The fact that a project is community-based should be advantageous since the staff promoting it are part of the community and therefore know the region and the community's needs. However, there will always be a need to dialogue and negotiate with associations and local authorities to carry out the planning correctly and improve the chances of success. Table 2 summarizes some possible impacts that McLean and Robertson [43] considered, indicating who would be the possible stakeholders and responsible authorities in the case of Mexico.

Table 2. Potential impacts of onshore and offshore wind energy parks, based on the analysis by McLean and Robertson [43].

Problem	Description of Approach	Actors Involved
Landscape problems (sound or visual)	The local managing authorities (LMA) evaluate the project proposal for potential impacts and determine the methodology used to quantify the impact, whether they are acceptable, and if not if mitigation strategies can be implemented. LMAs in charge of historical heritage will provide information on cultural and historical areas that can be affected.	LMAs, INAH, other historical, archaeological, or cultural associations.
Ecological and geophysical studies	Geophysical issues include effects on the hydrological cycle, on fracture or subsidence of soils, the risk of hurricanes or other extreme events on wind power plants, and the environmental impacts of offshore turbines for sea projects, among others. Ecological issues include effects on flora and fauna, especially on birds and bats.	LMAs, CONANP, HEIs and NRCs, CONABIO, SEMARNAT, recognized national associations of geophysicists (e.g., the UGM) or ecologists.
Radar and aviation	The movement of the turbine blades can interfere with RADAR signals. Large turbines can interfere with aeronautical operations, particularly near airports or military bases.	SEMAR, MOD, DGAC, AAC

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 2. *Cont.*

Problem	Description of Approach	Actors Involved
Television and communications	Wind farms can interfere with high frequencies (microwaves) or telemetry (transfer of satellite information) transmission lines. Wind farms can also interfere with terrestrial television transmitters, or with relay links. The costs of mitigation measures that counter these effects must be in the budget so the project can move forward.	Telephone companies, telecommunication offices, television transmitters.

LMA: local managing authorities. INAH: National Institute of History and Anthropology. CONANP: National Commission of Natural Protected Areas. HEI: Higher education institutions. NRC: Non-research centers. CONABIO: National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity. SEMARNAT: Environment and Natural Resources Secretariat. UGM: Mexican Geophysical Union. SEMAR. Marine Secretariat. MOD: Ministry of Defence. DGAC: General Directorate of Civil Aviation. AAC: Civil aviation authorities.

5. Wind Energy Resource Evaluation for Mexico

Wind energy resource analysis and pre-feasibility studies are based on the yearly (or longer) distribution of wind speed, U, and wind direction, θ, the wind power density (WPD), and the AEP. Wind speed and direction are normally displayed as time series at selected locations and heights or as interactive maps, as in the Global Wind Atlas (GWA): https://globalwindatlas.info (accessed on 29 December 2022). The GWA was produced from wind data generated by the Weather Research and Forecasting (WRF) numerical weather prediction (NWP) model, with initial and boundary conditions provided by the ERA5 reanalysis. This model was used to simulate the atmospheric flow at 62 vertical layers on a global domain with a 3 km $\times$ 3 km horizontal grid spacing covering all the land surface and up to 200 km into the ocean. The topographic information and the output generated with an NWP (in particular, the velocities) can be used to generalize the wind field. This generalized wind field can be interpreted as the wind that would prevail without the influence of local topographic features. This generalized wind field is again reduced/downscaled in temporal and spatial scales to grids with much finer horizontal spacing (in the order of tens of meters), using the microscale models in the WAsP software developed by DTU (see https://www.wasp.dk/, accessed on 3 March 2023), and in combination with high-resolution topographic data at local scales. The data shown on the GWA website is integrated into a horizontal grid with a spacing of 250 m $\times$ 250 m. This procedure (generalization and downscaling) is known as the European Wind Atlas method [47]. Dörenkämper et al. [48] followed a similar procedure for producing the New European Wind Atlas (NEWA). The GWA also shows the yearly-averaged wind speed maps at 50, 100, and 200 m, representing past, present and future hub heights.

Wind energy resource analysis tools are provided on the GWA website. Figure 3 shows the annual WPD at 100 m above ground level (all heights are hereafter above ground level) for Mexico. A location with a WPD larger than 1000 W m^{-2} is considered to have great wind resource potential. Such WPD values are found in some Mexican sites, as illustrated in Table 3.

Table 3. Locations around Mexico with great (larger than 1000 W m^{-2}) wind resource potential, as measured with their yearly wind power density (WPD) at 100 m above ground. Based on the Global Wind Atlas (https://globalwindatlas.info/en, accessed on accessed on 29 December 2022).

Location	Short Name	WPD (W m^{-2})	Latitude	Longitude
La Rumorosa	BC	2486	32.54	−116.03
Tamaulipas	Tam	2451	24.641	−99.076
Eastern BC Peninsula	BC	2019	29.7	−114.52
Chihuahua	So-Chi	1681	31.08	−107.69
Sonora	So-Chi	1665	30.67	−109.803
Isthmus of Tehuantepec	IST	1492	16.329	−94.78

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

The regions mentioned in Table 3 appear in Figure 3. The geographical coordinates show approximate locations within each of the mentioned Mexican states. They should not be used for wind farm planning purposes unless supported by a microscale wind energy analysis and on-site measurements.

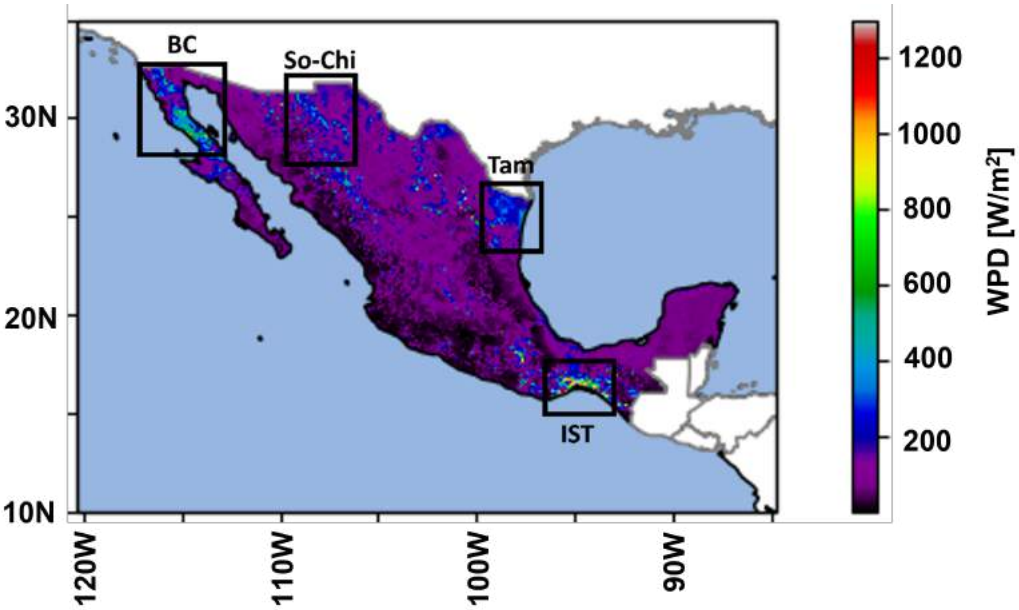


Figure 3. Annual wind power density (WPD) at 100 m based on the GWA 3.0 data available at https://globalwindatlas.info/ (accessed on 29 December 2022). The rectangles show regions with high wind power density (see text for details).

Wind speed predictions may vary significantly depending on the wind data sources. In order to illustrate this, we used three different sources: the GWA 3.0 previously presented; the WINDToolkit, a database with current wind predictions and future scenarios developed by the U.S. National Renewable Energy Laboratory (NREL) with a horizontal grid spacing of 2000 m (see https://www.nrel.gov/grid/wind-toolkit.html, accessed on 1 June 2020); and a yearly-averaged WPD map developed by VESTAS with a horizontal grid spacing of 3000 m (see https://maps.nrel.gov/gst-mexico, accessed on 1 June 2020). While the wind energy maps generated in the GWA 3.0 are produced using WRF and WAsP, those using the NREL and VESTAS data are produced with the WRF model only and therefore do not consider microscale effects on the wind, which are crucial for accurate predictions of local winds.

Figure 4 shows the maximum relative difference between the VESTAS and the WINDToolkit wind speed predictions relative to the GWA. The blanked-out areas are regions where the difference is larger than 50%, and include, for example, the central part of the Isthmus of Tehuantepec, the Pacific Coast from Jalisco to Oaxaca, as well as some areas in the Coast of Tamaulipas. This is a substantial area of the country, and most importantly, these are areas generally known for having good wind energy resources [24]. Note that values larger than 30% can also be observed throughout the country near the coast and inland. It is also noteworthy that there is no correlation between large percentage differences between atlas products (Figure 4) and WPD (see Figure 3): regions with either low or high WPD can present high percentage differences between atlas products. Therefore, all wind energy assessments, especially those based on NWP models that do not consider microscale effects, must be interpreted cautiously.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

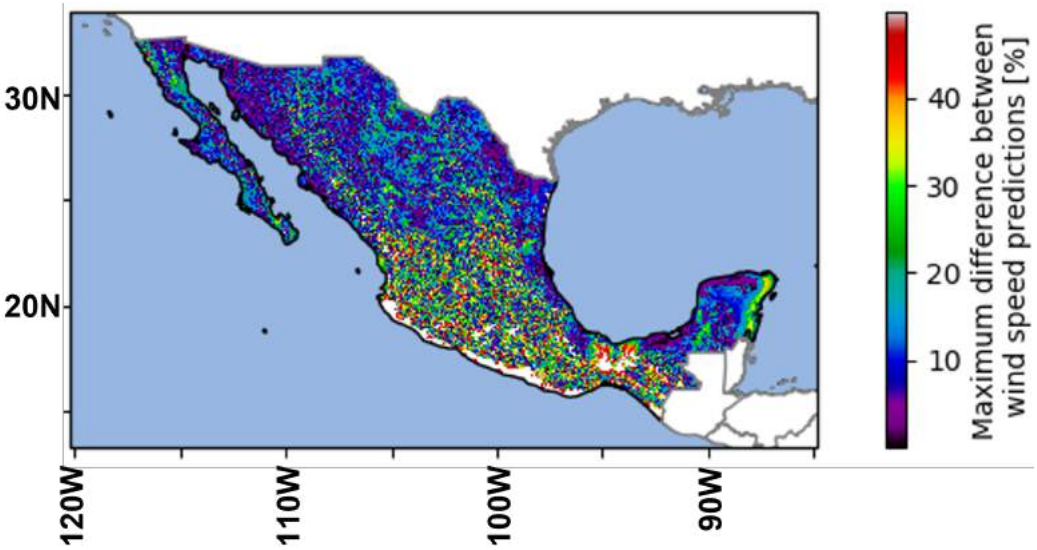


Figure 4. Maximum relative difference between wind speed estimated by the WINDToolkit and VESTAS in relation to that of the GWA, shown in Figure 3.

These maps show regions where the probability of finding a site with commercially-exploitable wind resources is high. However, it is essential to quantify the wind resources with in situ wind speed measurements taken for at least one year and at heights close to the proposed hub heights, to have robust and reliable wind climatologies that are useful for the wind energy sector, and to assess the accuracy of the numerical models at those heights. If installing meteorological towers with sensors at different heights from the ground to hub height or higher is impossible, wind lidars can be used [49]. Wind lidar measurements have been performed in Mexico since 2017, and high-quality meteorological towers were installed as part of the Mexican Wind Atlas (MWA) project. The MWA project involved the installation of 10 towers, with cup anemometers and wind vanes measuring both wind speed and direction at 20 m intervals, between 20 m and 80 m.

In summary, a wind energy atlas is not a simple map of mean wind speed and direction at a given height for a given region on the Earth. The wind field needs to be validated against observations, wind speed and direction need to be provided at several heights, and a broad database that allows for more detailed computations needs to be made available [50]. Moreover, the numerical simulations must include a microscale evaluation of the wind energy resource. Numerical datasets based on mesoscale models that omit such evaluation, like the VESTAS and NREL datasets used here, have mean relative differences in wind speed relative to a meso-microscale coupled model that can be over 50%, with differences above 30% in a significant percentage of the land surface.

6. Possible Generation Solutions: Contrasts and Limitations

To evaluate possible wind energy generation scenarios, we used the atlas of regions with optimal wind energy resources (AZEL). The AZEL was developed with input from a team of experts who identified access to transmission lines as the most important limiting factor. Distance to the national grid is crucial for a project to be commercially viable. Based on this, four different scenarios were proposed. The data for the four scenarios, SCE1 to SCE4, was downloaded from https://dgel.energia.gob.mx/azel/ (accessed on 4 February 2021). The SCEs satisfy the following characteristics: SCE1 includes all regions with commercially-viable energy resources; SCE2 includes the commercially-viable regions that are at an average distance of 20 km from the transmission lines; SCE3 includes only the regions at an average distance of 10 km or less from the transmission lines; and SCE4 includes the regions at an average distance of more than 20 km from the transmission lines.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Table 4 shows the installable wind energy capacity (IWEC) in GW, the expected annual energy production (EAEP) in 10^3 GWh/year, and the preventable CO_2 emissions (PCO_2E) in 10^3 Mton/year. The IWEC takes into consideration social, environmental, and techno-economic exclusion zones, for all four scenarios. The EAEP and the PCO_2E are computed based on the IWEC and other technical information obtained during the IWEC analysis. SCE1 gives a maximum estimation of these three indicators, subject to the AZEL assumptions, based on the commercially-viable sites. Here we see that the maximum IWEC is 583.2 GW. Considering that up to December 2018, the IC was 5.14 GW [36,51], we have not even reached 1% of the installable wind energy capacity offered by the land part of the Mexican territory. Indeed, the AZEL data does not include the offshore wind energy potential, which is only available from other publications [24,52].

Table 4. Installable wind energy capacity (IWEC), expected annual energy production (EAEP) and preventable CO_2 emissions (PCO_2E) under the four AZEL scenarios. The information was obtained from the AZEL website (last accessed in 2021).

Indicator	Units	SCE1	SCE2	SCE3	SCE4
IWEC	GW	583.20	290.25	158.30	297.44
EAEP	10^3 GWh/year	1486.71	740.33	402.85	750.19
PCO_2E	10^3 Mton/year	674.97	336.11	182.89	340.58

The AZEL recognizes the crucial importance of access to transmission lines as one of the main limitations of renewable energy developments. Based on proximity to transmission lines alone, the IWEC drops to 290.25 GW, to less than 50% of the total IWEC. This, however, does not provide information on the available voltage of the transmission line, which is also a critical parameter to consider. SCE4 shows the IWEC that could be exploited by isolated turbines connected to a local grid, possibly as a distributed renewable energy system providing energy to the homes and businesses within small human settlements or for agricultural activities. At 297.44 GW of IWEC, this is a very important energy resource. By exploiting this, one could avoid up to 674.97 Mton/year of CO_2 emissions, equivalent to the emissions of almost 70% of the country's population in 2019 [53].

Figure 5 shows the regions included in SCE1, the scenario with all commercially-viable regions. The AZEL has not included, for example, any areas along the Pacific Coast except for the Isthmus of Tehuantepec, and some small regions in the Baja California Peninsula. Therefore, the AZEL is not reporting all the available wind energy resources, as identified with the GWA wind energy resource assessment presented in Section 5. This implies that the AZEL scenarios are underestimating the country's installable capacity, in part due to the limitations of the numerical models on which the scenarios were based. Moreover, the only restriction considered in the AZEL is the site's proximity to transmission lines. Several additional restrictions may be considered, such as land use, exclusions based on topographical characteristics, exposure to natural hazards, AICAs, RAMSAR sites, or others.

Finally, offshore wind capacity has not been considered in the country's future development plans, at least not in the official documents published by the Mexican Ministry of Energy (SENER). However, some studies have attempted to characterize offshore wind energy potential in Mexican waters [24]; the effect of climate change on offshore wind energy resources [52]; and offshore wind energy development under marine planning restrictions in the Gulf of California [23].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

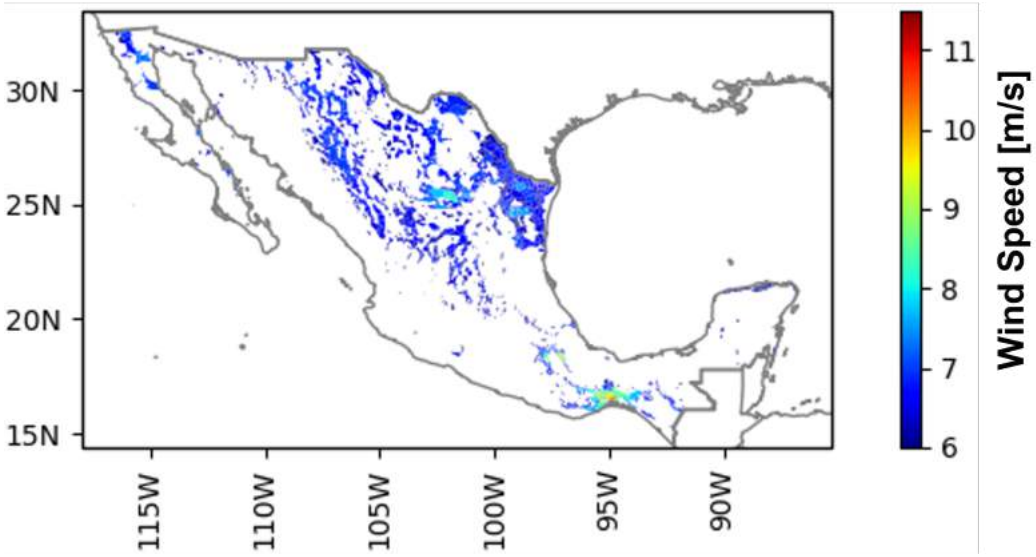


Figure 5. Wind speed over some areas of Mexico, covered by the scenario SCE1 of the AZEL (the data was downloaded from https://dgel.energia.gob.mx/azel/, accessed on 4 February 2021).

7. Long-Distance vs. Distributed Transmission Lines: Challenges and Solutions for Sustainable Growth

Although Mexico has regions with high potential for wind harvesting, the lack of reliable, near-zero leak, high-voltage transmission and distribution lines has been one of the factors hampering the most the growth of this sector [54]. Decisions made in relation to the development of the transmission lines will also determine which regions will implement wind farm developments first. Therefore, it is crucial to plan the national grid's growth adequately. Here we describe the status of the Mexican transmission grid in 2018 and the plans put in place to solve the challenges posed by the grid to renewable energy project developments. It is worth noting that community wind energy project development may also require stronger distributed systems as a solution for the energy transition. We will comment more on this at the end of the section.

The Mexican national transmission network (NTN) consists of four isolated systems: the national interconnected system (SIN); the Baja California Sur (BCS) system; the Baja California (BC) system; and the Mulegé (SEM) system. The SIN is divided further into seven control regions. The BCS, BC, and SEM systems are all located in the Baja California Peninsula; the plan was to connect these three systems to the SIN by 2023 [36]. 94.6% of the gross annual energy consumption (GAEC) in 2017 was concentrated in the SIN, which in that year amounted to a GAEC of 309.73 GW% larger than in 2016, and above the 2007–2017 average annual growth rate of 2.6% [36]. One of the most important limitations for implementing utility-scale renewable energy systems has been transmission line weaknesses [54]. Wind farms are no exception, hence the need to expand and modernize the grid and implement energy storage and smart control systems. For instance, the energy generated in Baja California can only be consumed locally or exported to the United States because none of the transmission line subsystems in the BC peninsula is connected to the SIN.

The federal electricity commission (CFE) currently is the main developer of the NTN. The criteria for NTN developments up to 2018 included the size and location of the energy demand poles, the geographical location of electricity generation plants, and the planned renewable energy farm developments [55]. It is important to highlight that the region with the largest transmission capacity is the Northeastern region, where 25% of the country's capacity is located [55]. This region is connected to the Central region through the states of Queretaro and Veracruz. The interconnection capacity between the central region is also large with the states of Oaxaca and Chiapas. These two states are in the eastern control region. It is believed that the BC subsystem might be able to connect to the SIN by 2023,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

allowing developments in the BC peninsula to cover part of the demand in the SIN in Northwest Sonora, and vice versa [55].

Figure 6 compares transmission line limits between 2018 and those planned for 2024 by the previous government administration. In some locations, the planned expansions would have doubled the limits. In others, the planned lines consisted of completely new installations, such as the submarine cable connecting the mainland to the middle part of the BC Peninsula, connecting the SIN with the SEM and the BCS grids, the connection of the SIN to the BC system along the Mexico-US border, and the cable connecting Chihuahua and Tamaulipas to the center of the country. These new grid connections would boost the development of renewable energy projects in those regions and provide both energy and employment opportunities. Unfortunately, it is uncertain which grid expansions will go ahead by 2024, mostly for political reasons. An analysis of the new transmission line development plans, published in the latest SENER documents [37], highlighted that the current administration is proposing no substantial advances in maintenance or new developments of the NTN in relation to 2018.

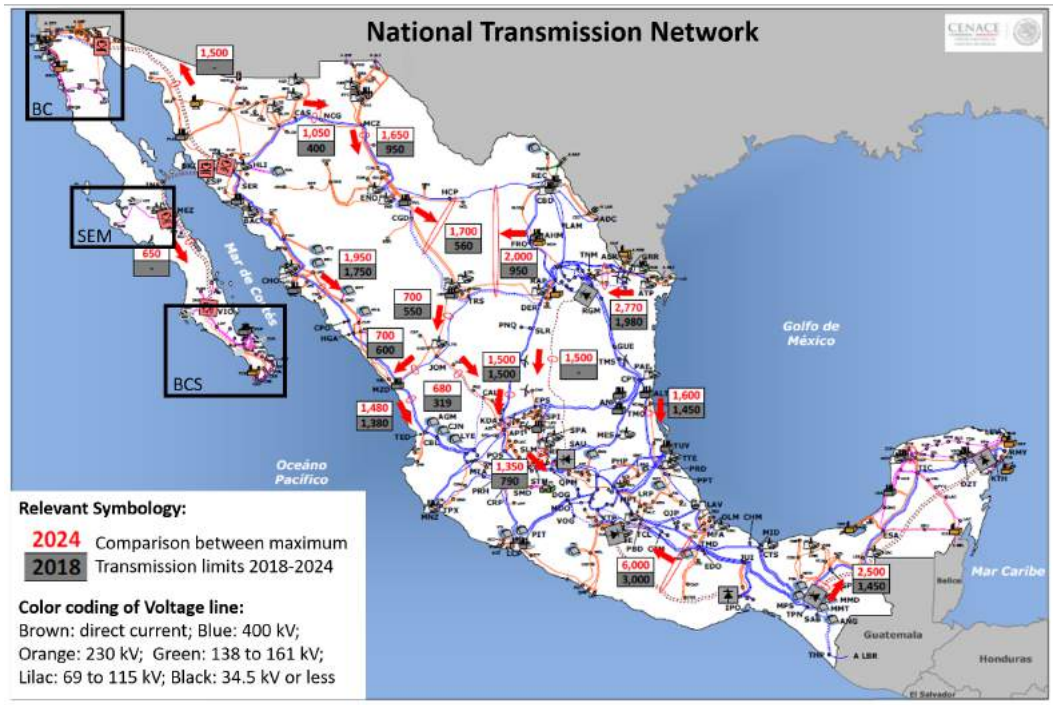


Figure 6. Comparison between the transmission limit for 2018 and that expected in 2024. The NTN consists of four subgrids: the national interconnected system on the mainland; and the Baja California (BC), the Mulegé (SEM), and the Baja California Sur (BCS) grids on the Baja California Peninsula, based on transmission line development plans proposed by the Mexican ministry of energy in 2018 [55].

The current national transmission network (NTN) limitations have important economic consequences. For example, the energy produced in the BC grid can only be consumed locally or exported to the US. Moreover, the Baja California Peninsula is fragmented into three energy islands, the BC, the SEM and the BCS grids. Most lines are 138–161 kV lines, with low transmission limits and high energy losses (see Figure 6). The region with the most transmission capacity is the Northeastern region, with almost 25% of the country's total transmission capacity [55]. The North East is well connected to the central region along the Gulf of Mexico. The states of Oaxaca and Chiapas, on the South, also have high transmission capacity. New NTN developments usually consider the demands for transmission, which depends in turn on the location of current electricity plants and those under planning [55]. CFE historically has been the main developer of the national grid. CFE

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

is not planning new renewable energy projects in the near future, so we can only speculate that CFE will focus on strengthening the existing grid infrastructure, not on installing new grid connections. This means that independent prosumers in isolated regions will need to generate energy, consume it or store it on-site, off the grid.

The weaknesses in the NTN that we have highlighted for the BC Peninsula subgrids and the SIN should be resolved to improve the national connectivity and strengthen the transmission capacity of the whole network. According to the PRODESEN 2018–2032 [36], Mexico needs an additional IC of 67 GW to satisfy the national energy demand between 2018 and 2032, equivalent to an investment of 1.7 billion MXN (almost 50,000 million USD), or 7.8% of Mexico's Gross Domestic Product (GDP) in 2018. Renewable energy projects in isolated regions with high wind speeds will be limited without resolving the grid limitations. Furthermore, we run the risk that all utility-scale wind farm projects are developed in Class I sites already connected to the grid, as has happened in Oaxaca. This is risky, first because the grid will quickly become saturated, and second, because of all the ecological and socio-economical problems that this can generate [56].

A country-wide balanced and equitable development of the wind energy sector should be pursued. Spreading wind farm development throughout the country is feasible because current wind turbines may be installed in locations with different wind classes: Class I, or 10 m/s yearly-averaged wind speeds at hub height; Class II, or 8.5 m/s; Class III, or 7.5 m/s; and Class IV, or 6 m/s, according to the IEC-61400 standards [57]. However, other important parameters may affect wind turbine performance and AEP; and this is reflected in part in the capacity factor of each individual wind farm. Those parameters may include complex topographies or vegetation cover, the turbulent structure at the site, and the effects of wind gusts with return periods of 50 years [57,58], for example. However, as the diversity of the IEC-61400 standard demonstrates, wind turbine technologies are very mature, and therefore several regions in Mexico are good candidates for wind farm developments, even in complex terrain [59].

8. Hydrometeorological Extremes and Their Impacts on Wind Farm Siting

Wind turbines are vulnerable to hydrometeorological extremes, and in most cases, they cannot operate above a cut-off speed of 25 m/s. Any region on the Earth located roughly between the tropics of Capricorn and Cancer (currently the parallels at 23.43655° S and 23.43655° N, respectively) is subject to tropical storms, cyclones and hurricanes. Tropical storms may be defined as mild hydrometeorological perturbations (with wind speeds below 33 m/s or 120 km/h), while tropical cyclones and hurricanes are high wind speed perturbations. Cyclones, like typhoons, are extreme events observed in the Pacific and the Indian Ocean, and hurricanes occur in the Atlantic. Tropical cyclones consist of events where the wind speeds can reach 83 m/s (https://public.wmo.int/es/ciclones-tropicales, accessed on 16 March 2023). Thus, all commercial wind turbines cannot operate even under mild storm conditions. Once the wind speeds reach the turbine cut-off speed, turbine protection mechanisms are activated. In all cases, a lock stops the blades from turning in response to the wind. Some new technologies have been developed that not only stop the blades from turning but lower the whole wind energy conversion system to the ground, like the 30 kW turbine developed and tested at the Regional Centre for Wind Energy Technology site, in Oaxaca [60]; the pilot turbine deployed in 2019 is shown in Figure 7. If the wind speeds are too strong, the turbines are taken down until the extreme conditions end. They are checked for potential damage before being lifted into operational position.

Energy downtime probability plots can be deduced from the turbine specifications and the probability of occurrence of an extreme event.

The vulnerability index due to a tropical storm ($VITS$) is defined as [61]

$$VITS = \sum_{i=1}^{7} I_i \, P(I_i), \tag{1}$$

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

where I_i with $i = 1, 2, \ldots, 7$ is the intensity of the tropical storm, and $P(I_i)$ is the annual probability of exceedance of storms with intensity I_i. I_1 is the intensity of a tropical depression, I_2 the intensity of a tropical storm, and intensities I_3 to I_7 the intensities of hurricanes of categories 1 to 5. The trajectories of the tropical storms between 1949 and 2015 were extracted from the National Hurricane Centre database [62], which have been counted inside and up to 10 km from the border of each of Mexico's counties using the natural (Jenks) break strategy with classes based on hurricane intensity [63,64]. The $VITS$ is then mapped in ways that acknowledge the similarities and differences between regions in terms of their vulnerability to tropical storms. Figure 8 is the $VITS$ computed in [61] for the storms recorded in the period 1949–2015.



Figure 7. 30 kW collapsible turbine trials at the Regional Centre for Wind Energy Technology site in Oaxaca in 2019. Taken from Hernández-Arriaga [60].

Figure 8 illustrates the $VITS$ for all of Mexico, showing regions in Tamaulipas (Tam), the northern part of Veracruz (Ver), Campeche (Cam), Quintana Roo (QR), Jalisco (Jal), Sinaloa (Sin), BC and BCS, with very high $VITS$. Since the $VITS$ is a combination of intensity and probability of exceedance, the regions with high $VITS$ are regions more susceptible to damage by tropical storms. It is also worth noting that the $VITS$ does not consider the population density in the counties mentioned. For instance, BCS has high $VITS$, because, over the hurricane season, the probability is that a hurricane with a category of 3 or above will reach the southern half of the Baja California Peninsula. However, only the southern tip of the Peninsula is highly populated and therefore should be prioritized.

A Risk Index to Tropical Storms (RITS) is defined to correct for population density (D), as mentioned above, and take into consideration a measure of social vulnerability (SV) [65]:

$$RITS = [\ln(D) + 3](SV)(VITS). \quad (2)$$

So, the $RITS$ conditions the vulnerability index by considering the population density and the probability of loss of valuable assets. The value of the assets may be social, economic, or ecological. High $RITS$ regions cover less area than the high $VITS$ regions because the $RITS$ is a $VITS$ with additional restrictions. The $RITS$ is also determined using the method of Jenks natural break strategy [64], a data clustering method that identifies the optimal arrangement for data classification.

As Figure 9 shows, the areas with very high $RITS$ are contained within areas with very high $VITS$ (see Figure 8), as we expected. The areas of high $RITS$ are very well defined. They are located in the southern half of BCS, in some parts of Sinaloa and Jalisco, in southern Tamaulipas and northern Veracruz, and in the Caribbean and the northern parts of the Yucatan Peninsula. The $RITS$ and the $VITS$ complement each other as decision-making tools when it comes to identifying regions that may be better suited for wind farm

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

development. On the one hand, regions with low $VITS$ should be preferred. On the other, if a wind farm is being planned in a high $VITS$ region, it is best to place it in an area of high $RITS$ to minimize construction risks and repair and maintenance costs.

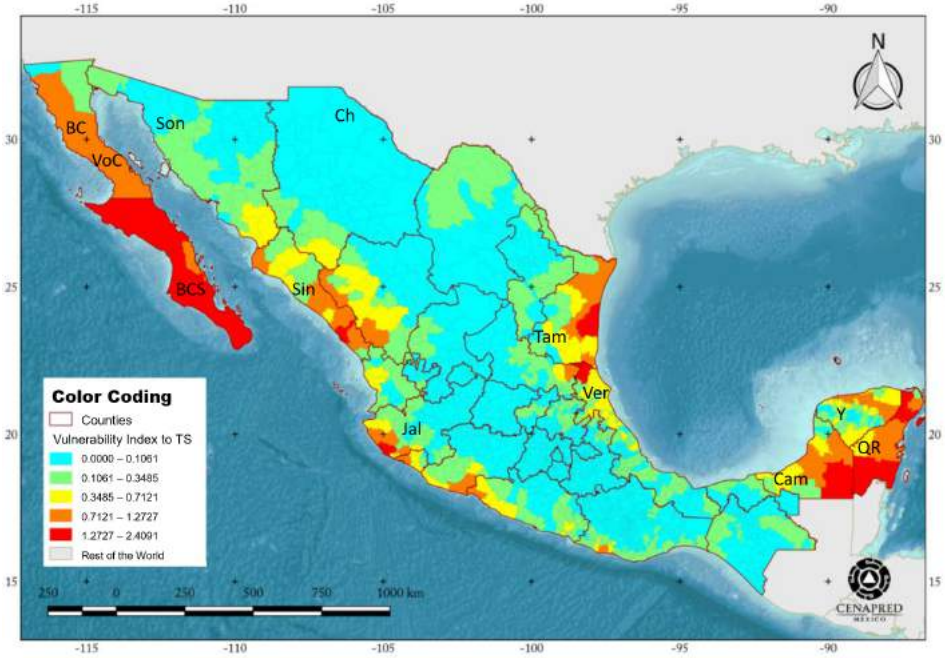


Figure 8. Vulnerability Index to Tropical Storms ($VITS$) based on hurricane trajectories in the period 1949–2015 from the Miami National Weather Centre, National Hurricane Center, and the natural (Jenks) break strategy. QR = Quintana Roo; Y = Yucatán; Cam = Campeche; Ver = Veracruz; Tam = Tamaulipas; Ch = Chihuahua; Son = Sonora; Sin = Sinaloa; BC = Baja California; VoC = Valley of Cirios (see Section 5); BCS = Baja California Sur. Figure reproduced with permission from Baeza-Ramírez and Jiménez-Espinosa [61].

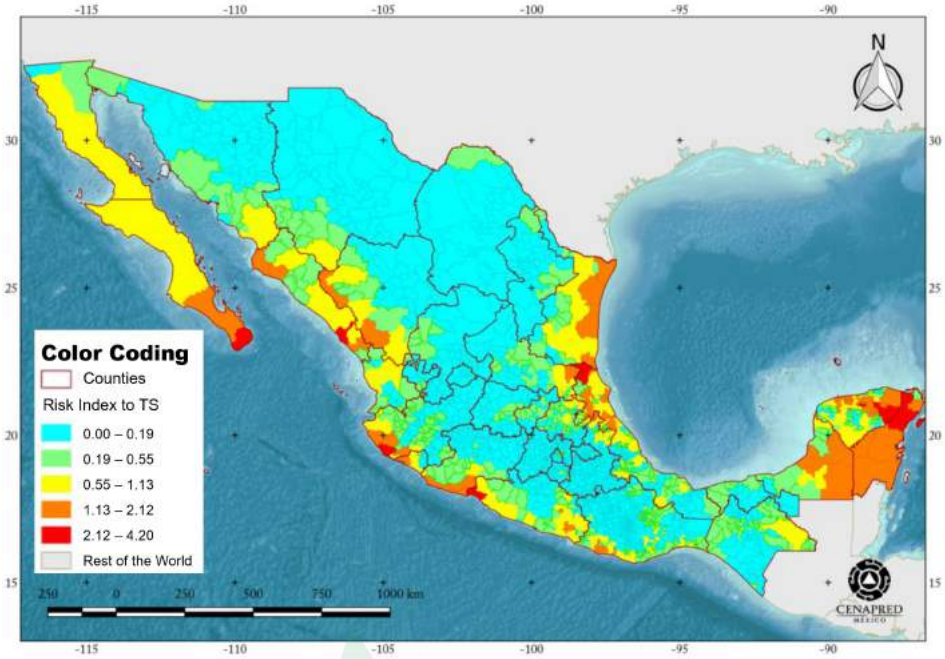


Figure 9. Risk index to tropical storms ($RITS$) for the period 1949–2015. The $RITS$ is defined as the product of the $VITS$ illustrated in Figure 8, by a social vulnerability SV, which is a measure of the value of the assets in the region, and by the factor $\ln(D) + 3$ where D is the population density. Figure reproduced with permission from Baeza-Ramírez and Jiménez-Espinosa [61].

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

In general, the coastal regions are the most vulnerable areas to tropical storms. It is worth noting, in particular, that all the states of QR, the eastern side of Campeche, and the southern half of BCS (see Figure 8) have high to very high *RITS*. Wind energy developments are also most at risk in these regions, especially at the coast and offshore.

9. Long-Term Perspectives

Wind energy development requires improved technical and scientific methodologies, covering aspects of numerical modeling; in situ measurements; technological design, operation and maintenance; and environmental impacts mitigation strategies. Several projects or government programs on modeling and field monitoring campaigns should be planned and implemented to improve wind energy resource evaluations. For example, the sensitivity of the numerical weather forecast predictions to the modeling assumptions, in particular to the coupling with a microscale model as shown in Figure 2, indicates that the bottom boundary data should be improved, including better digital elevation models and better information on vegetation type and land use. Furthermore, while most models assume that the vegetation type does not change, it is a parameter that changes over time. These changes may include deforestation, reforestation, seasonal variations, or urbanization effects on regional wind speeds. Energy resource maps that assess the effects of vegetation and land use changes can allow better planning for urbanization and wind farm development projects. Topography, vegetation and land use resolution on wind energy resources has been recently studied in international projects, such as the "Multi-scale and model-chain Evaluation of Wind Atlases" (MEWA) project [66], the "Innovation for Global Wind Energy Exploitation on Land using Satellites" (InnoWind) project [67], and the "New European Wind Atlas" (NEWA) project [68]. In the future, these studies can be extended to analyze the effects of temporal changes in land use on wind resources.

Studies on the variability and effects of climate change on wind resources at decadal scales are scarce and should be explored more thoroughly. An analysis for Mexico showed the wind energy resources under the RCP8.5 scenario would decrease in Oaxaca [52]. For this reason, it is necessary to continue implementing numerical models that assess the effects of climate change, in particular for the RCP8.5 scenario. The IPCC recommendations imply that this is the scenario we must consider when evaluating impacts since only then will we provide information that is more appropriate to the reality of the climate crisis and its possible effects.

It is also imperative to continue measuring atmospheric variables with sensors at hub height, such as those carried out in the MWA project led by the National Institute of Electricity and Clean Energies [50]. In the MWA, ten monitoring towers were installed throughout the country. These measurements allow the study of local wind conditions and provide a reference for evaluating numerical models. These models help plan the wind farm layout, including the number of turbines and their geographical locations, to maximize energy production and minimize environmental impacts. More extensive project planning exercises also need to assess wind farms' interactions, since one plant may affect the flow field reaching the plants located downstream.

Despite being a mature technology with significant progress in its implementation at the commercial level, the dismantling and recycling of wind conversion systems, or at least of the parts, continues to be a big problem [69]. One reason is that few commercial wind plants are reaching the end of their life, and therefore there is little experience in decommissioning and recycling wind turbine parts. The other is that many plants that have already completed their life cycle continue to generate electricity. However, the recycling problem is beginning to be addressed, both by academia and industry. The blades are the part of the turbine that has received the most attention, although some manufacturers, including Vestas [70], have addressed the complete turbine's recycling problem. The magnitude of the recycling problem will depend mainly on the IC 30 to 40 years from now. The growth of IC depends, in turn, on the wind energy growth roadmap. The Organization

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

for Economic Cooperation and Development and the International Energy Agency, for example, consider two possible growth scenarios [71]: the "2DC" scenario (2 °C)—with a Global IC of 1400 GW by 2030 and of 2300 GW by 2050; and the "HiRen" scenario (Renewables)—with a Global IC of 1600 GW by 2030 and of 2700 GW by 2050.

Life cycle analyses must consider the growth roadmaps to 2030 and 2050 to properly assess the type and volume of materials that need to be mined or manufactured. Recycling and reusing processes will help minimize waste during the decommissioning stage. The growth roadmaps are also critical when evaluating potential environmental impacts. Dismantling, recycling, or waste disposal must take into account some of the following, among other possible factors:

1. 5% of the IC installed by 2030 will need to be dismantled by 2050 [72].
2. Turbine size will change. Currently, turbines have, on average, 2 MW of IC, but the capacity is expected to increase to 10 MW by 2030 [73].
3. Changes in design and construction materials. For example, steel is easily recyclable, but it is challenging to handle and recycle fiberglass.
4. Take into account submarine cabling in the case of offshore wind farms [74].
5. Uncertainties and limitations in recovering and processing materials from offshore wind farms.
6. Type of vegetation and changes in land use should be included in the environmental impact studies, and the measures to reduce or correct these impacts should be accounted for in the budget [75].

Finally, it is essential to highlight that, to meet the sector's needs, it will be necessary to train thousands of specialists from different disciplines who focus only on the wind sector to achieve substantial advancements in research and technological development. The number of engineers and scientists explicitly training to become renewable energy professionals is extensive. However, this training is usually very general, limiting specific and highly advanced skill development in each renewable energy specialization sector that we must promote nationally.

10. Conclusions

A review of wind energy development in Mexico, focusing on the factors hampering it and on proposals for solutions, is presented. This analysis is relevant in the context of climate change mitigation strategies and the achievement of the UN's sustainable development goals. Indeed, wind and solar are currently the two most mature and easily scalable renewable energy technologies.

An analysis of the global and Mexico's installed capacity and wind generation for the past ten years shows that wind growth has reduced significantly since 2020 in Mexico. New government policies favoring fossil fuels over renewable energies are partially responsible for this growth deceleration. However, investments in renewable energies are essential to economic growth compatible with sustainable development goals.

Although the wind energy private sector in Mexico has been criticized for socially unfair land lease agreements with the land owners and for not addressing local energy poverty problems, community wind energy projects have shown that privately-owned projects, when led by local communities, can address energy poverty and achieve sustainable development goals. However, all energy projects would be more successful in attaining a return on investment and would do so faster if feasibility studies and environmental impact assessments were more robust. For example, most wind atlases are not precise enough, in part because they do not couple microscale and mesoscale models in their analysis. Indeed, the relative differences in wind power density estimates between mesoscale and micro-mesoscale models can be as large as 50% in some locations, demonstrating the importance of considering the microscale effects on wind energy characterization.

Four wind generation scenarios were examined. However, these scenarios only consider the regions with the highest annual wind power densities. Therefore, the installable wind energy capacity and the expected annual energy production may be significantly

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

underestimated. Moreover, none of these scenarios takes into consideration Mexico's territorial waters. Proximity to high-voltage transmission lines is recognized as one of the most important limiting factors for renewable energy development. Thus, we analyze the Mexican NTN and its status in 2018, together with the development plans envisioned by the Mexican Ministry of Energy by 2024. However, the vision changed significantly during the current administration, and the weaknesses observed in the 2018 NTN are unlikely to be addressed in the near future, except for the high-voltage interconnection between the BC and the SIN grid networks, thanks to a solar energy megaproject currently being developed in Sonora.

Another crucial limitation of wind energy generation is the vulnerability and risk to extreme events. Because tropical storms are common in most of Mexico, we analyze the maps of vulnerability and risk index to tropical storms. Other vulnerability and risk index maps for other extreme events, such as snow storms, would be important at other latitudes and higher altitudes. Novel technology concepts are currently being proposed, built and tested to mitigate against damage by extreme events and low energy generation.

Improving micro-mesoscale models, providing in situ data for weather monitoring, and integrating models and in situ data with remotely sensed information, are discussed in long-term perspectives. Machine Learning methods combined with mesoscale models may help improve model performance and reduce computational costs. Decadal scale studies assessing climate change effects on wind speeds, wind power density atlases, and vulnerability and risk indexes are required. Furthermore, better generation scenarios would lead to better planning. Combining these scenarios with growth roadmaps would be critical for cost−benefit analyses, for more accurate estimates of carbon emission reductions, and potential environmental impacts, especially as turbines grow and decommissioning and material recycling practices improve. Finally, the need for a highly skilled workforce cannot be understated, with the industry growing faster than the number of specialized staff.

Author Contributions: conceptualization, V.M. and L.S.G.-H.; formal analysis, V.M., M.S.G. and A.N.H.; resources, A.P. and V.M.; data curation, M.S.G. and V.M.; writing–original draft preparation, V.M., A.P., A.N.H., D.A.P.-R., L.S.G.-H. and M.S.G.; writing—review and editing, V.M., A.P., A.N.H., D.A.P.-R., L.S.G.-H. and M.S.G. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was partly funded by the Danish Ministry of Foreign Affairs and administered by the DANIDA Fellowship Center, grant code 17-M01-DTU. See http://drp.dfcentre.com/project/multi-scale-and-model-chain-evaluation-wind-atlases (accessed on 16 March 2023).

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: All the data reported in this manuscript is publicly available from the corresponding repositories.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. IRENA. *Renewable Power Generation Costs in 2019*; Technical Report; International Renewable Energy Agency (IRENA): Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2020.
2. Liu, C.; Xin, L.; Li, J.; Sun, H. The Impact of Renewable Energy Technology Innovation on Industrial Green Transformation and Upgrading: Beggar Thy Neighbor or Benefiting Thy Neighbor. *Sustainability* **2022**, *14*, 11198. [CrossRef]
3. de Miguel Ramos, C.; Laurenti, R. Synergies and Trade-offs among Sustainable Development Goals: The Case of Spain. *Sustainability* **2020**, *12*, 10506. [CrossRef]
4. Li, C.; Shi, H.; Zeng, L.; Dong, X. How Strategic Interaction of Innovation Policies between China's Regional Governments Affects Wind Energy Innovation. *Sustainability* **2022**, *14*, 2543. [CrossRef]
5. United Nations Department of Economic and Social Affairs (DESA). *The Sustainable Development Goals Report 2019*, 2019 ed.; United Nations Department of Economic and Social Affairs (DESA): New York, NY, USA, 2019.
6. IEA; IRENA; UNSD; World Bank; WHO. *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report*; Technical Report; IEA:Washington, DC, USA; IRENA: Washington, DC, USA; UNSD: Washington, DC, USA; World Bank: Washington, DC, USA; WHO: Washington, DC, USA; World Bank: Washington, DC, USA, 2020.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

7. United Nations. *PARIS AGREEMENT*; Technical Report; United Nations: Washington, DC, USA; World Bank: Washington, DC, USA, 2015.
8. IPCC. *Climate Change 2022—Mitigation of Climate Change*; Working group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC: Geneva, Switzerland, 2022.
9. Ribeiro, P.J.G.; Mendes, J.F.G. Towards Zero CO2 Emissions from Public Transport: The Pathway to the Decarbonization of the Portuguese Urban Bus Fleet. *Sustainability* **2022**, *14*, 9111. [CrossRef]
10. NREL. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation: Update. Available online: https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/80580.pdf (accessed on 20 October 2022).
11. Avila, S.; Deniau, Y.; Sorman, A.H.; McCarthy, J. (Counter)mapping renewables: Space, justice, and politics of wind and solar power in Mexico. *Environ. Plan. E Nat. Space* **2021**, *5*, 1056–1085. [CrossRef]
12. Fthenakis, V.; Kim, H.C. Land use and electricity generation: A life-cycle analysis. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2009**, *13*, 1465–1474. [CrossRef]
13. Tröndle, T. Supply-side options to reduce land requirements of fully renewable electricity in Europe. *PLoS ONE* **2020**, *15*, e0236958. [CrossRef]
14. Denholm, P.; Margolis, R.M. Land-use requirements and the per-capita solar footprint for photovoltaic generation in the United States. *Energy Policy* **2008**, *36*, 3531–3543. [CrossRef]
15. Maleki, A.; Pourfayaz, F.; Ahmadi, M.H. Design of a cost-effective wind/photovoltaic/hydrogen energy system for supplying a desalination unit by a heuristic approach. *Sol. Energy* **2016**, *139*, 666–675. [CrossRef]
16. Rajewski, D.A.; Takle, E.S.; Prueger, J.H.; Doorenbos, R.K. Toward understanding the physical link between turbines and microclimate impacts from in situ measurements in a large wind farm. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2016**, *121*, 13392–13414. [CrossRef]
17. Mills, S. Wind energy and rural community sustainability. *Handbook of Sustainability and Social Science Research*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018; pp. 215–225.
18. Li, Y.; Kalnay, E.; Motesharrei, S.; Rivas, J.; Kucharski, F.; Kirk-Davidoff, D.; Bach, E.; Zeng, N. Climate model shows large-scale wind and solar farms in the Sahara increase rain and vegetation. *Science* **2018**, *361*, 1019–1022. [CrossRef]
19. Featherstone, R.C. *How Green Can Steel Go—And What Does It Mean for Coal and Iron Ore?* Wood Mackenzie: Edinburgh, UK, 2020.
20. Kampman, B.; Blommerde, J.; Afman, M. *The Potential of Energy Citizens in the European Union; CE Delft: Delft, The Netherlands*, 2016.
21. Horstink, L.; Wittmayer, J.M.; Ng, K.; Luz, G.P.; Marín-González, E.; Gährs, S.; Campos, I.; Holstenkamp, L.; Oxenaar, S.; Brown, D. Collective Renewable Energy Prosumers and the Promises of the Energy Union: Taking Stock. *Energies* **2020**, *13*, 421. [CrossRef]
22. Wittmayer, J.M.; Avelino, F.; Pel, B.; Campos, I. Contributing to sustainable and just energy systems? The mainstreaming of renewable energy prosumerism within and across institutional logics. *Energy Policy* **2020**, *149*, 112053. [CrossRef]
23. Magar, V.; Gross, M.; González-García, L. Offshore wind energy resource assessment under techno-economic and social-ecological constraints. *Ocean. Coast. Manag.* **2018**, *152*, 77–87. [CrossRef]
24. Gross, M.S.; Magar, V. Offshore wind energy potential estimation using UPSCALE climate data. *Energy Sci. Eng.* **2015**, *3*, 342–359. [CrossRef]
25. Roberts, J.O.; Mosey, G. *Economic and Technical Feasibility Study of Utility-Scale Wind Generation for the New York Buffalo River and South Buffalo Brownfield Opportunity Areas*; Technical Report; NREL: Golden, CO, USA, 2014. [CrossRef]
26. REN21. A Comprehensive Annual Overview of the State of Renewable Energy. 2018. Available online: https://www.ren21.net/gsr-2018/ (accessed on 10 April 2022).
27. REN21. Renewables 2021 Global Status Report. 2021. Available online: https://www.ren21.net/gsr-2021/ (accessed on 10 April 2022).
28. REN21. Renewables 2022 Global Status Report. 2022. Available online: https://www.ren21.net/gsr-2022/ (accessed on 1 March 2023).
29. REN21. Renewables 2011 Global Status Report. 2011. Available online: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2011_Full-Report_English.pdf (accessed on 1 March 2023).
30. IEA. Wind Power Generation in the Net Zero Scenario, 2010–2030 (Last Updated on 03/11/2022). 2022. Available online: https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/wind-power-generation-in-the-net-zero-scenario-2010-2030-2 (accessed on 4 March 2023).
31. IEA. Mexico. 2022. Available online: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/electricity-information (accessed on 4 March 2023).
32. Walsh, C.; Pineda, I. (Eds.) *Wind Energy in Europe in 2018—Trends and Statistics*; WindEurope asbl/vzw: Bruxelles, Belgium, 2019.
33. WindEurope. Wind energy in Europe 2020 Statistics and the outlook for 2021–2025. 2021. Available online: https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2020-statistics-and-the-outlook-for-2021-2025/# (accessed on 10 April 2022).
34. Durakovic, A. MingYang Launches 16 MW Offshore Wind Turbine, 2021. Available online: https://www.offshorewind.biz/2021/08/20/mingyang-launches-16-mw-offshore-wind-turbine/ (accessed on 10 April 2022).
35. General Electric. Haliade-X Offshore Wind Turbine. 2021. Available online: https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine (accessed on 10 April 2022).
36. SENER. PRODESEN 2018–2032. 2018. Available online: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/331770/PRODESEN-2018-2032-definitiva.pdf (accessed on 30 January 2021).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

37. CENACE. PRODESEN Programa de Desarrollo del Sistema eléctrico Nacional 2021–2035. 2021. Available online: https://base.energia.gob.mx/dgaic/DA/P/SubsecretariaElectricidad/ConjuntosProyectosInversion/SENER_07_ProgramaDesarrolloSistemaElectricoNacional2021-2035(PRODESEN).pdf (accessed on 10 April 2022).
38. Energy and Commerce. Potencial de la Energía eóLica en México 2021. 2021. Available online: https://energyandcommerce.com.mx/potencial-de-la-energia-eolica-en-mexico-2021/ (accessed on 10 April 2022).
39. Actinver. Entorno Macroeconómico. Available online: https://www.actinveranalisis.com/entorno-macro (accessed on 7 February 2021).
40. INEGI. SISTEMA DE INFORMACIÓN ECONÓMICA. 2022. Available online: https://inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&t=10000215#D10000215 (accessed on 12 May 2022).
41. IEA. The Road to Net-Zero. 2021. Available online: https://www.climatepartner.com/en/the-road-to-net-zero (accessed on 23 October 2021).
42. IRENA. *Renewable Power Generation Costs in 2020*; Technical Report; International Renewable Energy Agency (IRENA): Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2021.
43. McLean, I.; Robertson, A. *North Uist Partnership—Community Renewable Energy Study*; North Uist Partnership: Balivanich, UK, 2009.
44. Uist Wind. North Uist Partnership—Community Renewable Energy Study. 2021. Available online: http://www.isleofnorthuist.com/uist-wind.html (accessed on 7 February 2021).
45. García, R. Pobreza Energética, Tecnología y Calidad de vida en México. *Efic. EnergéTica* **2020**, *7*, 21–25.
46. Diario Oficial de la Federación. ACUERDO por el que se Regulan Artes, Sistemas, méTodos, téCnicas y Horarios para la Realización de Actividades de pesca con Embarcaciones Menores y Mayores en Zonas Marinas Mexicanas en el Norte del Golfo de California y se Establecen Sitios de Desembarque, así Como el uso de Sistemas de Monitoreo para Tales Embarcaciones. 2020. Available online: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5601153&fecha=24/09/2020#gsc.tab=0 (accessed on 7 February 2021).
47. Troen, I.; Lundtang Petersen, E. *European Wind Atlas*; Risø National Laboratory: Roskilde, Denmark, 1989.
48. Dörenkämper, M.; Olsen, B.T.; Witha, B.; Hahmann, A.N.; Davis, N.N.; Barcons, J.; Ezber, Y.; García-Bustamante, E.; González-Rouco, J.F.; Navarro, J.; et al. The Making of the New European Wind Atlas—Part 2: Production and evaluation. *Geosci. Model Dev.* **2020**, *13*, 5079–5102. [CrossRef]
49. Peña, A.; Hasager, C.; Badger, M.; Barthelmie, R.; Bingöl, F.; Cariou, J.P.; Emeis, S.; Frandsen, S.; Harris, M.; Karagali, I.; et al. *Remote Sensing for Wind Energy*; Number 0084(EN) in DTU Wind Energy E; DTU Wind Energy: Kgs. Lyngby, Denmark, 2015.
50. Olsen, B.; Hahmann, A.; Floors, R.; Cavar, D.; Peña, A.; Villanueva, H.; Davis, N.; Hansen, J. *Mesoscale and Microscale Downscaling for the Wind Atlas of Mexico (WAM) Project*; Technical Report E-0223; DTU: Kgs. Lyngby, Denmark, 2021.
51. SENER. PRODESEN 2019–2033. 2019. Available online: https://base.energia.gob.mx/dgaic/DA/P/SubsecretariaElectricidad/ConjuntosProyectosInversion/SENER_07_ProgramaDesarrolloSistemaElectricoNacionalPRODESEN-2019-2033.pdf (accessed on 30 January 2021).
52. Gross, M.S.; Magar, V. Offshore Wind Energy Climate Projection Using UPSCALE Climate Data under the RCP8.5 Emission Scenario. *PLoS ONE* **2016**, *11*, e0165423. [CrossRef]
53. Crippa, M.; Guizzardi, D.; Muntean, M.; Schaaf, E.; Solazzo, E.; Monforti-Ferrario, F.; Olivier, J.; Vignati, E. *Fossil CO_2 Emissions of All World Countries—2020 Report*; Publications Office: Brussels, Belgium, 2020. [CrossRef]
54. IRENA. Renewable Energy Prospects: Mexico, REmap 2030 Analysis. 2015. Available online: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_REmap_Mexico_report_2015.pdf (accessed on 31 January 2021).
55. CENACE. Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista, PRODESEN 2018–2032. 2018. Available online: https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/ProgramaRNT_RDG.aspx (accessed on 1 February 2021).
56. Huesca-Pérez, M.E.; Sheinbaum-Pardo, C.; Köppel, J. Social implications of siting wind energy in a disadvantaged region—The case of the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2016**, *58*, 952–965. [CrossRef]
57. *Standard IEC 61400-1:2019*; IEC. Wind Energy Generation Systems—Part 1: Design Requirements. REDLINE Version. International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland, 2019.
58. Zhang, M.H. *Wind Resource Assessment and Micro-Siting: Science and Engineering*; John Wiley & Sons: Singapore; Singapore Pte. Ltd.: Hoboken, NJ, USA, 2015. [CrossRef]
59. Alfredsson, P.H.; Segalini, A. Introduction Wind farms in complex terrains: An introduction. *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* **2017**, *375*, 20160096. [CrossRef]
60. Hernández-Arriaga, I. Desarrollo de Tecnología y de Infraestructura eólica en México. 2019. Available online: https://www.elsoldemexico.com.mx/analisis/desarrollo-de-tecnologia-y-de-infraestructura-eolica-en-mexico-4301182.html (accessed on 17 March 2023).
61. Baeza-Ramírez, C.; Jiménez-Espinosa, M. *Actualización de los íNdices de Peligro y Riesgo por Presencia de Ciclones Tropicales a Nivel Municipal (Para el Periodo 1949–2015)*; Technical Report; Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos, Centro Nacional De Prevención de Desastres (CENAPRED), Sistema Nacional de Protección Civil: Mexico City, Mexico, 2016.
62. NHC. National Hurricane Centre Data Archive. 2021. Available online: https://www.nhc.noaa.gov/data/ (accessed on 4 February 2021).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

63. Longley, P.A.; Goodchild, M.F.; Maguire, D.J.; Rhind, D.W. *Geographical Information Science and Systems*; John Wiley & Sons: Singapore; Singapore Pte. Ltd.: Hoboken, NJ, USA, 2015; p. 522.
64. Smith, M.J.; Goodchild, M.F.; Longley, P.A. *Geospatial Analysis—A Comprehensive Guide to Principles Techniques and Software Tools*, 6th ed.; The Winchelsea Press: Boulder, CO, USA; Matador: Boulder, CO, USA, 2018; p. 516.
65. Jiménez-Espinosa, M.; Baeza-Ramírez, C.; Matías-Ramírez, L.G.; Eslava-Morales, H. *Mapas de Índices de Riesgo a Escala Municipal por Fenómenos Hidrometeorológicos*; Technical Report; Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos, Centro Nacional De Prevención de Desastres (CENAPRED), Sistema Nacional de Protección Civil: Mexico City, Mexico, 2012.
66. Gross, M.S.; Magar, V.; Peña, A. The Effect of Averaging, Sampling, and Time Series Length on Wind Power Density Estimations. *Sustainability* **2020**, *12*, 3431. . [CrossRef]
67. Floors, R.; Badger, M.; Troen, I.; Grogan, K.; Permien, F.H. Satellite-based estimation of roughness lengths and displacement heights for wind resource modelling. *Wind. Energy Sci.* **2021**, *6*, 1379–1400. [CrossRef]
68. Hahmann, A.N.; Sīle, T.; Witha, B.; Davis, N.N.; Dörenkämper, M.; Ezber, Y.; García-Bustamante, E.; González-Rouco, J.F.; Navarro, J.; Olsen, B.T.; et al. The making of the New European Wind Atlas—Part 1: Model sensitivity. *Geosci. Model Dev.* **2020**, *13*, 5053–5078. [CrossRef]
69. Andersen, P.D.; Bonou, A.; Beauson, J.; Brøndsted, P. Recycling of wind turbines. In *DTU International Energy Report 2014: Wind Energy—Drivers and Barriers for Higher Shares of Wind in the Global Power Generation Mix*; Hvidtfeldt, L., Sønderberg Petersen, L., Eds.; Technical University of Denmark (DTU): Kgs. Lyngby, Denmark, 2014; Chapter 13, pp. 91–97.
70. Vestas. Recyclability. Vestas Abides by a Strict Definition of Recyclability. Available online: http://www.vestas.com/en/about/sustainability#!recyclability (accessed on 7 February 2021).
71. OECD/IEA. Technology Roadmap Wind Energy 2013 Edition. Available online: https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/wind-recherche-innovation-energies-renouvelables-feuille-routeeolien-aie.pdf (accessed on 7 February 2021).
72. Albers, H.; Greiner, S.; Seifert, H.; Kühne, U. Recycling of wind turbine rotor blades. Fact or fiction? Recycling von Rotorblaettern aus Windenergieanlagen. Fakt oder Fiktion? *DEWI-Mag.* **2009**, *34*, 32–41.
73. Ortegon, K.; Nies, L.F.; Sutherland, J.W. Preparing for end of service life of wind turbines. *J. Clean. Prod.* **2013**, *39*, 191–199. [CrossRef]
74. Hassing, H.; Varming, S. Life Cycle Assessment for Wind Turbines. In Proceedings of the European Wind Energy Association Conference and Exhibition, Copenhagen, Denmark, 2–6 July 2001.
75. Martínez, E.; Jiménez, E.; Blanco, J.; Sanz, F. LCA sensitivity analysis of a multi-megawatt wind turbine. *Appl. Energy* **2010**, *87*, 2293–2303. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PAKET INFORMASI TERSELEKSI

ENERGI TERBARUKAN

Sumber Artikel Jurnal:

Media Massa Nasional Online





PERPUSTAKAAN NASIONAL | TAHUN 2023

Alarm Krisis Iklim Makin Kencang, Transisi Energi Mendesak Dilakukan Halaman all - Kompas.com

Hilda B Alexander

JAKARTA, KOMPAS.com - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), badan PBB yang bertanggung jawab untuk sains iklim, sekali lagi menggemakan alarm peringatan tentang dampak iklim yang semakin cepat dan keras.

Dalam Sintesa Laporan Penilaian keenam (AR6), negara-negara berkembang diprediksi akan merasakan dampaknya terlebih dahulu, meskipun akhirnya memengaruhi semua bentuk kehidupan di Bumi.

Laporan tersebut menyarankan pengurangan emisi yang cepat dan signifikan pada sumbernya, karena dengan infrastruktur bahan bakar fosil yang sudah ada saat ini, akan membuat batas kenaikan temperatur 1,5°C terlampaui.

Namun, Deputi Eksternal Walhi Ode Rakhman menilai, keputusan yang dibuat saat ini sangat bergantung pada solusi-solusi palsu, berbahaya, dan berisiko.

"Alih-alih transformasi mendalam dan sistemik yang benar-benar dibutuhkan," ujar Ode, dikutip dari laman Walhi, Kamis (23/3/2023).

Baca juga: Terancam Krisis Iklim, Indonesia Harus Percepat Transisi Energi

Meskipun AR6 dengan jelas menyatakan bahwa hanya melalui pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) yang ekstensif, cepat dan berkelanjutan, pemanasan global akan teratasi, tapi terdapat opsi-opsi lain yang bisa diambil.

Terutama dari teknologi penghapusan karbondioksida (*carbon diaoxide removal*), hydrogen, amonia, biofuel dan gas fosil yang dimasukkan dalam bagian dari “berbagai peluang untuk meningkatkan aksi iklim”.

Menurut Ode, pendekatan solusi palsu dalam upaya mengatasi perubahan iklim yang ditampilkan secara sentral dalam Laporan IPCC ini tentu mengkhawatirkan.

Hal ini karena AR6 akan menjadi pembenaran bagi banyak negara untuk menghindari upaya yang lebih sistematis dan ambisius dalam menekan emisi GRK, dan justru semakin jauh mengadopsi solusi-solusi palsu.

Contohnya yang dilakukan Pemerintah Indonesia, yang dalam berbagai kesempatan menyebut peta jalanan transisi energi akan menggunakan produk-produk hilirisasi batu bara, hidrogen, fosil gas, biofuel dan berbagai macam pendekatan *co-firing* PLTU.

Ode menilai pilihan ini akan semakin menjauhkan Indonesia dari upaya untuk menekan emisi GRK, dan justru bisa menghasilkan kerusakan lingkungan yang lebih parah, serta melakukan berbagai pelanggaran HAM dalam praktiknya.

"Pilihan jalan ini pada akhirnya akan lebih mengakomodasi kepentingan oligarki industri fosil dan kelompok pencemar besar yang ingin terus mengekstraksi dan membakar setiap gram batu bara, minyak dan gas terakhir," cetus Ode.

Untuk itu, Ode mengatakan, Indonesia membutuhkan transisi yang mendesak, adil dan merata menuju energi terbarukan untuk semua.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

...donesia harus mengindahkan pesan mendesak dalam laporan IPCC, tanpa jatuh ke dalam perangkap asumsi bahwa proyek-proyek dan teknologi-teknologi solusi palsu akan membawa perbaikan dari ancaman krisis iklim.

"Proyek-proyek semacam ini justru akan menyebabkan lebih banyak kerusakan lingkungan, perampasan tanah dan pelanggaran hak, terutama pada kelompok rentan, dan justru memperburuk krisis iklim, alih-alih menyelesaikannya," tuntasnya.

*Dapatkan update **berita pilihan** dan **breaking news** setiap hari dari Kompas.com. Mari bergabung di Grup Telegram "Kompas.com News Update", caranya klik link https://t.me/kompascomupdate, kemudian join. Anda harus install aplikasi Telegram terlebih dulu di ponsel.*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Apa Saja Sumber Energi Terbarukan yang Ada di Indonesia? Halaman all - Kompas.com

Lulu Lukyani

KOMPAS.com - Sejak tahun 1950, permintaan energi global telah meningkat tiga kali lipat dengan pemakaian yang diperkirakan telah mencapai 10.000 juta ton per tahun.

Sebagian besar energi yang saat ini digunakan berasa dari bahan-bahan yang tidak terbarukan, seperti batubara, gas, minyak bumi, dan energi nuklir.

Jika terus-menerus digunakan, sumber-sumber energi yang tidak terbarukan ini dapat habis. Dengan demikian, menggunakan energi terbarukan sebagai alternatifnya adalah langkah yang penting.

Sumber energi terbarukan di Indonesia

Dilansir dari Pusat Studi Energi, Universitas Gadjah Mada (UGM), energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber-sumber alamiah, seperti sinar matahari, angin, hujan, geothermal dan biomassa.

Beberapa sumber energi terbarukan *(Renewable Energy Resources)* yang potensial dan berlimpah di Indonesia adalah angin, geothermal, hydropower, surya, biomassa (biogas, biofuel padat dan biofuel cair).

Baca juga: YLKI: Subsidi Energi Perlu Memprioritaskan Energi Baru dan Terbarukan

1. Angin

Angin adalah sumber energi terbarukan yang paling berlimpah di dunia.

Menurut Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009), potensi energi angin sebagai energi terbarukan di Indonesia mencapai 9290 MW.

2. Geothermal

Geothermal atau panas bumi adalah energi terbarukan yang diperoleh dari panas bumi.

Saat ini, di dunia, termasuk Indonesia, energi geothermal termasuk energi yang menjanjikan dari seluruh RES yang ada.

Data Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009) menunjukkan bahwa potensi geothermal Indonesia mencapai 27.000 MW.

Baca juga: DMO Batu Bara Disebut Tak Seharusnya Masuk dalam RUU Energi Baru Terbarukan

Mengutip laman Himpunan Mahasiswa Teknik Perminyakan, Institut Teknologi Bandung (ITB), energi geothermal merupakan salah satu energi alternatif yang potensial dikembangkan di Indonesia karena faktor letak geografis Indonesia yang berada pada ring of fire.

Indonesia diimpit oleh tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng eurasia, lempeng indo-asutralia, dan lempeng pasifik.

Aktifitas tektonik ini mengakibatkan terbentuknya zona subduksi dibawah Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, dan Sulawesi sehingga menciptakan sumber panas berupa magma yang merupakan cikal bakal gunung berapi.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Air

Sumber energi terbarukan air antara lain berupa aliran sungai, air terjun dan pasang surut air laut.

Air merupakan RES yang sangat melimpah di Indonesia. Menurut Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009), potensi Hydropower Indonesia mencapai 4,99 x 1018 J/tahun.

Baca juga: Isu Transisi Energi Dibahas dalam Presidensi G20, Ini Hal yang Perlu Diprioritaskan Pemerintah

4. Energi surya

Energi surya adalah energi terbarukan yang dihasilkan dari matahari dalam bentuk radiasi matahari.

Energi terbarukan seperti energi surya cocok dikembangkan di wilayah Nusa Tenggara karena intensitas matahari terbaik di Indonesia berada di Pulau Sumba dan Timor, sebagimana dikutip dari Kompas.com (27/09/2020).

5. Biomassa

Energi alternatif dari biomassa adalah salah satu bentuk energi yang populer dalam penggunaan energi terbarukan.

Bioenergi pada dasarnya adalah energi yang dihasilkan dari biomassa.

Sumber energi yang termasuk bioenergi antara lain biogas, biofuel cair dan biofuel padat.

Baca juga: Bagaimana Proses Perubahan Energi yang Terjadi pada PLTA?

Energi biomassa lebih potensial dikembangkan di wilayah pedesaan. Hal ini karena kayu, daun, sekam padi, dan jerami (sumber biomassa) merupakan bahan bakar utama untuk pemanasan dan memasak di wilayah pedesaan.

Catatan dari International Energy Agency menunjukkan, energi biomassa menyediakan 30 persen dari suplai energi utama di beberapa negara berkembang.

*Dapatkan update **berita pilihan** dan **breaking news** setiap hari dari Kompas.com. Mari bergabung di Grup Telegram "Kompas.com News Update", caranya klik link https://t.me/kompascomupdate, kemudian join. Anda harus install aplikasi Telegram terlebih dulu di ponsel.*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

BRIN Kaji Kesiapan Energi Terbarukan dan Nuklir

BRIN Kaji Kesiapan Energi Terbarukan dan Nuklir

BRIN Kaji Kesiapan Energi Terbarukan dan Nuklir

Diterbitkan pada 24 Oktober 2022



Jakarta-Humas BRIN. Kedeputian Bidang Kebijakan Pembangunan (DKP) BRIN kembali mengadakan Bincang Pembangunan. Acara yang dihelat di Auditorium BRIN Gatot Subroto Senin (24/10) ini mengusung tema "Kesiapan Energi Terbarukan dan Nuklir dalam Mendukung Pencapaian *Net-Zero Emission*". Deputi Bidang Kebijakan Pembangunan BRIN, Dr. Mego Pinandito menyampaikan bahwa Bincang Pembangunan kali ini bertujuan untuk melakukan diskusi dengan pakar yang berkaitan kesiapan dan pemanfaatan potensi energi terbarukan dan nuklir dalam mendukung pembangunan dan memajukan bangsa. "Diskusi ini juga mencari langkah dan strategi yang tepat dalam memanfaatkan energi terbarukan dan nuklir untuk mendukung pencapaian *net-zero emission* yang dapat menunjang dan berperan dalam pembangunan nasional," tegasnya.

Secara garis besar, DKP menginisiasi Seri Bincang Pembangunan untuk mendapatkan pengetahuan dan wawasan baru dalam konteks kebijakan strategis terkait isu-isu saat ini. Tema yang diangkat kali ini didasarkan pada upaya atau komitmen Indonesia untuk menangani isu perubahan iklim. Indonesia telah meratifikasi Paris Agreement melalui UU No. 16 Tahun 2016, yang artinya Indonesia ikut serta untuk menahan kenaikan suhu global sebesar 2^{0}C dan berupaya lebih jauh untuk membatasinya hingga 1,5^{0}C di atas era pra-industri. Dalam dokumen Enhanced Nationally Determined Contribution (ENDC), Indonesia menargetkan penurunan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 31,89%, dengan upaya sendiri hingga 43,20% dengan bantuan internasional pada tahun 2030. Selain itu, pada Conference of the Parties ke-26 (COP-26), Indonesia menargetkan pencapaian Net-Zero Emission (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat.

...or energi merupakan salah satu sektor penyumbang emisi GRK terbesar di Indonesia. Kontribu...

sebut disebabkan oleh tingginya penggunaan energi fosil terutama pada aktivitas produksi listr dan panas, transportasi, serta industri manufaktur dan kegiatan konstruksi. Transisi energi dengan beralih dari penggunaan energi fosil menuju energi baru terbarukan dapat menjadi solusi untuk mengurangi tingkat emisi tersebut.

Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan berupa panas bumi, surya, angin, air, bioenergi, arus laut, dan nuklir yang pada tahun 2021 hanya berkontribusi pada 12,16% bauran energi nasional. Untuk mencapai target-target iklim di atas, maka perlu upaya percepatan transisi energi. Mego juga menyampaikan faktor penentu keberhasilan transisi energi untuk mendukung pencapaian NZE, diantaranya: Kebijakan dan Regulasi, Teknologi, Investasi dan Insentif, serta Kolaborasi.

Melalui Bincang Pembangunan Seri VIII ini, Mego berharap para peserta mendapatkan *insight* dari para pakar melalui diskusi, pertukaran informasi dan gagasan terkait kesiapan energi terbarukan dan nuklir dari perspektif kebijakan dan regulasi, riset-inovasi teknologi, dan tren di negara-negara ASEAN. “Kami mengharapkan perolehan masukan dan pemikiran untuk penyusunan rekomendasi kebijakan pada sektor energi nasional, khususnya terkait pengembangan energi terbarukan dan nuklir dalam mendukung pencapaian NZE,” tutupnya.

Acara kali ini dibagi dalam dua sesi, sesi pertama membahas Kebijakan, Regulasi, dan Proyeksi Transisi Energi lalu pada sesi kedua berfokus pada Kebijakan, Regulasi, dan Proyeksi Transisi Energi. Hadir perwakilan dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Dewan Energi Nasional, ASEAN Centre of Energy, Dewan Pakar Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia, Perekayasa dan Pengembang Nuklir BRIN. Diskusi ini dapat disaksikan pada kanal YouTube BRIN Indonesia. (sgd)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Butuh Upaya Out of The Box Capai Target Bauran EBT

Liputan6.com

Sebelumnya, Pemerintah gencar mendorong pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada berbagai sektor.

Target capaian nol emisi karbon pada tahun 2060 serta tingkat bauran energi terbarukan sebesar 23 persen di tahun 2025 dapat diraih dengan pengembangan energi surya secara masif, khususnya pada sektor industri komersial. Sektor industri dipercaya menjadi sektor potensial untuk percepatan penetrasi energi baru terbarukan (EBT).

Sejalan dengan upaya pemerintah untuk meningkatkan angka bauran energi terbarukan, SUNterra giat bekerja sama dengan berbagai pihak untuk melakukan instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) guna mengurangi jejak karbon dari aktivitas operasional setiap perusahaan.

Berfokus pada sektor residensial, sosial, dan komersial skala menengah, SUNterra berhasil mencatat proyek PLTS lebih dari 2,5 MWp semenjak didirikan pada tahun 2020.

PT Modern Plastic Industry (MPI) merupakan salah satu portofolio komersial yang membanggakan bagi SUNterra. Perusahaan yang bergerak sebagai produsen kemasan plastik ini mulai menjalankan praktik bisnis yang berkelanjutan dengan instalasi PLTS Atap berkapasitas 151,25 kWp.

Instalasi sistem PLTS pada PT MPI menggunakan sistem On Grid yang masih terhubung dengan jaringan PLN dengan kapasitas per panel sebesar 550 Wp.

“Tidak hanya operasional pabrik saja, instalasi PLTS dengan kapasitas 151,25 kWp ini juga menyumbang pasokan energi pada kegiatan perkantoran yang berada pada lokasi yang sama. Pada awal tahun 2023, masih bersama dengan SUNterra, kami juga berencana menambah kapasitas PLTS sebesar 201 kWp, sehingga total PLTS di green energy factory kami menjadi 352 kWp,"
kata Perwakilan PT MPI Michael Jusanti, Rabu (11/1/2023).

SUNterra menggunakan panel surya dari Jinko Solar sebanyak 275 unit, yang dilengkapi dengan MBB HC Technology, membuat setiap panel yang terpasang di PT MPI ini memiliki durabilitas dan performa sistem PLTS yang tangguh.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

MONGABAY
SITUS BERITA LINGKUNGAN

Energi

Catatan Akhir Tahun: Melihat Capaian Energi Terbarukan 2022, Bagaimana Peluang Tahun Depan?

oleh Della Syahni [Banten] di 29 December 2022

- *Sampai penghujung tahun ini terlihat pangsa energi terbarukan (https://iesr.or.id/pustaka/indonesia-energy-transition-outlook-ieto-2023) dalam bauran energi primer Indonesia turun dari 11,5% pada 2021 jadi 10,4% pada 2022. Kondisi ini karena pangsa batubara meningkat 43%.*
- *Kenaikan pangsa batubara ini bisa membuat target 23% pengembangan energi terbarukan pada 2025 sulit diraih kalau pemerintah tak segera memperkuat komitmen politik terhadap pengembangan energi terbarukan.*
- *Fabby Tumiwa, Direktur Eksekutif IESR mengatakan, meski ada komitmen mengakselerasi pemanfaatan energi terbarukan, masih ada perbedaan persepsi dan prioritas berbagai pembuat kebijakan tentang bagaimana proses transisi dilakukan.*
- *Indonesia Energy Transition Outlook 2023 (https://iesr.or.id/pustaka/indonesia-energy-transition-outlook-ieto-2023) memperlihatkan kalau kesadaran masyarakat tinggi terhadap transisi energi. Namun, beberapa hal harus dibenahi seperti pembatasan kapasitas pada pemasangan PLTS atap 15%, yang menurunkan minat masyarakat memanfaatkan teknologi ini. Kondisi ini, berkontribusi pada bauran energi terbarukan dalam skala nasional.*

Tahun 2022 segera berganti. Bagaimana kondisi transisi energi di Indonesia? Dari pengukuran kesiapan bertransisi (*transition readiness framework*) memperlihatkan, kesiapan Indonesia bertransisi energi masih rendah meskipun beberapa kebijakan, dan rencana pengembangan energi

erbarukan sudah terbit. Itu antara lain tercantum dalam laporan *Indonesia Energy Transition Outlook (IETO) 2023 y (https://iesr.or.id/pustaka /indonesia-energy-transition-outlook-ieto-2023)*ang dirilis Institute for Essential Services Reform (IESR) atas dukungan Bloomberg Philanthropies ini.

Beberapa kebijakan yang mendukung pengembangan energi terbarukan seperti, seperti *enhanced nationally determined contributions* (NDC), rencana umum pengembangan tenaga listrik (RUPTL) 2021-2030 dengan porsi 51,6 % energi terbarukan. Juga, sudah ada Perpres 112/2022 mengenai percepatan pengembangan energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik.

Laporan IETO menemukan, pangsa energi terbarukan dalam bauran energi primer Indonesia menurun dari 11,5% pada 2021 jadi 10,4% pada 2022. Kondisi ini karena pangsa batubara meningkat 43%, membuat target 23% pada 2025 akan sulit diraih kalau pemerintah tak segera memperkuat komitmen politik terhadap pengembangan energi terbarukan.

"Ada perbedaan kontras antara ambisi dan realisasi perkembangan energi terbarukan," kata Fabby Tumiwa, Direktur Eksekutif IESR saat peluncuran IETO di Jakarta, baru-baru ini.

Meski ada komitmen mengakselerasi pemanfaatan energi terbarukan, katanya, masih ada perbedaan persepsi dan prioritas berbagai pembuat kebijakan tentang bagaimana proses transisi dilakukan.

Kondisi ini, katanya, terlihat pada keputusan meniadakan *feed in tariff* pada Perpres 112/2022 dan penolakan terhadap klausula *power wheeling* (pemanfaatan bersama jaringan tenaga listrik termasuk untuk energi terbarukan) pada perumusan Rancangan Undang-undang Energi Baru dan Terbarukan (RUU-EBT). Juga, keputusan mempertahankan subsidi batubara dalam bentuk harga *domestic market obligation* (DMO).

Untuk transisi energi efektif, katanya, pemerintah harus punya kesatuan posisi dan menetapkan target.

IETO 2023 juga menyoroti pencapaian investasi energi terbarukan yang masih kurang dari target pemerintah, hanya US$1,35 miliar sampai kuartal ketiga 2022 alias hanya 35% dari target 2022 sebesar US$3,97 miliar.

Menurut IESR, iklim investasi perlu diperbaiki dengan memperbanyak dukungan finansial untuk pengembang energi terbarukan, proses pengadaan, skema tarif, dan proses perizinan lebih singkat dan jelas.

Pemerintah, katanya, juga perlu mengurangi hambatan masuk investor asing, dan meningkatkan akses ke modal dengan suku bunga yang lebih rendah.

"Selain itu, penyediaan ruang lebih luas bagi integrasi energi terbarukan dalam sistem energi Indonesia harus segera dilakukan," kata Fabby.

Hal yang dapat dilakukan untuk memberikan ruang bagi penetrasi energi terbarukan, selain dari melakukan pensiun dini PLTU, adalah mengoperasikan PLTU secara fleksibel.

Secara teknis, pengoperasian ini akan perlu perubahan dalam komponen-komponen utama PLTU dan fleksibilitas dalam perjanjian jual beli listrik serta kontrak suplai bahan bakar.

Baca juga: Transisi Energi ala Campur Batubara dan Biomassa Hadapi Kendala (https://www.mongabay.co.id/2022/09/29/transisi-energi- campur-batubara-dan-biomassa-hadapi-kendala/)



Tongkang batubara di sungai Mahakam di Samarinda, Kalimantan Timur. Foto : Kemal Jufri/Greenpeace.

Antisipasi krisis energi

Krisis energi global menunjukkan, kerentanan ketahanan energi berbasis fosil, termasuk Indonesia, masih 67% energi fosil.

Guna menghadapi ketidakpastian situasi sosial, politik, ekonomi dan lingkungan masa depan terhadap ketahanan energi nasional, katanya, pemerintah perlu cepat dan segera transisi energi berkeadilan dan berkelanjutan. Tentunya, dengan optimasi pemanfaatan sumber energi terbarukan dan gantikan energi fosil.

Hal ini jadi sorotan dalam IETO 2023 adalah dampak krisis energi terlihat pada harga batubara, gas alam, dan minyak mentah melambung 2-4 kali pada pertengahan 2022 dibandingkan pada 2019.

Buntutnya, produsen batubara domestik lebih tertarik mengekspor, menyebabkan pasokan batubara dalam negeri menipis. Untuk mengatasi masalah krisis energi jangka pendek, katanya, pemerintah Indonesia membuat berbagai keputusan seperti mempertahankan kebijakan DMO, mengucurkan subsidi energi fosil mencapai Rp650 triliun dan menyesuaikan harga BBM untuk mengurangi beban subsidi.

Menurut Fabby, kondisi negara-negara Eropa dan Inggris yang mengalami harga energi mahal adalah contoh pemanfaatan *transition fuel* seperti gas alam sebagai strategi keliru.

Ketika terjadi kekurangan gas, katanya, mereka secara temporer menaikkan energi fosil. Kondisi ini justru mengingkari upaya global dalam menekan emisi gas rumah kaca (GRK) yang menyebabkan perubahan iklim.

Untuk itu, IESR mendorong pemerintah membereskan seluruh pekerjaan rumah dalam menggenjot perkembangan energi terbarukan dan efisiensi energi dengan cepat. Yakni, dengan menyesuaikan kebijakan energi nasional dan RUEN, penghapusan subsidi batubara dan gas secara bertahap. Juga, reformasi harga dan subsidi listrik, mempercepat pengakhiran operasi PLTU

PERPUSTAKAAN NASIONAL

batubara, mengembangkan industri sel dan modul surya dalam negeri.

Kemudian, katanya, penyesuaian aturan jaringan sistem tenaga listrik (*grid code)*, dan mengintegrasikan strategi transportasi maupun dekarbonisasi industri sesuai jalur nir emisi.

""Kata kuncinya, target ambisius juga fleksibel. Pemerintah harus mengejar semua reformasi ini secara cepat dan masyarakat harus terus mendorong agar transisi benar-benar terjadi."

Sisi lain, sektor transportasi dan industri jadi krusial untuk dekarbonisasi dengan cepat.

Pada sektor transportasi, ada tren menarik pada adopsi kendaraan listrik yang meningkat. Terlihat dari jumlah kendaraan roda dua dan tiga yang naik hampir lima kali lipat dari 5.748 pada 2021 jadi 25.782 pada 2022.

Meskipun demikian, jumlah ini masih jauh dari target NDCs yang menetapkan 13 juta kendaraan roda dua dan tiga pada 2030.

"Pemerintah perlu mendorong penciptaan ekosistem transisi energi di semua sektor energi, salah satunya, menciptakan level *playing field* antara energi fosil dan alternatif teknologi rendah karbon dan energi terbarukan," kata Deon Arinaldo, Manajer Program Transformasi Energi, IESR.

Langkah awal yang perlu dikaji, katanya, bagaimana subsidi dan kompensasi energi saat ini bisa teralih untuk pemberian insentif pengembangan energi terbarukan dan adopsi teknologi rendah karbon. Juga saat bersamaan tetap membantu menjaga kesejahteraan masyarakat.

Baca juga: Kajian Ini Ungkap Energi Bersih Lebih Hemat daripada PLTU (https://www.mongabay.co.id/2019/12/02/kajian-ini-ungkap-energi-bersih-lebih-hemat-daripada-pltu/)



Kompleks PLTU I Indramayu, Jabar yang asap batubara dari operasionalnya berdampak negatif terhadap pertanian dan kesehatan warga setempat. Foto : Donny Iqbal/Mongabay Indonesia

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Sektor industri

Penggunaan energi fosil industri menyumbang sekitar 20% emisi gas rumah

...ca (GRK) sektor energi Indonesia. Peningkatan efisiensi proses dan efisiensi energi serta penggantian bahan bakar telah diterapkan oleh beberapa industri intensif energi untuk mengurangi emisinya.

Raditya Wiranegara, peneliti senior IESR juga penulis IETO 2023 mengatakan, implementasi *carbon capture, utilization and storage* (CCUS) dapat jadi strategi jangka pendek dalam mengurangi emisi proses pada industri semen, pupuk, dan baja. Upaya-upaya ini, katanya, belum dimulai. Industri, katanya, perlu pula mengembangkan teknologi rendah karbon alternatif, seperti amonia berbasis elektrolisis untuk pupuk dan proses peleburan besi (*direct reduction iron-electric arc furnace*/DRI-EAF) berbasis hidrogen.

"Saat ini, pengembangan teknologi rendah karbon sektor industri sebagian besar masih tahap awal kesepakatan studi bersama," kata Raditya.

IESR pun mendorong pemerintah mencapai bauran energi terbarukan 100% dalam bauran energi primer pada 2050 dan bauran energi terbarukan lebih 40% di sektor ketenagalistrikan pada 2030.

"Apabila pemerintah dapat memanfaatkan peluang dan dukungan itu maka daya tarik dan bauran energi terbarukan pasti akan meningkat," katanya.



Energi surya atap yang dikembangkan masyarakat. Minat masyarakat tinggi terhadap surya atap, Foto: Sapariah Saturi/ Mongabay Indonesia

Partisipasi masyarakat

IETO 2023 juga memperlihatkan kalau kesadaran masyarakat tinggi terhadap transisi energi. Namun, katanya, beberapa hal harus dibenahi seperti pembatasan kapasitas pada pemasangan PLTS atap 15%, yang menurunkan minat masyarakat memanfaatkan teknologi ini. Kondisi ini, berkontribusi pada bauran energi terbarukan dalam skala nasional.

"Berdasarkan survei publik, lebih 60% masyarakat yang kami survei setuju mempercepat pemberhentian penggunaan batubara sebagai sumber utama ...m sektor ketenagalistrikan dan mendukung pemerintah mulai

PERPUSTAKAAN NASIONAL

memperhatikan sumber-sumber lain seperti radiasi matahari, air, dan angin," kata Handriyanti D Puspitarini, peneliti senior IESR dan penulis utama IETO 2023.

Dengan dukungan publik besar itu, katanya, pemerintah harus mulai bisa membuktikan komitmen dalam menyediakan sumber listrik lebih bersih untuk seluruh masyarakat.

Menanggapi kajian ini, Harris, Direktur Panas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) benarkan pencapaian bauran energi terbarukan belum persis seperti target tahunan. Pada 2021, target 14,5% pada 2023 sesuai RUEN, baru tercapai 12,2%.

"Itu baru persentase. Jika dilihat volume megawatt-nya lebih *ga match* lagi karena ada perubahan drastis," kata Harris. Meski demikian, bauran energi terbarukan tetap naik meski sedikit.

Mengenai usulan menaikkan target lebih ambisius, kata Harris, sebaiknya Indonesia memastikan dulu target 51% dalam RUPTL saat ini bisa tercapai mengingat pengalaman sebelumnya jarang penuhi target.

"Kita sudah puya regulasi, meski belum sempurna," katanya.

Harris juga melihat prioritas yang disoroti dalam IETO 2023 agak berbeda dengan prioritas KESDM. IETO begitu optimis menggenjot PLTS, yang menurut dia perlu dipertimbangkan skenario mencapai target 1.400 gigawatt.

"Kita masih punya yang lain seperti panas bumi, hidro, dan lain-lain."

Dia usulkan, lebih banyak pembahasan mengenai energi efisiensi sebagai satu langkah dekarbonisasi yang jarang mendapat sorotan dalam kajian.

****

Artikel yang diterbitkan oleh Sapariah Saturi

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

China akan Luncurkan Skema Percontohan Perdesaan untuk Energi Terbarukan

Supianto | Jum'at, 24/03/2023 01:01 WIB



Turbin angin berdiri di pembangkit listrik dekat Yumen, provinsi Gansu, Cina 25 September 2020. REUTERS/Carlos Garcia Rawlins/File Foto

JAKARTA, Jurnas.com - China akan meluncurkan skema percontohan untuk mempromosikan pengembangan energi terbarukan di daerah pedesaan. Demikian menurut rencana aksi yang dirilis oleh Administrasi Energi Nasional (NEA) pada Kamis (23/4).

Di bawah skema tersebut, departemen pemerintah tingkat provinsi akan mengidentifikasi `daerah percontohan` perdesaan untuk pembangunan proyek energi terbarukan dan menyerahkan rencana pengembangan ke NEA untuk dievaluasi dan disetujui pada akhir Mei tahun ini.

Skema tersebut mengusulkan target bahwa energi terbarukan akan mencapai lebih dari 30 persen dari total konsumsi energi primer dan lebih dari 60 persen konsumsi energi primer kapasitas baru di negara percontohan pada tahun 2025.

Skema tersebut juga meminta otoritas lokal untuk "menderegulasi" dan meningkatkan administrasi industri energi terbarukan mereka.

Pengumuman tersebut muncul di tengah dorongan ambisius untuk meningkatkan kapasitas energi terbarukan negara. China memasang 152 gigawatt (GW) kapasitas energi terbarukan tahun lalu, mewakili 76,2 persen dari seluruh kapasitas energi baru.

Baca juga.. :

Hubungan Rusia-Tiongkok masuki Era Baru saat Xi bertemu Putin di Moskow

Presiden Putin Terbuka Bahas Proposal Perdamaian China untuk Akhiri Perang Ukraina

Presiden Xi Jinping Tiba di Rusia untuk Bertemu Vladimir Putin

China telah mengatakan pihaknya bertujuan agar energi terbarukan mencapai lebih dari 50 persen dari kapasitas pembangkit listriknya pada tahun 2025, dengan sebagian besar dipasang di daerah berpenduduk jarang, sebagian besar pedesaan seperti Mongolia Dalam dan provinsi Gansu.

Sumber: Reuters

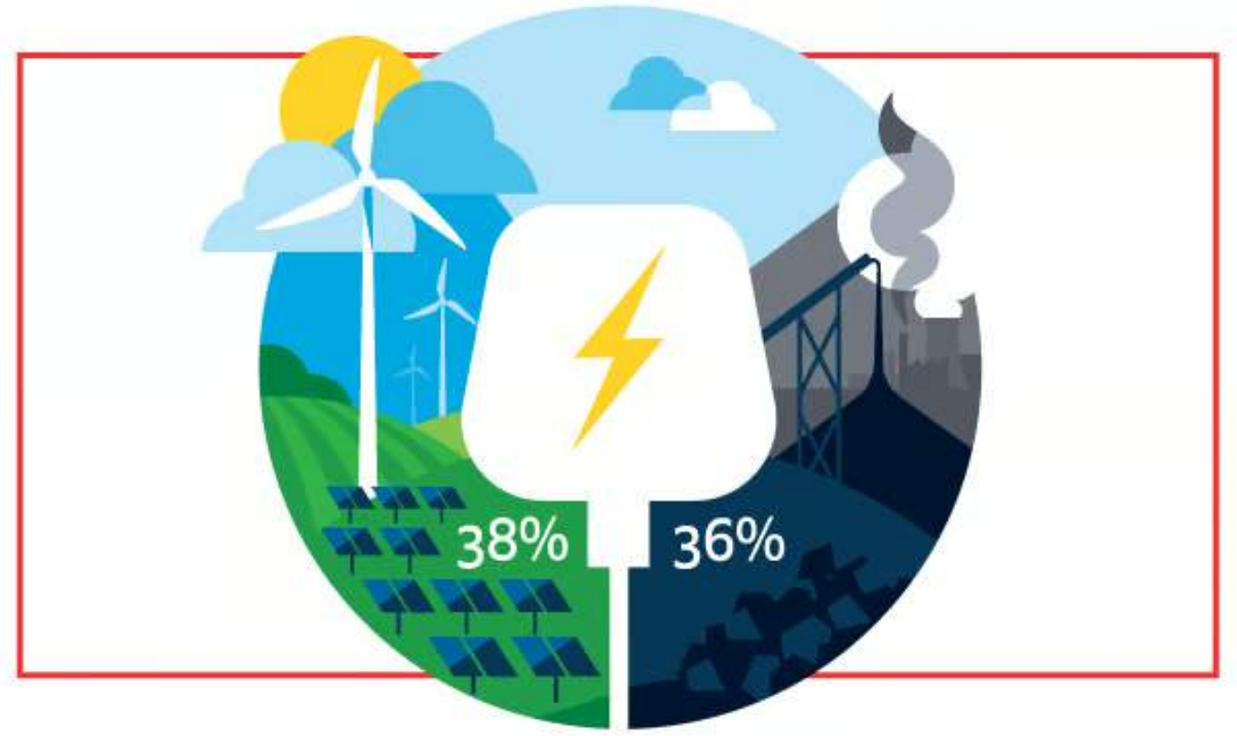
TAGS : Energi Terbarukan China Perubahan Iklim

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Data point: renewable energy use is on the rise

PUBLISHED 12 MAY, 2022 • 2 MIN READ

As the world recovers from a pandemic and economies begin to rebound, there has never been a greater demand for electricity.



Throughout 2021 clean energy sources generated 38% of the world's electricity. Combined, all clean energy sources generated more of the world's electricity than coal, which contributed 36%.

Wind and solar power growth on track to meet targets

Now, for the first time, clean energy is overtaking coal, and the use of renewables continues to rise. In 2021, wind turbines and solar panels generated more than a tenth (10.3%) of global electricity, up from 9.3% in the previous year, according to analysis from climate and energy think-tank Ember.

Throughout 2021 clean energy sources generated 38% of the world's electricity, suggesting that global wind and solar growth is on track to meet climate targets. Ember's study found that solar generation rose by 23% globally, and wind by 14%. If the ten-year average compound growth rate of 20% can be maintained to 2030, solar and wind power could grow enough to limit global heating to 1.5°C, according to the analysis.

This shows that the green energy transition is well on its way. However, green shifts in global electricity still need to sustain very high growth rates to replace coal and reduce emissions.

Fossil fuels still feeding energy needs

Indeed, the rising demand for electricity has pushed a surge in fossil fuel use. While clean sources have grown, coal-fired electricity generation increased by 9% in 2021, the fastest rate since 1985. Countries across Asia saw the steepest rise in coal use in order to meet the booming demand for electricity in the region—China saw a 9% rise, India 11%, and Mongolia 13%.

Fossil fuel companies have reaped the rewards of higher demand. As many regions of the world fell into an energy crisis post-pandemic—a crisis which has only been exacerbated by Russia's invasion of Ukraine and uncertainty over energy supply—oil giants Shell and BP reported record-breaking profits in the first quarter of 2022.

Keeping up with clean energy growth

Combined, all clean energy sources generated more of the world's electricity than coal, which contributed 36% in 2021.

The Ember analysis found that the Netherlands, Australia and Vietnam had the fastest growth rates for renewable sources, as they shifted over 8% of their total electricity demand to wind and solar in just the last two years. As many as 50 countries have now switched at least 10% of their electricity generation from fossil fuels to cleaner sources.

With this milestone in wind and solar, and major economies like the UK, the US, Canada and Germany planning to shift their grids to 100% green electricity within the next 15 years, the Ember study claims that it is now "eminently possible" to keep the rld's rise in temperature under 1.5°C.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Join the global conversation

Join 6,000 attendees online and 400 in Washington. Help lead the way to a more sustainable future.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DEN sebut Papua memiliki potensi besar pengembangan energi terbarukan

Ardiles Leloltery

Salah satu wilayah di Papua yang memiliki potensi tenaga air ialah Mamberamo.

Jayapura (ANTARA) - Dewan Energi Nasional (DEN) menyebutkan bahwa Papua memiliki potensi besar dalam pengembangan energi terbarukan terutama hydropower (tenaga air) untuk aliran listrik.

Anggota pemangku kepentingan Dewan Energi Nasional Musri Mawaleda dalam siaran pers yang diterima di Jayapura, Sabtu, mengatakan salah satu wilayah di Papua yang memiliki potensi tenaga air ialah Mamberamo.

"Di wilayah Mamberamo itu berdasarkan hasil studi awal diketahui mempunyai potensi kelistrikan sekitar 23 ribu megawatt, sehingga bisa memasok separuh dari keseluruhan Papua termasuk Papua Nugini jika itu dikembangkan," katanya lagi.

Menurut Musri, ke depan jika potensi tersebut dapat berjalan baik, maka wilayah Mamberamo akan berkembang tidak hanya untuk industri energi saja tetapi juga terkait dengan pertanian, gas, dan sebagainya.

Pihaknya telah melakukan pertemuan dengan DPR Papua untuk mendorong percepatan penyelesaian Peraturan Daerah (Perda) tentang Rencana Umum Energi Daerah (RUED) Provinsi Papua pada Kamis (9/2).

Hal tersebut, kata dia pula, sebagaimana diamanatkan oleh peraturan perundang-undangan bahwa RUED Provinsi Papua harus mengacu pada Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), sehingga pembangunan pengelola energi beserta infrastruktur pendukung di Papua bisa terintegrasi secara nasional.

Dia menjelaskan penyusunan naskah akademik beserta draf RUED telah diselesaikan oleh pihak eksekutif dibantu akademisi dari Universitas Cenderawasih, Jayapura.

"Kami mendorong agar DPRP segera melakukan pembahasan dan penetapan Raperda RUED, mengingat saat ini 34 provinsi di Indonesia, 28 di antaranya telah selesai dan tinggal empat provinsi yang belum termasuk Papua, sehingga kami minta dapat diselesaikan secepatnya," ujarnya lagi.

Dia menambahkan materi muatan tentang RUED mengatur penawaran (supply) dan permintaan (demand) energi, sehingga dengan adanya Perda RUED tentu antara supply dan demand mulai dari energi listrik hingga energi primer bisa diatur dan dikendalikan.

Ia mengatakan misalnya energi listrik seperti bahan bakar minyak (BBM) dan gas dari sejumlah kasus yang terjadi di daerah termasuk di Papua adanya kelangkaan BBM dan gas yang akhirnya menimbulkan antrean di SPBU maupun depot yang akar persoalannya akibat tidak ada perencanaan yang baik antara supply dan demand.

"Padahal jika ada perencanaan yang baik tentu akan menjawab kebutuhan energi di daerah, mengingat selama ini permintaan energi kepada perusahaan mandatory hanya berdasarkan asumsi atau perkiraan dari perusahaan mandatory yang datang di daerah," katanya pula.

Ketua DPR Papua Jhony Banua Rouw mengatakan pada prinsipnya pihaknya siap menyelesaikan rancangan Perda tentang REUD sebagaimana diamanatkan dalam UU Nomor 30 Tahun 2017 tentang Energi.

"Namun kami juga ingin mengetahui tujuan dan urgensi serta manfaat RUED yang berdampak langsung kepada Orang Asli Papua (OAP) maupun masyarakat Papua pada umumnya," katanya pula.

Baca juga: Pemerintah bangun listrik mikro hidro di Pegunungan Arfak
Baca juga: Pemerintah segera bangun pembangkit listrik mikro hidro di Papua Barat

Pewarta: Ardiles Leloltery
Editor: Budisantoso Budiman
COPYRIGHT © ANTARA 2023

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Ini Cara Dorong Bauran Energi Nasional Lewat Pembangunan PLT - Medcom.id

Arif Wicaksono

Jakarta: Akselerasi bauran energi di Indonesia memerlukan kolaborasi antar pihak guna mewujudkan pemanfaatan energi baru terbarukan yang agresif. Dilansir dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), hingga saat ini bauran energi nasional tercatat di angka 14,11 persen.

Angka tersebut menuntut berbagai pihak untuk melakukan upaya out of the box guna mengakselerasi pemenuhan target bauran energi tersebut. Cara untuk mencapainya salah satunya dengan menggaet pihak swasta dalam mendukung perkembangan industri Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Koordinator Pelayanan dan Pengawasan Usaha Aneka EBT Kementerian ESDM Mustaba Ari menuturkan apresiasinya terhadap perusahaan pengembang energi surya yang telah menyediakan wadah bagi para mitra bisnis dan organisasi untuk saling belajar, sekaligus memberikan dampak terhadap kemajuan energi baru terbarukan di Indonesia.

"Kami saat ini terus memonitor perkembangan industri PLTS, dan turut menyampaikan kehadiran regulasi mengenai PLTS Atap diharapkan mampu dilihat menjadi peluang bagi pelaku industri PLTS Atap," jelas dia, dikutip dari *Antara*, Kamis, 23 Maret 2023.

Bagaimana tanggapan anda mengenai artikel ini?

Representatif PLN Icon Plus Anne Aprina Priskila mengatakan saat ini PLN Icon Plus selaku bagian dari Grup PLN terus mengkoordinasikan beragam upaya bagi industri PLTS Atap terutama dalam hal perizinan.

"Selain itu kami juga sedang mengembangkan sebuah sistem yang mampu memonitor penggunaan listrik yang tersambung dalam jaringan. Kami berharap melalui upaya yang kami lakukan dapat turut serta mendukung misi peningkatan akses energi terbarukan di Indonesia," ujar Anne.

PLTS di daerah tertinggal

Sebagai salah satu perusahaan pengembang proyek energi surya di Indonesia, SUN Energy kembali berkolaborasi bersama pemerintah, mitra bisnis, dan organisasi generasi muda. SUN Energy berkolaborasi bersama Society of Renewable Energy (SRE Indonesia) menjalankan program elektrifikasi sistem PLTS di tiga desa terpencil dan tertinggal selama 2022.

Direktur Utama PT Surya Utama Nuansa (SUN Energy) Roy Wijaya mengungkapkan SUN Energy turut memberikan dampak terhadap masyarakat dan lingkungan melalui program elektrifikasi wilayah yang belum mendapatkan aliran listrik secara optimal.

"Sebelumnya kami telah mengaliri 19 desa di Indonesia, dan pada hari ini, kami kembali memulai inisiatif kami untuk mengalirkan listrik desa-desa melalui pemanfaatan energi bersih, salah satunya di Desa Paya Cut, Kabupaten Bireun, D.I Aceh," ungkap Roy Wijaya.

Jangan lupa ikuti *update* berita lainnya dan *follow* akun google news Medcom.id

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jenis-Jenis Sumber Energi di Bumi, Terbarukan dan Tak Terbarukan

Rheza Aditya Gradianto

Bola.com, Jakarta - Jenis-jenis sumber **energi** digunakan untuk menghasilkan listrik, membuat sesuatu bergerak, dan mempermudah pekerjaan yang dilakukan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari.

Ketika populasi dunia meningkat, permintaan energi untuk memberi daya pada rumah, bisnis, dan komunitas kita pasti juga turut meningkat.

Secara umum, sumber energi terdiri dari **energi** terbarukan dan tak terbarukan. Energi terbarukan adalah sumber daya alam yang tersedia berlimpah di alam dan berkelanjutan. Energi tak terbarukan merupakan energi yang bisa habis seiring berjalannya waktu.

Energi memliki beberapa macam bentuk, setiap bentuknya memiliki manfaat sesuai kegunaannya masing-masing.

Untuk mempelajarinya lebih lanjut, kamu bisa membaca artikel mengenai berbagai jenis energi di bawah ini.

Berikut jenis-jenis sumber energi yang ada di bumi, terbarukan dan tak terbarukan, disadur dari *Liputan6*, Kamis (16/2/2023).

Berita Video, McLaren Rilis Mobil Baru untuk Formula 1 Musim Depan pada Senin (13/2/2023)



Ilustrasi sungai. Credit: pexels.com/Jon

1. Energi air

Sumber energi air atau tenaga air adalah satu di antara sumber energi terbarukan tertua dan terbesar. Jenis pembangkit listrik tenaga air yang paling umum menggunakan bendungan di sungai untuk menyimpan air di reservoir.

Air yang dilepaskan dari reservoir mengalir melalui turbin, memutarnya, yang pada gilirannya mengaktifkan generator untuk menghasilkan listrik.

Energi Biomassa

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

ergi biomassa adalah jenis-jenis sumber energi yang dihasilkan dari bahan organik. Energi biomassa terbuat dari bahan yang berasal dari organisme hidup, seperti tumbuhan dan hewan.

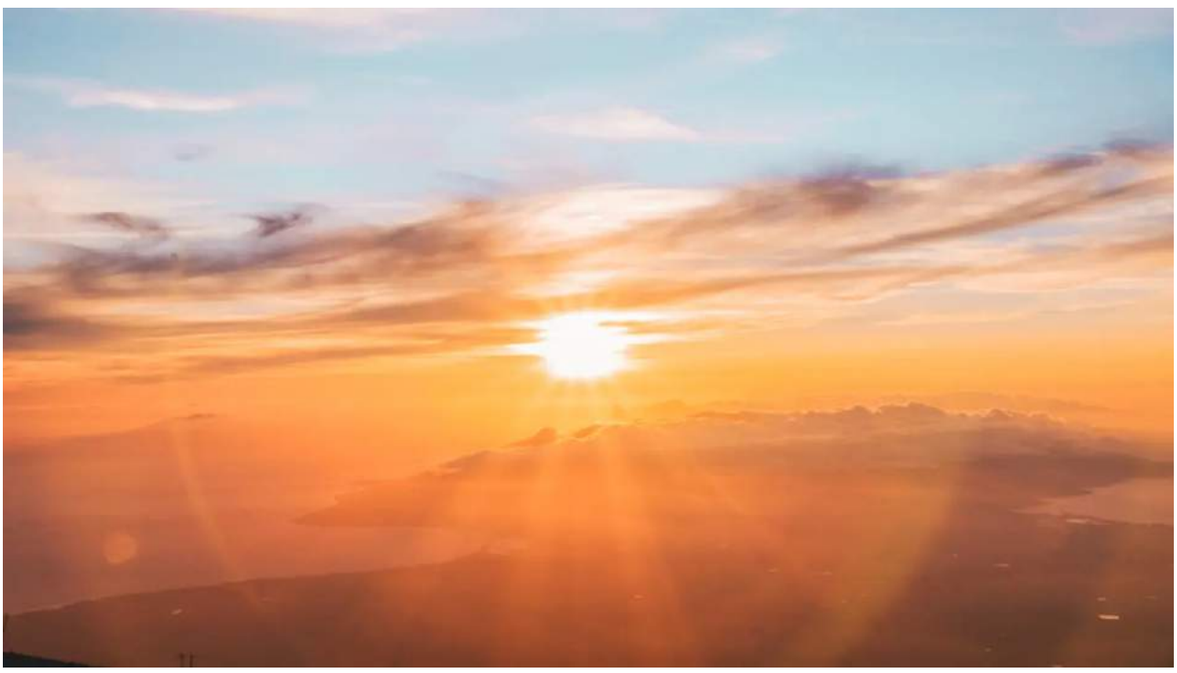
Bahan biomassa yang paling umum digunakan untuk energi adalah tanaman, kayu, dan limbah.

3. Energi pasang surut

Energi pasang surut menggunakan naik turunnya pasang surut air laut untuk mengubah energi kinetik pasang surut yang masuk dan keluar menjadi energi listrik. Pembangkitan energi melalui tenaga pasang surut paling umum di daerah pesisir.

Energi pasang surut merupakan satu di antara sumber energi terbarukan dan menghasilkan energi yang besar bahkan pada saat pasang surut dengan kecepatan rendah.

Jenis-Jenis Sumber Energi di Bumi yang Terbarukan



Ilustrasi matahari. Credit: unsplash.com/Andrea

4. Energi matahari

Matahari adalah sumber energi utama di bumi. Sumber energi dari matahari disebut tenaga surya. Tenaga surya adalah energi dari matahari yang diubah menjadi energi panas atau listrik.

Energi ini bisa bermanfaat untuk menghasilkan listrik, menyediakan cahaya atau lingkungan interior yang nyaman, atau keperluan komersial dan industri.

5. Energi angin

Tenaga angin atau energi angin menggambarkan proses di mana angin digunakan untuk menghasilkan tenaga mekanik atau listrik. Sumber energi ini biasanya didapat dari turbin angin yang mengubah energi kinetik angin menjadi tenaga mekanik.

Tenaga mekanik dapat digunakan untuk tugas-tugas tertentu seperti memompa air.

6. Energi panas bumi

Energi panas bumi adalah panas di dalam bumi. Energi panas bumi merupakan sumber energi terbarukan karena panas terus-menerus diproduksi di dalam bumi. Energi panas ini disimpan dalam batuan dan cairan di pusat bumi.

7. Energi nuklir

ergi nuklir adalah energi dalam nukleus (inti) suatu atom. Atom adalah partikel kecil yang

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

nyusun setiap objek di alam semesta. Sumber energi ini dapat dihasilkan dengan dua cara: fisi ketika inti atom terpecah menjadi beberapa bagian – atau fusi – ketika inti bergabung bersama.

Sumber energi nuklir yang dimanfaatkan di seluruh dunia saat ini untuk menghasilkan listrik adalah melalui fisi nuklir, sedangkan teknologi untuk menghasilkan listrik dari fusi berada pada fase R&D.

Jenis-Jenis Sumber Energi di Bumi yang Tak Terbarukan



Ilustrasi gas. (dok. Pixabay.com/PublicDomainPictures/Putu Elmira)

1. Gas alam

Gas alam adalah hidrokarbon tak terbarukan yang digunakan sebagai sumber energi untuk pemanasan, memasak, dan pembangkit listrik.

Sumber energi ini juga digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan dan sebagai bahan baku kimia dalam pembuatan plastik dan bahan kimia organik penting lainnya secara komersial.

2. Mineral bumi

Mineral bumi dan bijih logam adalah contoh macam-macam sumber energi yang tidak dapat diperbarui. Jenis sumber daya mineral yang digunakan bervariasi menurut teknologi.

Dalam geologi dan mineralogi, mineral adalah senyawa kimia padat dengan komposisi kimia yang cukup jelas dan struktur kristal spesifik yang terjadi secara alami dalam bentuk murni.

3. Bijih logam

Logam hadir dalam jumlah besar di kerak bumi, dan ekstraksinya oleh manusia hanya terjadi di mana mereka terkonsentrasi oleh proses geologis alami.

Deposit bijih logam yang terlokalisasi di dekat permukaan yang dapat diekstraksi secara ekonomis oleh manusia tidak dapat diperbarui dalam kerangka waktu manusia.

Jenis-Jenis Sumber Energi di Bumi yang Tak Terbarukan





Ilustrasi bensin. | Pexels.com

4. Minyak bumi

Minyak bumi adalah bahan bakar fosil. Ini terbentuk ketika panas dan tekanan menekan sisa-sisa tanaman prasejarah, hewan, dan kehidupan air di bawah dasar laut atau danau selama jutaan tahun sehingga menjadi bahan bakar fosil.

Minyak mentah adalah sumber daya tak terbarukan yang menumpuk dalam bentuk cair di antara lapisan kerak bumi. Ini diambil dengan mengebor ke dalam tanah dan dasar laut dan memompa cairan keluar. Cairan tersebut kemudian dimurnikan dan digunakan untuk membuat banyak produk berbeda.

5. Batu bara

Batu bara terutama digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan tenaga listrik. Panas yang dihasilkan oleh pembakaran batu bara digunakan untuk mengubah air menjadi uap bertekanan tinggi yang menggerakkan turbin, yang menghasilkan listrik.

Disadur dari: Liputan6.com (Penulis: Anugerah Ayu Sendari, Editor: Septika Shidqqiyah. Published: 17/11/2021)

Yuk, baca artikel edukasi lainnya dengan mengeklik tautan ini**.**

Selanjutnya: Jenis-Jenis Sumber Energi di Bumi yang Terbarukan

3 Resep Gregoria Mariska Sabet Gelar Pertama BWF World Tour di Spain Masters 2023

Erick Thohir Ikut Jokowi Pusing 2 Minggu Gara-gara Piala Dunia U-20 2023 di Indonesia Batal

Lirik Lagu By The End Of The Night - Ellie Goulding

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kapasitas Produksi Energi pada Beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi di Indonesia - GoodStats Data

GoodStats Data

Penerapan energi terbarukan saat ini masih di bawah target. Indonesia masih tertinggal dalam pengembangan energi terbarukan dibandingkan dengan rencana pengembangan energi dan kapasitas yang berbeda. Meskipun ada beragam opsi peraturan dan mekanisme dukungan, kurangnya kebijakan yang konsisten dan mendukung untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga surya telah menjadi salah satu hambatan terbesar dalam penerapan energi surya.

Saat ini, hanya sebagian kecil listrik di Indonesia yang berasal dari energi terbarukan, yaitu hanya 2% dari total potensi energi terbarukan yang tersedia di Indonesia. Pembangkit listrik tenaga fosil diperkirakan akan terus mendominasi sistem listrik di Jawa-Bali, namun RUPTL 2021-2030 dan strategi untuk beralih dari batu bara dalam jangka panjang dapat membalikkan tren ini untuk mendukung penggunaan energi terbarukan.

Meskipun tantangan dalam pengembangan energi terbarukan, PLN telah mencapai beberapa kemajuan dalam mencapai target campuran energi terbarukan yang diumumkan dalam RUPTL 2021-2030. Bagian energi terbarukan di Indonesia pada tahun 2021 tercatat sebesar 11,5%. Komitmen PLN untuk mencapai campuran energi terbarukan 23% pada tahun 2025 termaktub dalam RUPTL 2021-2030. Baru-baru ini, PLN menandatangani perjanjian pembelian tenaga listrik pada aset geothermal terkonsolidasi yang dimiliki oleh PLN, PT Indonesia Power, dan PT Pertamina Geothermal Energy.

Meskipun demikian, masih dibutuhkan kebijakan konsisten dan mendukung untuk mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Seiring dengan rencana untuk beralih dari batu bara dalam jangka panjang, pengembangan energi terbarukan harus terus didorong dan didukung untuk mencapai target penggunaan energi terbarukan yang lebih besar di masa depan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Rencana Pengembangan Pembangkit Nasional Beri Porsi EBT Lebih Besar



Rencana Pengembangan Pembangkit Nasional Beri Porsi EBT Lebih Besar

Rabu, 1 Februari 2023 - Dibaca 563 kali

KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL

REPUBLIK INDONESIA

SIARAN PERS

NOMOR: 041.Pers/04/SJI/2023

Tanggal: 1 Februari 2023

Rencana Pengembangan Pembangkit Nasional Beri Porsi EBT Lebih Besar

Pemerintah terus berkomitmen untuk mempercepat pencapaian Net Zero Emission (NZE) di tahun 2060 atau lebih cepat. Di sektor energi, salah satu upayanya mendorong porsi kapasitas pembangkit energi baru dan terbarukan (EBT) menjadi lebih besar daripada porsi pembangkit dari energi fosil.

Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN teranyar tahun 2021-2030, memberikan porsi lebih besar bagi pembangkit EBT, yakni 52 persen, dibandingkan pembangkit energi fosil yang hanya 48%. Sehingga, RUPTL ini disebut "RUPTL Hijau".

"Dalam RUPTL kita sama-sama paham kalau 52% dari pembangkit kita itu basisnya adalah EBT," ujar Plt. Direktur Jenderal Ketenagalistrikan Dadan Kusdiana, dalam Konferensi Pers Capaian Kinerja Sektor Ketenagalistrikan Tahun 2022 dan Capaian Tahun 2023, Selasa (31/1).

Maka dari itu, pada rencana pengembangan pembangkit nasional ke depan, tegas Dadan, Pembangkit trik Tenaga Uap (PLTU) yang dibangun hanyalah PLTU yang sudah ditetapkan dalam RUPTL

belum berlakunya Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembang Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik.

"Kita sudah memastikan bahwa tidak ada lagi PLTU baru, kecuali yang sudah ditetapkan dalam RUPTL sebelum berlakunya Perpres 112 Tahun 2022," ujar Dadan.

Selanjutnya, Dadan menjelaskan, pengembangan PLTU baru diperbolehkan apabila terintegrasi dengan industri yang dibangun berorientasi untuk peningkatan nilai tambah sumber daya alam, seperti smelter, atau PLTU yang termasuk dalam Proyek Strategis Nasional (PSN) yang berkontribusi besar terhadap penciptaan lapangan kerja dan/atau pertumbuhan ekonomi nasional.

"Syarat yang kedua adalah dalam 10 tahun, harus menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK), kan kalau PLTU dari batubara, harus menurukan emisi sebesar minimal 35% dan 35% ini cukup berat, ini adalah angka di mana Pemerintah dan seluruh stakeholder berkomitmen untuk terus melakukan upaya penurunan emisi GRK, ini pun menjadi syarat utama untuk mendapatkan pengecualian pembangunan PLTU," terang Dadan.

Adapun syarat yang ketiga, lanjut Dadan, adalah beroperasi paling lama sampai tahun 2050. "Jadi kalau tahun 2030, ya 20 tahun kemudian harus istirahat atau pensiun," imbuhnya.

Berdasarkan RUPTL 2021-2030, diproyeksikan total tambahan kapasitas pembangkit adalah 40,575 Gigawatt (GW), dengan porsi pembangkit EBT sebesar 20,923 GW atau 51,6% dan porsi pembangkit fosil sebesar 19,562 GW atau 48,4%.

Berdasarkan jenis pembangkitnya, pembangkit dengan sumber EBT terbesar adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air/Mikro/Mikrohidro (10,391 GW), kemudian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (4,68 GW), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (3,355 GW), PLT EBT Base (1,01 GW), lalu Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (0,597 GW), PLT Bio (0,590 GW), dan BESS (0,3 GW).

Sementara untuk pembangkit dengan sumber energi fosil, PLTU menempati porsi terbesar dengan 13,819 GW, kemudian Pembangkit Listrik Tenaga Uap/Gas Uap/Mesin Gas dengan 5,828 GW, dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dengan 5 Megawatt (MW).

Berdasarkan jenis pengembang, Independent Power Producer (IPP) mengambil porsi terbesar untuk pengembangan pembangkit hingga tahun 2030, yakni 26,006 GW atau 64%, kemudian PLN sebanyak 14,269 GW atau 35%, dan kerja sama antar wilayah usaha sebesar 300 MW atau 1% saja.

Dadan juga mengungkapkan bahwa saat ini pembahasan teknis untuk meninjau kembali RUPTL 2021-2030 sudah dimulai. Menurutnya, jika memang dipandang perlu adanya perubahan RUPTL, maka akan dilakukan revisi, dengan tidak menurunkan target pembangunan pembangkit.

"Sekarang sudah mulai pembahasan teknis untuk mereview RUPTL yang sedang berjalan ini, kalau dipandang perlu nanti akan dilakukan revisi. Tetapi saya sudah sampaikan bahwa dengan review ini, jika ada revisi tidak menurunkan target (pengembangan EBT)," tegasnya. (DKD)

Kepala Biro Komunikasi, Layanan Informasi Publik, dan Kerja Sama

Agung Pribadi (08112213555)

Bagikan Ini!

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Komitmen Hijau, Entitas TBS Utama (TOBA) Teken Pengembangan Energi Terbarukan

EmitenNews.com - Energi Baru TBS (EBT), anak usaha TBS Energi Utama (TOBA) bersama PT Adaro Clean Energy Indonesia, dan PT Medco Power Indonesia meneken Memorandum of Understanding (MoU) pengembangan energi terbarukan. Selain itu, teken nota kesepahaman tersebut juga untuk peluang industrialisasi rantai pasok solar PV/BESS di Indonesia.

Sebelumnya, Pemerintah Indonesia dan Singapura telah meneken nota kesepahaman mengenai kerja sama investasi pengembangan industri dan kapabilitas manufaktur energi terbarukan hulu dan hilir di Indonesia dalam Pertemuan Pemimpin Singapura-Indonesia di Singapura pada Kamis, (16/3).

Teken nota kesepahaman itu, dilakukan Direktur Utama Energi Baru TBS (EBT) Dimas Adi Wibowo, Presiden Direktur Adaro Clean Energy Indonesia (Adaro) Dharma Hutama Djojonegoro, dan Presiden Direktur Medco Power Indonesia (Medco Power) Eka Satria.

Penandatanganan nota kesepahaman menjadi wujud keseriusan EBT, dan perusahaan lain dalam membangun iklim rantai pasok solar PV, dan sistem penyimpanan energi baterai (SPEB) di Indonesia. EBT berkomitmen mendukung program pemerintah Indonesia dalam mewujudkan cita-cita meningkatkan produksi dalam negeri, terutama industri rantai pasok solar PV/SPEB di Indonesia.

Dalam kerja sama itu, EBT akan memanfaatkan MoU kerja sama energi terbarukan antara Indonesia dan Singapura untuk memfasilitasi investasi dalam pengembangan industri manufaktur energi terbarukan Indonesia, termasuk fotovoltaik surya (PV), dan Sistem Penyimpanan Energi Baterai (BESS), memanfaatkan investasi proyek ekspor listrik ke Singapura sebagai permulaan, dan secara strategis untuk pengembangan kelistrikan nasional lebih terintegrasi.

“Kami menyambut baik, dan mendukung upaya pemerintah mempercepat pengembangan industri energi terbarukan Indonesia. Kerja sama ini akan memperkuat kontribusi kami dalam pengembangan proyek-proyek energi terbarukan yang eksisting, dan baru untuk masa depan Indonesia lebih hijau,” tutur Dimas Adi Wibowo, Direktur Utama EBT.

Penandatanganan nota kesepahaman itu, merupakan komitmen perusahaan-perusahaan pembangkit listrik Indonesia untuk mempromosikan pengembangan infrastruktur, dan industri energi terbarukan, terutama energi surya, sebagai sumber energi terbarukan terbesar akan berkontribusi lebih dari 50 persen dari pembangkitan listrik domestik pada 2060.

Langkah tersebut sejalan komitmen Towards a Better Society 2030 (TBS 2030). Di mana, TBS telah menetapkan inisiatif untuk memangkas emisi karbon, meningkatkan kualitas lingkungan, meningkatkan kesejahteraan sosial, dan meningkatkan tata kelola perusahaan.

Langkah TBS melalui EBT tersebut juga akan mencakup proyek-proyek pembangkit listrik tenaga surya, fasilitas manufaktur dari rantai pasok panel surya, dan BESS. Dengan demikian, EBT dan mitra-mitra bisnis berharap dapat memberikan dampak positif bagi lingkungan, masyarakat, dan ekonomi Indonesia. (*)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Mau Transisi Energi Jangan Sendirian! - Medcom.id

Ade Hapsari Lestarini

Jakarta: Transisi energi menjadi salah satu upaya menjaga ketahanan energi dan mewujudkan ekonomi hijau di Indonesia. Hal ini guna mencapai target *Net Zero Emission* (NZE) pada 2060 dan pengurangan 32 persen emisi pada 2030.

Dalam mendukung percepatan transisi energi di dalam negeri, Pemerintah juga telah menerbitkan Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Pengembangan proyek EBT guna mendorong target jangka menengah untuk penurunan emisi Indonesia 2030.

Transisi energi juga menunjukkan komitmen Indonesia untuk memperluas akses terhadap teknologi yang terjangkau dan bersih guna mendorong pemulihan ekonomi yang berkelanjutan dan lebih hijau. Pemerintah telah meningkatkan target komposisi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dalam bauran energi menjadi sebesar 23 persen pada 2025 dan 31 persen pada 2050.

Bagaimana tanggapan anda mengenai artikel ini?

Terlebih lagi potensi EBT Nasional tercatat sebesar 3.689 gigawatt (GW), yang terdiri atas surya, hidro, bioenergi, angin, panas bumi, dan laut yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia. Total pemanfaatan yang telah dilakukan sebesar 12.557 MW atau 0,3 persen dari total potensi.

Pemerintah pun terus melakukan percepatan transisi energi dan hilirisasi mineral nasional. Salah satu upaya untuk mendukung hal tersebut adalah berkolaborasi dengan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) dan Kementerian Perindustrian (Kemenperin) dalam Tripatra Energy Talk bertajuk "Kolaborasi Nasional untuk Percepatan Transisi Energi dan Hilirisasi Mineral".

Kegiatan ini bertujuan untuk mendorong diskusi tentang kolaborasi dan pembangunan kapabilitas nasional untuk mendukung program transisi energi dan hilirisasi mineral nasional sekaligus menjadi wadah untuk mengumpulkan wawasan tentang masa depan energi dan mineral dari para pakar dan praktisi.

President Director & CEO PT Tripatra Engineers and Constructors (Tripatra) Raymond Naldi Rasfuldi, mengatakan, perseroan terus mendorong perubahan transformasional dan berkelanjutan dengan visi "Membangun Solusi Berkelanjutan untuk Transformasi Energi dan Percepatan Hilirisasi". Kolaborasi ini untuk mengimplementasikan visi tersebut serta ikut berkontribusi dalam memajukan sektor energi dan mineral nasional.

"Kami sangat bangga dapat berkolaborasi dengan pemerintah dalam mendukung upaya percepatan transisi energi dan hilirisasi mineral nasional. Kami siap untuk terus ikut berkontribusi dalam membangun kapabilitas nasional dan memajukan sektor ini bersama-sama dengan pemerintah dan pelaku industri lainnya," jelas Raymond Naldi Rasfuldi, dalam keterangan tertulisnya, Kamis, 23 Maret 2023.

Transisi energi bentuk ekosistem terintegrasi

Direktur Perencanaan dan Pembangunan Infrastruktur, Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) Kementerian ESDM Hendra Iswahyudi menyatakan, Kementerian ESDM berkomitmen untuk mempercepat transisi energi dengan membentuk ekosistem yang sinergis dan terintegrasi antara pemerintah, media, akademik, industri (BUMN dan Swasta), dan masyarakat.

"Kami percaya dengan membentuk ekosistem yang sinergitas melalui konsep pentahelix antarpemangku kepentingan, kita dapat mempercepat pengembangan EBTKE dalam transisi energi di Indonesia sehingga memberikan manfaat jangka panjang bagi masyarakat dan lingkungan. Kementerian ESDM juga sangat menyambut baik kolaborasi dengan berbagai pihak, salah satunya seperti yang dilakukan bersama Tripatra untuk semakin memperkaya pengetahuan serta menguatkan sinergi dan kolaborasi nasional seluruh pemangku kepentingan," jelas Hendra.

Selain transisi energi, hilirisasi mineral juga tidak kalah penting untuk terus didorong. Sebab, hilirisasi merupakan strategi untuk meningkatkan nilai tambah komoditas yang dimiliki oleh suatu negara. Dengan hilirisasi, komoditas yang diekspor tidak lagi berwujud bahan baku mentah tetapi sudah menjadi barang setengah jadi.

Salah satunya seperti kebijakan hilirisasi dan pelarangan ekspor nikel mentah (bijih nikel) yang telah berhasil mendongkrak tambah ekspor produk nikel Indonesia. Dimana harga nikel yang telah diolah di smelter dapat memiliki nilai tambah lebih 300 kali dibandingkan bijih nikel. Data Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan total nilai ekspor mencapai

PERPUSTAKAAN NASIONAL

95,98 miliar pada 2022, naik 365,4 persen dibandingkan 2021 yang mencapai USD1,28 miliar.

Selain meningkatkan nilai tambah komoditas, adanya hilirisasi diharapkan dapat memperkuat struktur industri, serta meningkatkan peluang usaha dalam negeri dengan tersedianya lapangan pekerjaan baru. Sehingga dapat menunjang pembangunan nasional yang berkelanjutan guna mewujudkan kesejahteraan dan kemakmuran rakyat secara berkeadilan.

Hilirisasi strategi majukan industri nasional

Menurut Direktur Industri Logam Kementerian Perindustrian (Kemenperin) Liliek Widodo, hilirisasi mineral merupakan strategi penting untuk memajukan industri nasional dan meningkatkan nilai tambah produk sumber daya mineral dalam negeri.

Percepatan hilirisasi mineral akan membawa dampak positif bagi industri nasional, seperti peningkatan inovasi teknologi, peningkatan nilai tambah produk, dan penciptaan lapangan kerja baru. Dengan terciptanya kemampuan nasional dalam mengolah mineral, Indonesia akan dapat memanfaatkan potensi sumber daya mineral yang dimiliki secara optimal.

"Hal ini juga sejalan dengan visi pemerintah dalam menciptakan industri yang lebih maju dan berdaya saing bahkan bukan tidak mungkin dapat menjadi produsen mineral yang berkontribusi besar dalam perekonomian global. Namun, untuk mencapainya, perlu ada kolaborasi yang baik antara pemerintah dan sektor swasta untuk terus menciptakan kemampuan nasional yang kuat dalam hal teknologi, sumber daya manusia, dan infrastruktur untuk dapat melaksanakan hilirisasi mineral dengan efektif dan efisien," tutur Liliek.

Di sisi lain, Tripatra juga mengumumkan kerja sama yang sudah dilakukan dalam bidang transisi energi dan hilirisasi mineral antara lain kerja sama antara PT Kaltim Parna Industri, Tripatra, dan Nextchem untuk studi kelayakan 300 tpd *green ammonia production plant*, Tripatra dan HDF Energy untuk pengembangan Hydrogen to Power (HyPower) project, Tripatra dan METDevelopment untuk pengembangan *biofuels* generasi kedua di Indonesia.

Kemudian kerja sama antara Indika Energy, Altilium, Terra Altilium Berdaya, Geofix, dan Tripatra untuk studi kelayakan DNi Technology untuk pengolahan bauksit, serta kerja sama Tripatra dan Emirates Global Aluminum (EGA) untuk pengembangan smelter aluminium di Indonesia.

"Komitmen Tripatra dalam percepatan transisi energi dan hilirisasi mineral telah kami wujudkan dalam berbagai bentuk kerja sama. Mulai dari sektor panas bumi (geotermal), studi *green* amonia, pengembangan 2nd *generation biofuel*, sampai pengembangan di sektor aluminium dan nikel. Kolaborasi ini merupakan inisiatif yang penting untuk membangun kapabilitas nasional mendukung Indonesia mencapai tujuan berkelanjutan dan meningkatkan nilai tambah dari sumber daya alam Indonesia," tutup Raymond Naldi Rasfuldi.

Jangan lupa ikuti *update* berita lainnya dan *follow* akun google news Medcom.id

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Miris! Punya Harta Karun Ini, Tapi RI Gak Punya Pabriknya

Firda Dwi Muliawati



Foto: Cantiknya Pulau Messah, Pulau Berselimut Panel Surya di Timur RI. CNBC Indonesia/Gustidha Budiartie

Jakarta, CNBC Indonesia - Indonesia memiliki sumber "harta karun" energi yang melimpah. Tak hanya batu bara atau pun gas bumi, Indonesia ternyata memiliki "harta karun" energi baru terbarukan (EBT) yang besar.

Adapun salah satu "harta karun" energi baru terbarukan RI yang besar yakni energi matahari atau surya.

Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2021, potensi energi surya di Indonesia tak main-main jumlahnya yakni mencapai 207,8 Giga Watt (GW). Maka, tak salah bila energi surya ini disebut sebagai salah satu 'harta karun' energi RI.

Namun sayangnya, besarnya potensi energi surya di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal untuk sumber energi di Tanah Air. Bahkan, pabrik pembuatan panel surya pun belum ada di negeri ini.

Direktur Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) Kementerian ESDM, Dadan Kusdiana mengungkapkan bahwa Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan energi baru terbarukan dari surya. Namun sayangnya, dia mengakui bahwa RI belum memiliki pabrik untuk membuat panel surya yang nantinya bisa menghasilkan listrik.

"Kita punya energi terbarukan (energi surya) tapi kita tidak punya pabriknya untuk mengolah. Jadi nanti kita dorong pabriknya (di Indonesia)," ungkap Dadan saat ditemui di Kantor Kementerian ESDM, Kamis (16/3/2023).

Perlu diketahui, sepanjang 2022 lalu, kapasitas pembangkit EBT bertambah sebesar 1.004 MW. Dengan demikian, kapasitas terpasang pembangkit EBT secara nasional secara total telah mencapai 35 MW hingga 2022.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

n, dari 12.535 MW pembangkit energi baru terbarukan tersebut, kapasitas terpasang Pembang Listrik Tenaga Surya (PLTS) "hanya" sebesar 250 Mega Watt peak (MWp). Artinya, kapasitas PLTS baru 2% dari total kapasitas pembangkit berbasis energi baru terbarukan.

Bila dibandingkan dengan potensinya yang mencapai 207,8 GW, artinya pemanfaatan energi surya untuk menjadi sumber energi listrik masih di bawah 1%, tepatnya 0,12%.

Meski demikian, pemerintah meyakini pemanfaatan PLTS ini ke depannya akan semakin berkembang.

Dadan melanjutkan, selama ini Indonesia hanya mengimpor panel surya. Dengan begitu, dia mengatakan dalam jangka panjang, Indonesia akan bangun industri PLTS mulai dari hulu hingga hilirnya. Dengan demikian, Indonesia bisa memanfaatkan 'harta karun' yang ada dengan maksimal.

"Ya (bangun pabrik) di Indonesia. Kalau per sekarang dalam bayangan saja, nggak jangka pendek, adalah pabrik PLTS dari hulu, bukan nyambung-nyambung selnya diimpor. Kita ingin punya itu, industri yang hulunya, Pak Menteri ESDM juga sering menyampaikan," tambah Dadan.

Sebelumnya, Menteri Koordinator bidang Kemaritiman dan Investasi (Menko Marves) Luhut Binsar Pandjaitan mengungkapkan bahwa Singapura menginginkan adanya ekspor listrik Solar Panel dari Indonesia.

Namun, Luhut membeberkan bahwa Indonesia ingin proses pembuatan solar panel akan dilakukan sepenuhnya di dalam negeri. Luhut menjelaskan bahwa Indonesia ingin membangun industri dalam negeri mulai dari solar panel, baterainya, dan produk turunan selanjutnya, yang mana nantinya produk akhir baru akan diekspor.

"Mengenai mereka (Singapura) pingin ada ekspor solar panel dari Indonesia listriknya, dan Singapura. Tapi kita nggak mau begitu, maunya harus end to end. Kita harus bangun solar panel di sini, industrinya, kemudian baterainya, dan seterusnya. Baru kita ekspor ke Singapura jadi win-win," ungkapnya usai acara Indonesia Leading Economic Forum 2023, Jakarta, Selasa (14/3/2023).

Dengan demikian, lanjutnya, nantinya Indonesia akan mengekspor produk akhir, bukan hanya mengekspor bahan mentahnya saja.

Luhut menyebutkan investasi dalam membangun industri untuk solar panel bisa mencapai US$ 50 miliar atau setara dengan Rp 769,4 triliun (asumsi kurs Rp 15.389 per US$).

"Investasi seluruhnya nanti kalau kita lihat bisa potensi ke US$ 50 miliar," tambahnya.

Adapun, Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional (DEN), Djoko Siswanto juga pernah mengungkapkan bahwa pihaknya serius dalam mendorong akselerasi penggunaan energi baru terbarukan, salah satunya terkait energi surya dengan pemanfaatan PLTS.

Namun untuk menggenjot pengembangan energi baru terbarukan itu tidak murah. Indonesia sendiri setidaknya butuh dana hingga Rp 4 triliun untuk membangun produksi panel surya.

"Saya bahkan pernah punya ide mengumpulkan BUMN menghadap menteri keuangan dan Kementerian Sekretariat Negara terkait kebutuhan dana Rp 4 triliun," jelasnya dalam Energy & Mining Outlook 2023, Kamis (23/2/2023).

Saksikan video di bawah ini:

ESDM Akui Lebih Dari Satu Pegawai Terlibat Korupsi Tukin

tikel Selanjutnya

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

uran PLTS Atap Diubah, Pemakai Tak Bisa Jual Listrik ke PLN

(wia)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

OPINI: Catatan Atas Rancangan Undang-undang Energi Baru dan Terbarukan

Liputan6.com

Pengaturan terhadap aspek keekonomian di dalam RUU EBET diantaranya meliputi pengaturan harga dan mekanisme pembelian listrik EBET, pengaturan insentif, dan pembentukan Dana EBET.

Di dalam hal pengaturan harga dan mekanisme pembelian listrik EBET, RUU EBET tercatat menetapkan dua mekanisme penetapan harga jual listrik EBET, yaitu melalui kesepakatan para pihak dan melalui penetapan Pemerintah Pusat berupa harga patokan tertinggi.

Dalam hal penetapan harga pembelian melalui dua mekanisme di atas menemui kegagalan, maka dapat dilakukan penugasan oleh Pemerintah Pusat dengan harga yang ditetapkan melalui negosiasi para pihak.

Hal ini dilakukan dengan tetap mengacu pada harga keekonomian yang spesifik pada lokasi dan kapasitas yang akan dikembangkan sesuai dengan prosedur pengadaan yang berlaku.

Dalam hal ini, Pemerintah Pusat dapat menugaskan perusahaan listrik milik negara atau badan usaha milik swasta untuk membeli tenaga listrik yang dihasilkan dari EBET.

Di dalam kaitannya dengan pengaturan insentif, ketentuan yang diatur sejauh ini relatif masih bersifat umum. Pengaturan insentif di dalam RUU EBET mencakup pengaturan insentif dalam bentuk fiskal dan non-fiskal.

Insentif fiskal dalam hal ini dapat berupa insentif pajak penghasilan, pajak bumi dan bangunan, kepabeanan, penerimaan negara bukan pajak dan/atau keringanan iuran dan pungutan dalam berbagai bentuk.

Sementara insentif non-fiskal dalam hal ini dapat berupa kemudahan perizinan terkait pengadaan tanah dan infrastruktur serta pemanfaatan wilayah hutan.

Pengaturan lebih detail tentang insentif fiskal dan insentif non-fiskal disebutkan akan diatur dalam Peraturan Pemerintah. Dalam kaitan dengan aspek keekonomian, satu hal yang relatif baru dalam RUU EBET adalah adanya pengaturan tentang pembentukan Dana EBET.

Disebutkan Dana EBET dapat digunakan untuk pembiayaan infrastruktur EBET, pembiayaan insentif, kompensasi terhadap badan usaha yang mengembangkan EBET, penelitian dan peningkatan kapasitas sumber daya manusia.

Dana EBET dalam hal ini dapat bersumber dari APBN, APBD, pungutan ekspor energi fosil, perdagangan karbon dan sumber lain yang tidak bertentangan dengan peraturan perundang – undangan. Pengelolaan Dana EBET berada di bawah kewenangan Menteri Keuangan.

Dari sisi cakupan, pengaturan dan ketentuan yang berkaitan dengan aspek keekonomian di dalam RUU EBET pada dasarnya dapat diatakan sudah cukup lengkap. Namun, secara substansial pengaturan dan ketentuan tersebut pada dasarnya belum akan dapat secara langsung membuat mekanisme pasar di dalam investasi pengembangan EBET bekerja.

Dalam kaitannya dengan ketentuan harga jual listrik EBET misalnya, penetapan harga jual listrik EBET melalui mekanisme kesepakatan para pihak tetap belum sepenuhnya menjamin badan usaha pengembang listrik EBET dapat menjual listrik sesuai dengan harga keekonomian.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mentara penetapan harga jual listrik EBET melalui penetapan Pemerintah Pusat berupa harga patokan tertinggi juga relatif belum memberikan jaminan kepada pengembang EBET bahwa listrik yang diproduksikannya akan terserap.

Sementara untuk pengaturan insentif untuk pengembangan EBET, sejauh ini ketidakpastian untuk terealisasikannya insentif tersebut masih cukup tinggi mengingat belum adanya aturan detail tentang skema dan mekanisme pemberian insentif tersebut.

Dengan kondisi tersebut, gambaran terhadap bagaimana kemungkinan pengaruh adanya pemberian insentif terhadap keekonomian pengembangan EBET menjadi relatif belum terukur. Kondisi yang sama juga berlaku untuk pengaturan Dana EBET, dimana implementasi Dana EBET masih akan bergantung dan ditentukan oleh pengaturan di tingkat aturan pelaksananya.

Catatan akhir

Dari sisi praktis, dalam pengertian bagaimana agar pengembangan EBET dapat segera terealisasi dengan konkret, dari berbagai aspek yang ada, aspek keekonomian dapat dikatakan merupakan aspek vital yang terpenting.

Dalam konteks ini, di dalam proses legislasi dan pembahasan RUU EBET yang masih akan terus berjalan penyempurnaan di dalam operasionalisasi aspek keekonomian kiranya perlu dilakukan.

Di dalam aspek keekonomian, RUU EBET perlu lebih diarahkan untuk dapat secara lebih spesifik mengatur dan memuat ketentuan-ketentuan yang secara praktis dapat memfasilitasi, memberi kepastian, dan menjamin berjalan dan bekerjanya mekanisme pasar di dalam investasi-investasi EBET secara efektif,, efisien dan sehat.

Sebagai contoh dalam hal ini adalah pengaturan di dalam penerapan harga listrik EBET maupun skema *Feed In Tariff (FIT*) yang menyertainya.

Hendaknya di dalam pengaturan harga dan skema *FIT* ini RUU EBET nantinya tidak sekadar menetapkan rentang skala harga dan FIT yang layak saja, tetapi juga mengatur secara lebih lugas bahwa pemerintah melalui mekanisme insentif ataupun subsidi tertentu adalah pihak yang akan menanggung selisih keekonomian investasi yang tidak dapat dicapai melalui mekanisme pasar murni.

Pengalaman di berbagai negara mengajarkan bahwa keekonomian di dalam sebagian besar investasi EBET memang memerlukan pengaturan cukup detail dan intervensi langsung dalam bentuk insentif baik fiskal maupun non-fiskal dari pemerintah.

Termasuk di dalam hal ini misalnya adalah kejelasan pengaturan dalam hal kewajiban atau penugasan kepada pihak tertentu untuk membeli listrik yang dihasilkan dari pembangkit EBET dan atau di dalam menanggung selisih harganya yang mungkin masih di bawah nilai keekonomian.

Tanpa kejelasan tentang siapa pihak yang akan menanggung selisih keekonomian itu, dalam apa bentuknya, dan melalui mekanisme apa, sulit untuk mengharapkan investasi EBET akan dapat berjalan, apalagi dalam skala masif.

Kejelasan di dalam aspek keekonomian dari RUU EBET dapat dikatakan merupakan penentu keberhasilan dalam pelaksanaan transisi energi maupun di dalam pengembangan EBET secara lebih luas di tanah air.

Penulis adalah Pri Agung Rakhmanto, Pengajar di FTKE Universitas Trisakti Founder dan Advisor ReforMiner Institute

Pengembangan energi terbarukan menjadi salah satu isu utama dalam KTT Iklim yang digagas esiden Joe Biden. Di AS sendiri, banyak wilayah selama ini tergantung dari penambangan minyak, tau batubara. Tapi tak sedikit pula yang mulai mengurangi k...

akta atau Hoaks? Untuk mengetahui kebenaran informasi yang beredar, silaka... WhatsApp ke nomor Cek Fakta Liputan6.com 0811 9787 670 hanya dengan ketik kata kunci yang diinginkan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Iklan

ENERGI TERBARUKAN

Pemanfaatan Energi Surya di Indonesia Masih Sulit Berkembang

Berdasarkan data Ditjen EBTKE Kementerian ESDM, realisasi kapasitas terpasang PLTS pada 2022 ialah 271,6 MW atau jauh di bawah rencana 893,3 MW. Saat ini peraturan menteri terkait PLTS atap tengah direvisi.

Audio Berita 6 menit

Oleh **ADITYA PUTRA PERDANA**
23 Maret 2023 17:48 WIB · 3 menit baca



KOMPAS/RONY ARIYANTO NUGROHO

Pembangkit listrik tenaga surya.

JAKARTA, KOMPAS — Pembangkit listrik tenaga surya atau PLTS di Indonesia masih sulit berkembang meskipun berpotensi menjadi penopang untuk memacu energi terbarukan dalam bauran energi primer. Salah satu kendalanya adalah masih ada sejumlah batasan dalam kapasitas terpasang PLTS ak[illegible]nsokan daya listrik yang

Baca di Aplikasi

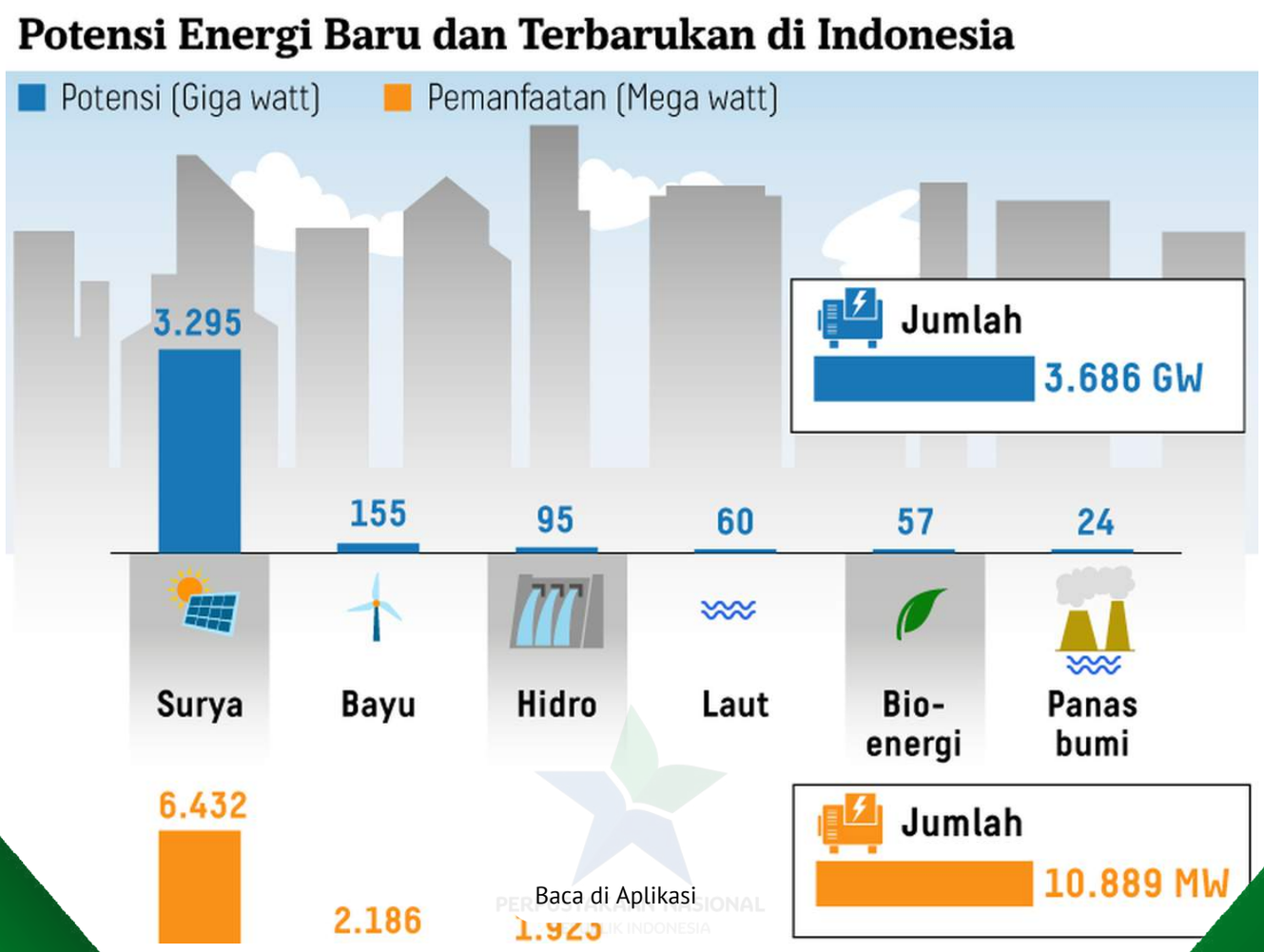
Ketua Asosiasi Pabrikan Modul Surya Indonesia (Apamsi) Linus Andor Mulana Sijabat, saat dihubungi Kamis (23/3/2023), mengatakan, ada sebanyak 12 produsen modul surya yang tergabung dalam Apamsi. Namun, semuanya berhenti beroperasi karena tidak ada pasar atau permintaan untuk panel surya tersebut.

Linus menjelaskan, pasar panel surya Indonesia itu untuk produsen listrik swasta (*independent power producer*/IPP) atau PLTS atap. Namun, semua itu bergantung pada PLN. Kendati Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) telah menerbitkan sejumlah aturan untuk percepatan PLTS, akhirnya tak bisa dijalankan PLN.

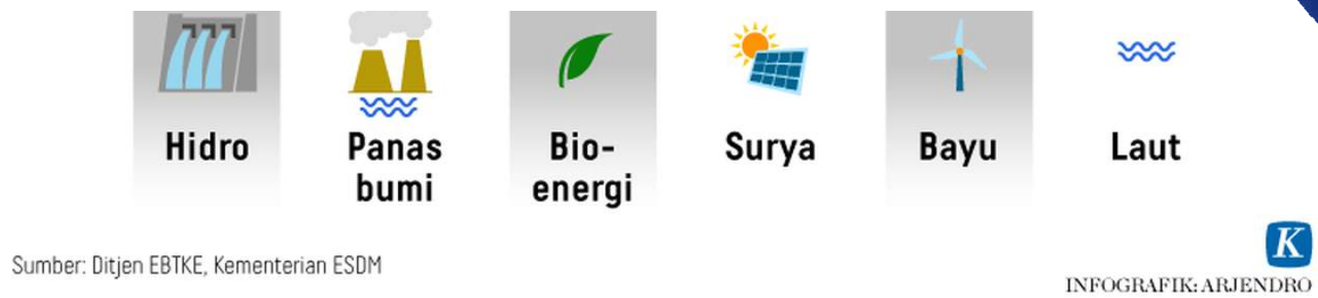
Baca juga: Pemasangan Panel Surya Atap Masih Terkendala

”Yang ditargetkan tidak terjadi sehingga *market*-nya tidak tumbuh. Sebanyak 12 perusahaan ini stop beroperasi. Waktu itu, konsisten hanya pada 2015 dan sesudah itu tidak ada lagi. Tentu yang diharapkan (agar PLTS tumbuh dan berkembang) ialah konsistensi PLN (menjalankan) regulasi yang ada,” kata Linus.

Di sisi lain, imbuh Linus, PLTS, termasuk PLTS atap, sebenarnya paling memungkinkan untuk memacu capaian energi terbarukan di Indonesia. Sebab, pembangkit listrik tenaga air (PLTA) memerlukan waktu lama dalam pembangunannya. Begitu juga pada pembangkit listrk tenaga panas bumi (PLTP).



Baca di Aplikasi



Sebelumnya, dalam pameran Solartech Indonesia, di JIExpo, Jakarta, awal Maret 2023, sejumlah perusahaan penyedia sistem panel surya mengatakan, saat ini nyaris semua panel surya yang terpasang di Indonesia ialah produk impor. Produsen panel surya skala besar didominasi produk-produk buatan luar negeri.

Sementara terkait permintaan pemasangan, ada kecenderungan tumbuh sejak 2019. "Namun, adanya pembatasan kapasitas terpasang (PLTS atap) 15 persen, sejak 2022 membuatnya menurun hingga 50 persen. Terutama pada pelanggan untuk hunian," kata Sales Engineer Sedayu Solar, Ilham Setiawan.

Berdasarkan data Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE) Kementerian ESDM, realisasi kapasitas terpasang PLTS pada 2022 ialah 271,6 megawatt (MW) atau jauh di bawah rencana sebesar 893,3 MW. Hanya ada penambahan 66,9 MW dari 2021 yang kapasitas terpasangnya 204,7 MW. Sebelumnya, Kementerian ESDM menargetkan 3.600 MW kapasitas terpasang PLTS atap pada 2025.

Relaksasi

Dalam diskusi terkait sinergi nasional untuk mencapai target kontribusi nasional untuk penurunan emisi (*nationally determined contribution*/NDC) 2030 dan emisi nol bersih (NZE) 2060 yang digelar Masyarakat Ketenagalistrikan Indonesia (MKI) secara hibrida, Rabu (21/3/2023), lambatnya pertumbuhan PLTS juga menjadi salah satu poin yang dibahas.

Wakil Ketua Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia (METI) Andhika Prastawa, dalam diskusi itu, mengatakan, PLTS atap ialah jenis energi terbarukan dengan teknologi dan bisnis yang mendasar dan mudah. Namun, perkembangannya sangat lambat dan membutuhkan lagi intervensi.



Baca di Aplikasi



PUTU FAJAR ARCANA

Instalasi panel surya di Kampung Malahing sebagai sumber energi yang sudah tidak berfungsi lagi.

Menurut dia, bicara target transisi energi, seharusnya tidak hanya bicara level makro, tetapi juga meso dan mikro.

”Sebab, di situlah *enabling* bekerja. Contohnya, kita bisa membuat kebijakan relaksasi agar (PLTS) *rooftop* (atap) tumbuh, dipermudah. Memang, kalau tak dijaga akan menjadi ekses (kelebihan daya). Namun, peraturan tidak tabu untuk diubah setelah target terpenuhi. Jadi, tetap dijaga,” kata Andhika.

Executive Vice President Perencanaan Sistem Ketenagalistrikan PLN Warsono mengatakan, Kementerian ESDM akan membuat aturan baru yang mendukung pengembangan PLTS atap. Pihaknya pun akan mendukung kebijakan tersebut.

Baca juga: Kuota PLTS Atap Perlu Dihitung Cermat

”Salah satunya adalah dengan *metering* di sisi pelanggan sehingga nantinya bisa diagregat, berapa kWh (kilowatt jam) di *rooftop* ini. Ini yang selama ini barangkali belum teragregat. Nantinya, berapa kontribusi terhadap EBT (energi baru terbarukan) akan bisa dihitung perkembangannya dari waktu ke waktu,” ujarnya.

Sebelumnya, dalam rapat dengar pendapat dengan Komisi VI DPR RI pada 28 November 2022, Direktur Utama PLN Darmawan Prasodjo menuturkan, PLN sedang mengalami kelebihan pasokan daya listrik (*oversupply*). Pihaknya mendukung penuh pengembangan energi terbarukan. Namun, selama masih *oversupply*, titik tengahnya ialah agar pemasangan PLTS atap sesuai dengan kapasitas konsumsi pelanggan (Kompas.id, 13/1/2023).

Saat ini, Kementerian ESDM sedang dalam proses merevisi Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2021 tentang PLTS Atap yang

Baca di Aplikasi

dalam rangka percepatan implementasi PLTS atap serta memberi kesempatan lebih luas bagi masyarakat dalam memasangnya.

Editor: **ARIS PRASETYO**

Bagikan

ekonomi energi terbarukan pln plts panel surya utama plts atap berita pembangkit listrik tenaga surya aktual

Komentar Pembaca

Artikel Terkait

Baca di Aplikasi



20 Oktober 2022



Panel Surya di Kampus Nehru, Jalan Panjang Energi Baru

19 Desember 2022



Riset Baterai di Indonesia Terus Berkembang

14 Desember 2022



Mengejar Matahari di Rayong

24 Maret 2023



Mandiri Energi di Pelosok Negeri

22 Maret 2023

Terpopuler

Lainnya Dalam Ekonomi

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA



19 Oktober 2022



Banyak Tokoh Oligarki Menjelang Lahirnya Indonesia

3 jam lalu

2 Maret 2023



Perlu Strategi untuk Dongkrak Produksi dan Ekspor Udang

7 jam lalu

Iklan



Kecelakaan Berulang di Aset Pertamina, Diperlukan Evaluasi Menyeluruh

17 jam lalu



Ledakan di Kilang Pertamina Dumai, Sebagian Area Stop Operasi

2 April 2023

Baca di Aplikasi





Jam Perdagangan BEI Dinormalkan Kembali

1 April 2023

Terb

Sida... Perdana Haris Azhar dan Fatia Dalam Kasus Dugaan Pencemaran Nama Baik

8 menit lalu

Harga Minyak Melonjak, Pengendalian Inflasi Semakin Rumit

19 menit lalu

Rusia Dekatkan Rudal ke Perbatasan NATO

22 menit lalu

Iklan

Hadapi Lebaran, BI Siapkan Uang Tunai Rp 195 Triliun

29 menit lalu

Kuliah Pagi Pengaruhi Kualitas Tidur dan Performa Akademik Mahasiswa

1 jam lalu

LAYANAN PELANGGAN

KOMPAS KRING
+6221 2567 6000

EMAIL
hotline@kompas.id

WHATSAPP
+62812 900 50 800

JAM KERJA
06.00 - 16.00 WIB

Harian Kompas adalah surat kabar Indonesia yang berkantor pusat di Jakarta. Kompas diterbitkan oleh PT Kompas Media Nusantara yang merupakan bagian dari kelompok usaha Kompas Gramedia (KG), yang didirikan oleh P.K. Ojong (almarhum) dan Jakob Oetama sejak 28 Juni 1965.

Mengusung semboyan "Amanat Hati Nurani Rakyat", Kompas dikenal sebagai sumber informasi tepercaya, akurat, dan mendalam.

@hariankompas
@hariankompas
@hariankompas
Harian Kompas

KANTOR REDAKSI

Gedung Kompas Gramedia
Jalan Palmerah Selatan 26-28,

Baca di Aplikasi

+6221 5347 720
+6221 5347 730
+6221 530 2200

KANTOR IKLAN

Menara Kompas Lantai 2
Jalan Palmerah Selatan 21
Jakarta Pusat, DKI Jakarta,
Indonesia 10270

+6221 8062 6699

PRODUK

ePaper
Kompas.Id
Interaktif
Kompas Data

BISNIS

Advertorial
Gerai
Event
Klasika
Tarif
Klasiloka

TENTANG

Profil Perusahaan
Sejarah
Organisasi

LAINNYA

Bantuan

© PT Kompas Media Nusantara

Organisasi | Tanya Jawab | Hubungi Kami | Sidik Gangguan | Pedoman Media Siber | Syarat & Ketentuan

Karier | Iklan | Berlangganan

Baca di Aplikasi

Iklan

ENERGI TERBARUKAN

Pengembangan Energi Terbarukan Diberi Insentif

Pemerintah menerbitkan aturan baru tentang percepatan pengembangan energi terbarukan untuk listrik. Petunjuk tenis, terutama tentang insentif, dinantikan.

Audio Berita 5 menit

Oleh **ADITYA PUTRA PERDANA**
16 September 2022 06:30 WIB · 3 menit baca



KOMPAS/WAWAN H PRABOWO (WAK)

Deretan kincir angin Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) menghiasi puncak bukit di Dusun Tanarara, Desa Maubokul, Kecamatan Pandawai, Sumba Timur, Nusa Tenggara Timur, Rabu (3/2/2021). Sebagian besar dari 48 kincir angin yang dibangun pada 2013 lalu itu hingga kini masih berfungsi dengan baik dalam memenuhi kebutuhan listrik masyarakat sekitar.

JAKARTA, KOMPAS — Pemerintah memberikan sejumlah insentif kepada badan usaha dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Insentif yang tertuang dalam [illegible] tersebut diharapkan dapat

Baca di Aplikasi

petunjuk teknis dari aturan tersebut.

Aturan yang dimaksud adalah Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik. Perpres tersebut diundangkan pada 13 September 2022. Ketentuan mengenai insentif tertuang dalam Bab V tentang Dukungan Pemerintah pada Pasal 22. Insentif yang diberikan pemerintah dalam bentuk fiskal dan nonfiskal.

Insentif fiskal yang dimaksud adalah pembebasan bea masuk impor, fasilitas pembiayaan lewat penjaminan melalui BUMN yang ditugaskan negara, dan fasilitas perpajakan. Sementara fasilitas nonfiskal dalam Pasal 22 tersebut diberikan oleh pemerintah pusat dan pemerintah daerah sesuai aturan yang berlaku. Salah satu bentuk dukungan, baik di pusat maupun daerah, adalah agar perizinan pengembangan energi terbarukan dipermudah.

Direktur Eksekutif ReforMiner Institute Komaidi Notonegoro saat dihubungi, Kamis (15/9/2022), di Jakarta, mengatakan, terbitnya Perpres tersebut menjadi hal yang sangat baik. Saat ini yang utama adalah perihal implementasinya.

Baca juga: Industri Memainkan Peranan Penting dalam Transisi Energi

Ia mengatakan, intervensi dari pemerintah atau subsidi akan tetap diperlukan. Mekanisme yang diambil pemerintah untuk menutup hal tersebut bisa bermacam-macam, salah satunya pengurangan pajak bagi PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). Dengan demikian, pemerintah tidak harus mengeluarkan langsung dari APBN. "Kalau tidak ada intervensi, tidak akan jalan," ucapnya.

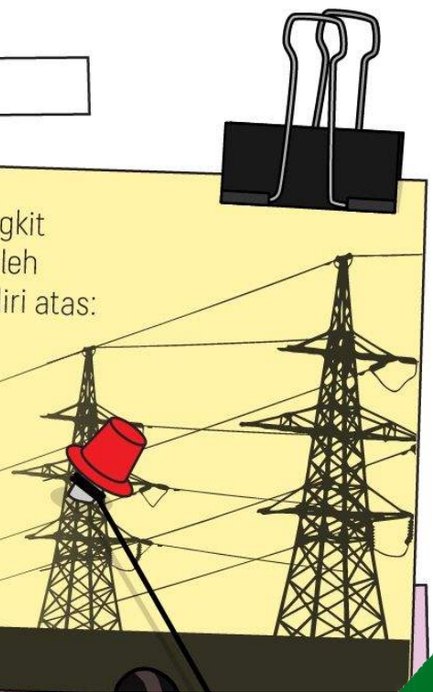
Beberapa Poin Penting dalam Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022

Bab II tentang Harga Pembelian Tenaga Listrik

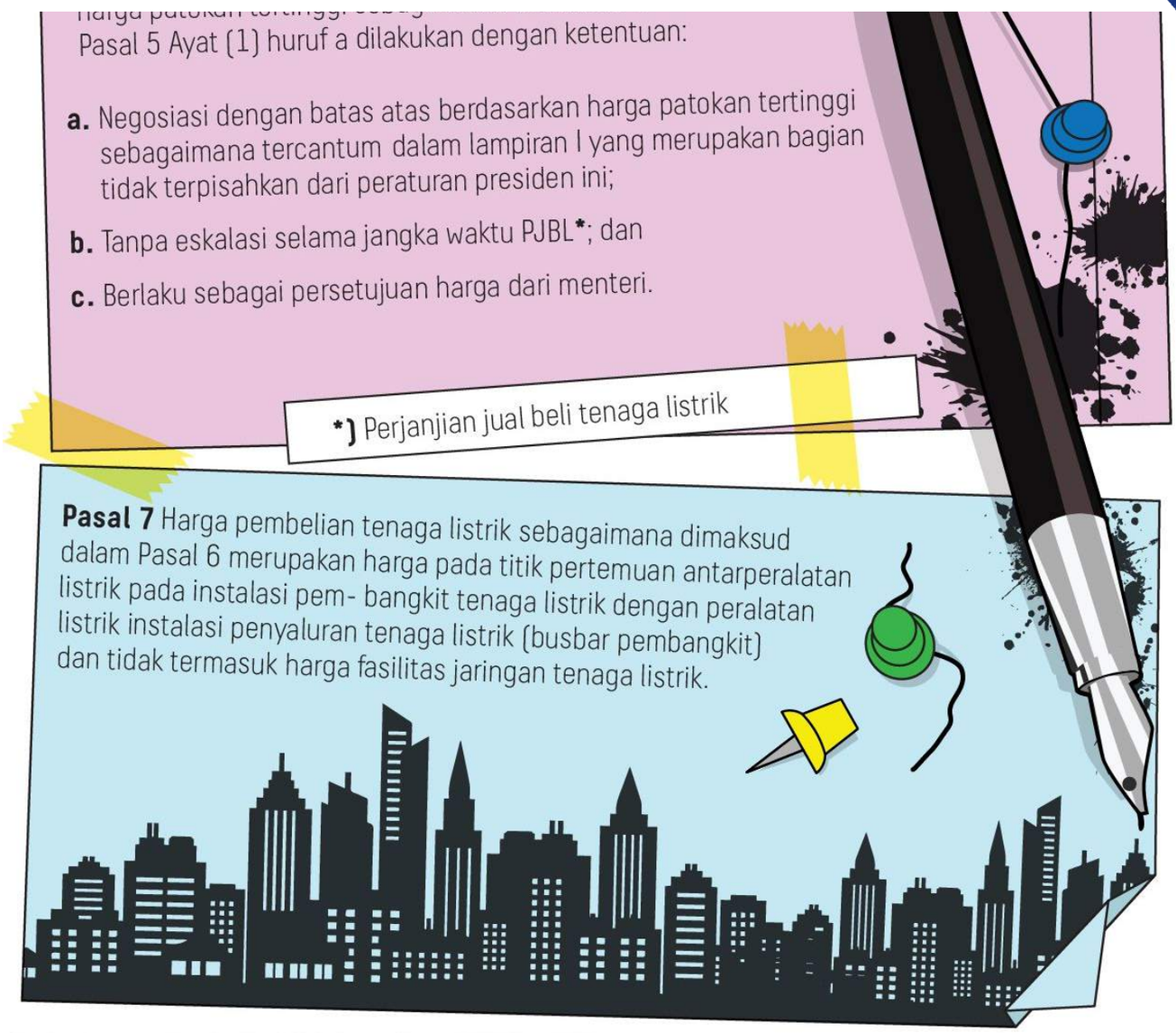
Pasal 5 Ayat (1) Harga pembelian tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik yang memanfaatkan sumber energi terbarukan oleh PT PLN (Persero) sebagai dimaksud dalam Pasal 4 Ayat (2) terdiri atas:

a. Harga patokan tertinggi sebagaimana tercantum dalam lampiran I yang merupakan bagian tidak terpisah dari peraturan presiden ini; atau

b. Harga kesepakatan, dengan atau tanpa memperhitungkan faktor lokasi (F).



Baca di Aplikasi



Sumber: Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik

INFOGRAFIK: HANS

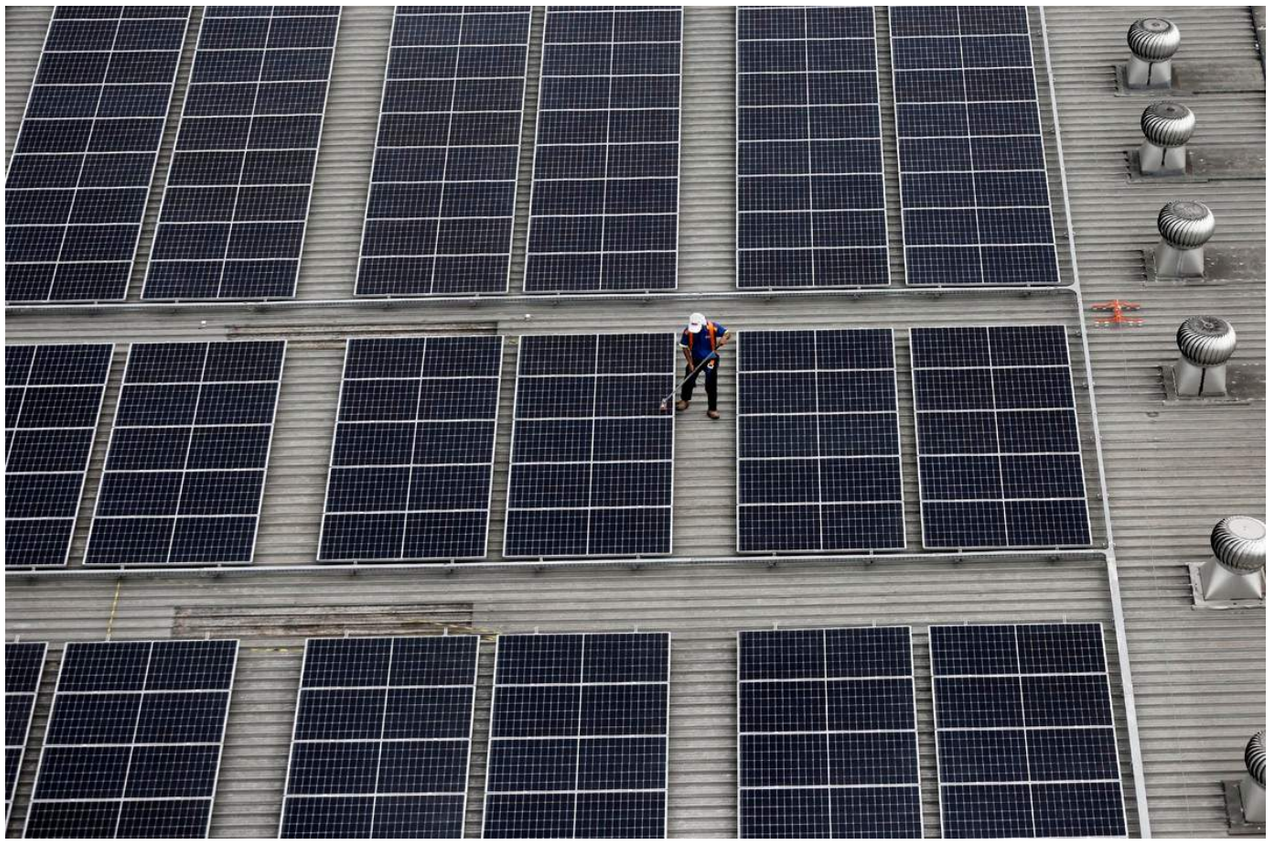
Meski membawa harapan dan sebagai pintu masuk, lanjut Komaidi, implementasi tidak akan sederhana karena dibutuhkan aturan turunan dan petunjuk teknisnya. Oleh karena itu, implementasi dari perpres perlu dipastikan.

Wakil Ketua Komisi VII DPR dari Fraksi Partai Amanat Nasional Eddy Soeparno menambahkan, payung hukum merupakan salah satu bentuk dukungan pemerintah terhadap pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Selain itu, diperlukan juga insentif agar akselerasi dapat terwujud.

”Pasalnya, Indonesia memiliki dua target, yakni bauran energi terbarukan 23 persen pada 2025 dan melepaskan ketergantungan dari energi berbasis fosil. Biaya pengembangan energi terbarukan membutuhkan biaya yang tinggi, terlebih terkait pengembangan infrastrukturnya, sehingga akan berdampak pada harga jual listrik. Implementasi insentif ini penting,” kata Eddy.

Baca juga: Investasi dan Duk n Energi Bersih Harus

Baca di Aplikasi



KOMPAS/TOTOK WIJAYANTO (TOK)

Petugas membersihkan panel surya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di atas atap pabrik terigu milik PT Indofood Sukses Makmur Tbk Divisi Bogasari, Cibitung, Bekasi, Jawa Barat, Jumat (9/9/2022). PLTS yang baru mulai dioperasikan itu mempunyai kapasitas sebesar 1 megawatt-peak dan digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik pabrik tersebut.

Ruang negosiasi

Anggota Komisi VII DPR dari Fraksi Partai Keadilan Sejahtera, Rofik Hananto, menambahkan, yang menjadi kendala selama ini tidak hanya soal harga, tetapi juga proses tender dan negosiasi harga. Dengan penetapan harga batas atas, masih ada ruang negosiasi antara PLN dan pengembang energi terbarukan. Biasanya, dari yang sudah-sudah, negosiasi berlangsung lama. Beda halnya jika, misalnya, harga telah ditetapkan (fixed).

Ia menambahkan, soal tender ada perbedaan di antara jenis energi terbarukan yang satu dan lain, misalnya pada solar (panel surya) yang relatif tak memerlukan studi awal besar, sementara lainnya berbeda. ”Aspek-aspek teknis harus diperhatikan dalam mengimplementasikan perpres ini jika ingin mempercepat pengembangan energi terbarukan,” ucapnya.

Pelaksana Tugas Direktur Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Dadan Kusdiana, saat dikonfirmasi terkait upaya pemerintah agar implementasi Perpres No 112/2022 berjalan, hingga Kamis malam, belum merespons.

Sementara itu, Felix Frederi[illegible]agian Business

Baca di Aplikasi

pengembangan listrik panas bumi, di sela-sela International Geothermal Convention & Exhibition (IIGCE) di Jakarta, Kamis, menyambut positif terbitnya perpres tersebut.

Selama ini pengembangan lebih banyak di wilayah timur Indonesia yang secara keekonomian lebih menguntungkan. ”Sekarang, sederhananya disetarakan dan bisa memberi ruang eksplorasi bagi kami, terutama untuk Sumatera yang memiliki banyak sumber panas bumi. Sebelumnya kami lebih fokus di timur,” ujarnya.

Baca juga: Risiko Pasar yang Fluktuatif Jadi Perhatian dalam G20 Transisi Energi

Editor: **ARIS PRASETYO**

Bagikan

ekonomi energi energi terbarukan perpres peraturan presiden energi baru terbarukan fenomena berita perpres 112 tahun 2022 harga ebt keekonomian ebt

Komentar Pembaca

Artikel Terkait

Baca di Aplikasi



26 Maret 2023



Pengembangan Energi Terbarukan Perlu Diakselerasi

24 Maret 2023



Lewat Perpres, Daerah Diberi Kewenangan Kelola Energi Terbarukan

22 Februari 2023



Pengembangan Energi Terbarukan Perlu Langkah Terobosan

25 November 2022



Sinergitas Kunci Pengembangan Industri Hijau di Indonesia

20 Desember 2022

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Terpopuler

Baca di Aplikasi

Lainnya Dalam Ekonomi







Jam Perdagangan BEI Dinormalkan Kembali

1 April 2023

Terbaru

Iklan

Harga Minyak Melonjak, Pengendalian Inflasi Semakin Rumit

17 menit lalu

Rusia Dekatkan Rudal ke Perbatasan NATO

20 menit lalu

Hadapi Lebaran, BI Siapkan Uang Tunai Rp 195 Triliun

27 menit lalu

Kuliah Pagi Pengaruhi Kualitas Tidur dan Performa Akademik Mahasiswa

1 jam lalu

Haris Azhar dan Fatia Jalani Sidang Pencemaran Nama Luhut Pandjaitan

1 jam lalu

LAYANAN PELANGGAN

KOMPAS KRING
+6221 2567 6000

EMAIL
hotline@kompas.id

WHATSAPP
+62812 900 50 800

JAM KERJA
06.00 - 16.00 WIB

Harian Kompas adalah surat kabar Indonesia yang berkantor pusat di Jakarta. Kompas diterbitkan oleh PT Kompas Media Nusantara yang merupakan bagian dari kelompok usaha Kompas Gramedia (KG), yang didirikan oleh P.K. Ojong (almarhum) dan Jakob Oetama sejak 28 Juni 1965.

Baca di Aplikasi

...usung semboyan "Amanat Hati Nurani Rakyat", Kompas dikenal sebagai sumber informasi tepercaya, akurat, dan mendalam.

@hariankompas
Harian Kompas

KANTOR REDAKSI

Gedung Kompas Gramedia
Jalan Palmerah Selatan 26-28,
DKI Jakarta, Indonesia
10270

+6221 5347 710
+6221 5347 720
+6221 5347 730
+6221 530 2200

KANTOR IKLAN

Menara Kompas Lantai 2
Jalan Palmerah Selatan 21
Jakarta Pusat, DKI Jakarta,
Indonesia 10270

+6221 8062 6699

PRODUK

ePaper
Kompas.Id
Interaktif
Kompas Data

BISNIS

Advertorial
Gerai
Event
Klasika
Tarif
Klasiloka

TENTANG

Profil Perusahaan
Sejarah
Organisasi

LAINNYA

Bantuan

© PT Kompas Media Nusantara

PERS NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Baca di Aplikasi

Penyimpanan Energi, Kunci Menuju Integrasi Energi Terbarukan di Indonesia - Koran-Jakarta.com

Koran Jakarta

Ahmad Amiruddin, *Monash University*

Meski sempat tersendat karena pandemik COVID-19, pertumbuhan listrik di Indonesia diprediksi tetap akan naik dalam 10 tahun terakhir pada angka 4,9% sesuai dengan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) Perusahaan Listrik Negara (PLN) 2021-2030.

Selain harus memenuhi kebutuhan listrik yang meningkat, Indonesia juga dihadapkan pada target pencapaian porsi energi terbarukan 23% pada 2025 dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan (RUKN) 2019-2038. Saat ini capaiannya masih pada kisaran 11,2%.

Kabar baiknya adalah potensi energi terbarukan yang kita miliki lebih dari cukup untuk memenuhi kebutuhan pengembangan energi terbarukan bahkan hingga 100% pada tahun 2050.

Masalahnya, pembangunan pembangkit energi terbarukan khususnya yang berbasis angin dan surya, tidak serta merta menyelesaikan target penetrasi energi terbarukan. Sebab, dua jenis energi ini sifatnya variatif dan pasokannya tak menentu.

Hasil wawancara saya dengan PLN pada 2017 terkait operasional Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Sidrap, Sulawesi Selatan, menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata hingga 74%, bahkan ada yang mencapai 1027%, antara prediksi dan realisasi produksi dari PLTB. Sebuah gap yang sangat besar.

Kuncinya: Penyimpanan Energi

Agar kapasitas listrik dari energi terbarukan bertambah, Indonesia membutuhkan sistem kelistrikan andal dan fleksibel untuk mengikuti perubahan pasokan sekaligus mengantisipasi perubahan beban.

Selain dihadapkan pada keharusan meningkatkan fleksibilitas untuk dapat menyerap energi terbarukan, sistem kelistrikan di Jawa-Bali juga cukup rentan terhadap gangguan besar. Misalnya kejadian pemadaman mendadak di Jawa bagian barat pada 4 Agustus 2019.

Untuk meningkatkan fleksibilitas dan keandalan sistem kelistrikan, maka pilihan yang paling masuk akal adalah fasilitas baterai energi atau disebut juga *energy storage*. Baterai ini juga dapat bekerja sebagai pembangkit awal (*black start*) saat pemadaman listrik mendadak seperti pada kasus di Jakarta. Fungsi lainnya adalah mencegah mati listrik dengan mendukung sistem dalam periode genting sebelum padam total.

Baterai energi ini telah digunakan di banyak negara termasuk Amerika Serikat, Australia, Inggris, Jerman, Korea, Jepang, Cina, dan Thailand. Satu studi menunjukkan bahwa *energy storage* di Australia berhasil mencegah terjadinya listrik padam mendadak pada 25 Agustus 2018.

Studi lainnya menunjukkan bahwa penyimpanan energi di Australia dapat menurunkan biaya produksi listrik hingga 13-22%, mengurangi kapasitas pembangkit hingga 22%, dan mencegah energi yang terbuang hingga 76%.

Indonesia saat ini belum memiliki *energy storage*. Proyek fasilitas penyimpanan energi pertama yang berlokasi di Cisokan, Bandung Barat, masih dalam masa pembangunan. *Energy storage* yang dapat digunakan bisa menyesuaikan dengan potensi alam, potensi bahan baku, dan karakteristik yang saling melengkapi.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

si penyimpan energi ini antara lain Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) teknologi *pumped storage* atau PHS, baterai lithium-ion (*Lithium-Ion battery*. LIB), dan baterai dinamis (*Redox Flow Battery*,RFB).

PLTA Pumped-Storage

PLTA pumped-storage (PHS) adalah teknologi *energy storage* paling tua dan paling banyak proporsinya sekarang ini. Tercatat 96% dari 176 GW penyimpanan energi secara global pada 2017 adalah jenis ini.

Penyimpan energi ini memiliki karakteristik yang mirip dengan PLTA biasa, dan dapat merespons kebutuhan pembangkitan listrik yang cepat - dalam hitungan menit. Efisiensinya mencapai 70-80%, dengan kapasitas yang cukup besar, dari 1.000-15.000 MW.

Indonesia sendiri memiliki potensi lokasi yang dapat digunakan sebagai *pumped-storage*. Sebuah studi pada 2019 menghitung potensi *pumped-storage* di Indonesia dapat mencapai 871 TWh di 26.000 lokasi. Namun hipotesis ini perlu penelitian lebih lanjut mengingat pembangunan *pumped-storage* tidak selamanya mudah.

Indonesia berencana membangun beberapa *pumped storage* dalam 10 tahun ke depan. Perencanaan dan pembangunan *pumped-storage* Cisokan, Bandung Barat, kapasitas 1.040 MW di Indonesia telah dimulai pada 2010. Awalnya proyek ini akan ditargetkan beroperasi pada 2014, namun mengalami berbagai kendala.

Dalam rencana terbaru baru penyimpanan energi ini akan beroperasi pada 2025. Artinya terjadi kemunduran paling tidak 11 tahun dari perencanaan awal. Adapun *pumped storage* lainnya masih tahap perencanaan.

Karena itu saya juga mengusulkan alternatif penyimpanan energi yang lebih cepat pembangunannya, kepadatan energi yang tinggi, tidak tergantung lokasi dan pertimbangan biaya. Jenis tersebut adalah baterai litium-ion (*Lithium-Ion battery*) dan baterai dinamis (*Redox Flow Battery*).

Baterai Lithium-ion

Baterai litium-ion telah menjadi bagian integral dari perkembangan industri elektronik dan telepon seluler. Baterai ini juga pendorong utama perkembangan kendaraan listrik.

Pada masa depan baterai ini dianggap sebagai lokomotif dan kunci dari energi yang berkelanjutan sebagai media penyimpan dengan kepadatan energi yang tinggi. Harganya pun terus menurun secara signifikan dari tahun ke tahun hingga 89% dalam 10 tahun terakhir.

Kekurangan utama dari baterai ini adalah biaya instalasi yang relatif tinggi. Persyaratan sistem manajemen baterai juga ketat. Ada pula kekhawatiran terjadi kebakaran yang dipicu reaksi internal dari baterai.

Sebagai pengekspor nikel terbesar di dunia, Indonesia baru memulai pendirian [Indonesia Battery Corporation (IBC)] pada Maret 2021. Indonesia memiliki peluang untuk mengembangkan baterai ini dengan mengarahkan pasarnya tidak hanya menyasar kendaraan listrik tapi untuk penyimpanan energi.

Menurut rencana PLN 2021-2030, selain *pumped storage* akan dibangun juga jenis baterai lain dengan kapasitas 300 MW pada 2030. Jenis teknologi baterai yang akan dibangun belum ditentukan, tapi baterai litium-ion adalah pilihan yang perlu diprioritaskan.

Redox Flow Battery (RFB)

FB adalah alternatif lain jenis penyimpanan energi yang juga dapat dikembangkan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

terai ini cocok untuk penggunaan yang sifatnya tak bergerak, sehingga lebih aplikatif untuk penyimpanan energi dibanding penggunaan untuk baterai yang bergerak (untuk telepon seluler, laptop atau kendaraan listrik) yang menjadi kelebihan dari baterai litium-ion.

Tak seperti baterai konvensional yang menggunakan material elektroda untuk menyimpan energi, RFB memakai cairan elektrolit yang disuplai dari tangki sebagai media penyimpanan. Konstruksi dari baterai ini memerlukan pompa dan tangki untuk menyimpan elektolit.

Pengontrolan daya dan energinya dapat terpisah. Untuk mengontrol energinya dengan menambahkan volume tangki, sementara untuk daya dilakukan dengan mengontrol aliran elektrolit.

Untuk dapat meningkatkan penetrasi energi terbarukan di Indonesia, pemerintah perlu melakukan langkah pendukung yang memungkinkan agar energi terbarukan dapat terintegrasi dengan mulus dengan sistem kelistrikan.

Penyimpanan energi menjadi pilihan prioritas mengingat karakteristiknya yang luas. Pilihan penyimpanan energi yang banyak dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem kelistrikan di Indonesia.

Ahmad Amiruddin, PhD Candidate and Teaching Assistant, *Monash University*

Artikel ini terbit pertama kali di The Conversation. Baca artikel sumber.

Penulis : -

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pertamina Buka Kompetisi Program PFsains | SWA.co.id

Silawati



Kompetisi PFsains 2023 bertema “Inovasi Energi Terbarukan untuk Mendukung Kemandirian Ekonomi Masyarakat”. (Foto: Pertamina)

Untuk mendukung target nol emisi karbon dan bauran energi baru dan terbarukan, Pertamina melalui Pertamina Foundation membuka pendaftaran kompetisi PFsains 2023 bertema “Inovasi Energi Terbarukan untuk Mendukung Kemandirian Ekonomi Masyarakat”. PFsains mengajak mahasiwa/praktisi/maupun akademisi untuk mengembangkan proyek inovasi energi terbarukan mereka bersama Pertamina.

Program PFsains merupakan salah satu dari 5 (lima) program unggulan PFseries Pertamina Foundation dan menjadi ajang kompetisi karya ilmiah hasil penelitian atau praktik-praktik pengembangan energi ramah lingkungan. Tahun ini, PFsains hadir dengan dua kategori yang bisa diikuti, yaitu Ideation dan Implementation. Kategori Ideation merupakan kategori hasil penelitian berupa laporan akhir yang punya potensi untuk diimplementasikan. Sementara Implementation bisa diikuti oleh peserta yang hasil penelitiannya sudah memiliki lokasi dan siap untuk diimplementasikan dalam waktu dekat.

Executive Advisor to Director Pertamina New & Renewable Energy (PNRE) Nareswari Sumarsono mengatakan misi PFsains sejalan dengan PNRE dan mampu mendorong inovator EBT. “PFsains ini sejalan dengan misi PNRE yaitu mendorong sekaligus mengembangkan potensi energi baru terbarukan Indonesia. Untuk itu, saya mendukung kehadiran PFsains karena saya yakin di Indonesia banyak ide-ide menarik dan inovatif yang membutuhkan wadah untuk diimplementasikan".

Proposal terbaik PFsains akan mendapatkan total pendanaan proyek hingga miliaran rupiah. Tidak hanya pendanaan, pemenang PFsains akan mendapatkan coaching dan mentoring dari Research and Technology Innovation Pertamina, Pertamina New Ventures, PERTIWI, dan lembaga terkait EBT lainnya.

“Bersama Pertamina Foundation, Pertamina New Ventures akan memberikan ruang untuk para inovator yang punya ide, kreasi, dan inovasi guna menjamin sustainability energy di Indonesia. Dari New Ventures akan menyambut yang terbaik untuk dikomersialisasikan,” ungkap Vice President Pertamina New Ventures Indira Pratyaksa.

nfaat lainnya adalah matchmaking fund, di mana mempertemukan pemenang dengan pendonor

n dan potensi replikasi inovasi energi dari Pertamina Grup. Branding dan publikasi melalui website, media massa, dan media sosial juga akan diperoleh pemenang PFsains.

”PFsains menjadi bentuk dukungan terhadap komitmen Pertamina dalam transisi energi dan dekarbonisasi. Pada program ini, kami mencari riset dan proyek inovasi energi yang mampu menyelesaikan permasalahan energi masyarakat sekitar, bersifat berkelanjutan dan membawa kemandirian serta mengedepankan HSSE (Health, Safety, Security and Environment). PFsains menggandeng Pertamina Grup untuk nantinya inovasi mereka tidak hanya dikembangkan tapi juga dikomersialisasikan,” ujar Presiden Direktur Pertamina Foundation Agus Mashud S. Asngari

Selama tiga tahun berjalan, program PFsains telah menghadirkan 20 proyek pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) dengan variasi inovasi, mulai dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), pembangkit listrik arus laut (PLTAL), serta hybrid. Total proyek inovasi PFsains telah menghasilkan energi dari PLTS sebesar 31.200 watt-peak, hybrid 3.200 watt-peak, dan menerangi lebih dari 700 kepala keluarga.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PLTS Atap, Indonesia Perlu Belajar dari Pergulatan Vietnam

Farid Firdaus, Farid Firdaus

Bisnis.com, JAKARTA - Implementasi suplai listrik dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) Atap masih mengalami sejumlah hambatan. Indonesia dinilai perlu berlajar dari pergulatan Vietnam menghadapi kendala serupa.

Pengamat Kebijakan Publik Agus Pambagio mengatakan kesiapan Indonesia dalam implementasi PLTS Atap, tergantung peran para pelaku usahanya. Ia berkesimpulan saat ini Indonesia belum siap terkait dengan implementasi PLTS Atap.

“Pengembangan PLTS Atap ini kan juga belum jelas strateginya antara yang *solar sell*, di atas atap, atau secara luas. Kemudian juga belum berbicara *mau off grid* atau *on grid*,” jelasnya di sela-sela diskusi publik di Jakarta, Selasa (21/3/2023).

Diskusi bertajuk *Energi Surya Indonesia, Mau Dibawa Kemana?* itu membahas soal pengembangan EBT sebagai sumber energi listrik dan ketersediaan infrastruktur kelistrikan yang memiliki peranan penting dan sangat krusial. Saat ini peningkatan bauran energi baru terbarukan khususnya melalui PLTS Atap ini masih menghadapi persoalan yang cukup fundamental.

Menurut Agus, Vietnam sebagai salah satu negara di Asia Tenggara yang gencar memakai PLTS atap akhirnya tumbang karena regulasinya sendiri.

Diketahui, selama kurun waktu 1 tahun yaitu periode 2019–2020, terjadi penambahan kapasitas hampir 8 GW untuk PV Rooftop dan hampir 8 GW untuk solar farm. Namun, hal tersebut meninggalkan persoalan baru bagi sistem kelistrikan Vietnam, di mana akhirnya pelanggan, investor dan Vietnam Electricity/EVN selaku *offtaker* harus menanggung pil pahit itu.

Baca Juga

Dipersulit Pasang PLTS Atap, Pengusaha hingga Konsumen Siap Ngadu ke Jokowi

Maju Mundur Pengembang Properti Terapkan PLTS Atap di Proyek Residensial

Sektor Komersial dan Industrial Mulai Lirik PLTS Atap

Intermintensi atau ketidakandalan cuaca diakui menjadi salah satu kelemahan pembangkitan listrik dari tenaga surya karena pemasang/pengusaha PLTS tidak bisa mengatur iradiasi matahari.

Intermitensi sebenarnya menggambarkan terputus-putusnya produksi listrik pembangkit listrik surya maupun angin yang sangat bergantung pada faktor cuaca. Dengan demikian, kondisi ini mengganggu keandalan listrik sehingga kualitas layanan jadi tidak maksimal.

“Masih banyak kendala terkait dengan implementasinya,” kata Erlangga Bayu dari perwakilan Asosiasi Pembangkit Surya Atap di Bali.

Kendala tersebut, paparnya, juga terkait dengan sejumlah kebijakan, baik di daerah maupun tingkat nasional. Saat ini diketahui, masih dilakukan harmonisasi atas kebijakan tersebut karena dianggap belum matang bagi pemerintah dan pengusaha.

Saat ini, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tengah merampungkan revisi Peraturan Menteri (Permen) ESDM Nomor 26 tahun 2021 tentang Sistem PLTS Atap yang Terhubung Dengan Jaringan Pemegang IUPTLU.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

visi itu diharapkan dapat menjadi jalan tengah antara kepentingan PLN dengan industri dan masyarakat yang berinisiatif untuk meningkatkan pemasangan panel surya mendatang.

Cek Berita dan Artikel yang lain di **Google News**

Simak Video Pilihan di Bawah Ini :

- Konten Premium Nikmati Konten Premium Untuk Informasi Yang Lebih Dalam

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

roduksi Energi Terbarukan di Seluruh Dunia Meningkat Signifikan pada 2022

AFP

Produksi energi terbarukan mengalami peningkatan yang belum pernah terjadi sebelumnya pada tahun 2022 hingga hampir 10 persen di seluruh dunia, ungkap Badan Energi Terbarukan Internasional pada Selasa (21/3). Meski demikian, lembaga itu memperingatkan bahwa angka itu belum cukup untuk membatasi perubahan iklim.

Tahun lalu, 83 persen kapasitas pembangkit listrik baru berasal dari sumber terbarukan, kata badan IRENA saat mengumumkan peningkatan kapasitas energi terbarukan sebesar 9,6 persen secara global.

Tenaga surya, terutama fotovoltaik, dan angin masih menyumbang 90 persen dari konstruksi baru tersebut. Meski lembaga itu mencatat perlambatan sektor angin jika dibandingkan dengan dua tahun sebelumnya, kapasitas produksi tenaga angin masih tetap meningkat sebesar 9 persen, sementara tenaga surya naik sebesar 22 persen.

Pembangkit listrik tenaga air masih menjadi sumber terbesar sektor itu, terhitung mencapai 37 persen dari total kapasitas dan menghasilkan 1.256 gigawatt, menurut laporan Renewable Capacity Statistics 2023.

Total kapasitas produksi listrik, termasuk dari seluruh sumber energi terbarukan, mencapai 3.372 GW pada akhir tahun 2022.

“Berlanjutnya pertumbuhan yang mencapai rekor ini menunjukkan ketahanan energi terbarukan,” kata direktur jenderal IRENA, Francesco La Camera.

“Namun penambahan kapasitas energi terbarukkan tahunan harus tumbuh tiga kali lipat dari tingkat saat ini pada 2030 nanti, jika kita ingin tetap berada pada jalur untuk dapat membatasi pemanasan global hingga 1,5 derajat Celcius,” ungkapnya.

“Karena permintaan energi diperkirakan akan meningkat di banyak wilayah di dunia, transisi energi membutuhkan langkah perubahan yang memberikan perubahan strategis di luar dekarbonisasi sisi pasokan,” katanya.

Asia menjadi wilayah geografis yang mengalami pertumbuhan fasilitas energi terbarukan terbesar tahun lalu.

China menjadi kontributor utama, dengan kapasitas energi terbarukan baru sebesar 141 GW, hampir separuh dari total kapasitas baru sebesar 295 GW secara global.

Eropa dan Amerika Utara masing-masing naik 57,3 GW dan 29,1 GW.

Di Afrika, peningkatan itu mencapai 2,7 GW.

Sementara Timur Tengah mengalami peningkatan produksi listrik baru sebesar 3,2 GW, dengan peningkatan yang memecahkan rekor di kawasan, yaitu sebesar 12,8 persen. *[rd/jm]*

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

INDUSTRI / ENERGI

Ramai-Ramai Mencuil Peluang Bisnis di Energi Baru Terbarukan

Minggu, 19 Maret 2023 / 21:38 WIB

INDEKS BERITA

Adaro Power mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap dan terapung di area operasional pelabuhan/terminal khusus batubara Adaro di Kelanis, Kalimantan Tengah.

Reporter: **Muhammad Julian** | Editor: **Noverius Laoli**

KONTAN.CO.ID - JAKARTA. Grup Adaro memperkuat portofolio bisnis di bidang energi terbarukan. Lewat PT Adaro Clean Energy Indonesia (Adaro Green), Grup Adaro berencana membangun pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di Provinsi Kepulauan Riau.

Presiden Direktur PT Adaro Power, Dharma Djojonegoro mengatakan bahwa PLTS tersebut akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi baru dan terbarukan (EBT) di dalam negeri dan kawasan regional.

Pada akhirnya, Adaro akan menjadi *independent power producer* (IPP) dengan PLTS tersebut. Dharma tidak merinci jadwal proyek atau jumlah kapasitas PLTS yang direncanakan terpasang.

"Sesuai arahan pemerintah, kami akan menggunakan permintaan yang tinggi dari Singapura untuk EBT yang tidak intermiten dengan me industri rantai pasok solar PV," kata Dharma kepada Kontan.co.id Minggu (19/3).



Baca Juga: **Anak Usaha TOBA, PT Energi Baru TBS Tandatangani M Pengembangan Energi Terbarukan**

Saat ini, pemerintah sedang menjalin kerja sama dengan Pemerinta Singapura untuk mengembangkan EBT. Upaya ini telah membuahka penandatanganan nota kesepahaman antara Kementerian Koordinator dang Kemaritiman dan Investasi (Kemenko Marves) dengan Kantor ana Menteri Singapura.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

...ota kesepahaman tersebut mencakup kerja sama investasi pengembangan industri dan kapabilitas manufaktur EBT di Indonesia dari hulu ke hilir, serta perdagangan listrik lintas batas antara kedua negara.

Adaro Green, PT Medco Power Indonesia (Medco Power), dan PT Energi Baru TBS (Energi Baru) juga telah menandatangani nota kesepahaman pengembangan energi terbarukan (EBT) serta rantai pasok Solar Photovoltaic (PV) dan Sistem Penyimpanan Energi Baterai (SPEB) di Indonesia dengan beberapa pabrikan manufaktur PV dan baterai (OEM/Original Equipment Manufacturer) pada Kamis (16/3).

Beberapa pabrikan tersebut termasuk PT Utomo Juragan Atap Surya Indonesia, LONGi Solar Technology Co., Ltd, Jiangsu Seraphim Solar System Co., Ltd, Znshine PV-Tech Co., Ltd, Sungrow Power Supply Co., Ltd, PT Huawei Tech Investment, dan REPT BATTERO Energy Co.,Ltd.

Baca Juga: **Menteri ESDM Tegaskan Tak Ada Penyesuaian Harga Gas Khusus untuk 7 Sektor Industri**

“Saat ini kami sedang fokus bekerja sama erat dengan supplier solar PV untuk mendetailkan rencana pembangunan rantai pasok industri panel surya nasional sesuai dengan harapan pemerintah,” ujar Dharma.

Adaro bukan satu-satunya perusahaan batubara yang melirik sektor energi terbarukan. PT Indika Energy Tbk (INDY) juga merancang sejumlah rencana proyek pembangkitan energi surya pada tahun 2023 melalui anak usahanya, Empat Mitra Indika Tenaga Surya (EMITS).

Mayoritas adalah proyek-proyek energi surya di luar Pulau Jawa, antara lain yaitu proyek Sampoerna Kayoe di Maluku dengan kapasitas energi surya sebesar 12.000 kWp dan potensial kapasitas 10,1 mwp + 8,9 Mwh BESS, lalu proyek energi surya untuk PLN, Interport, Petrosea, juga untuk industri tekstil dan rokok.

Target manajemen, EMITS bisa memperoleh kontrak pemasangan sebesar 80 Megawatt peak (MWp) sampai 100 MWp di tahun 2023.

PT TBS Energi Utama Tbk juga tidak ketinggalan mengail peluang bisnis dari sektor EBT. Emiten berkode saham “TOBA” tersebut mengincar target komposisi pendapatan 50% dari energi bersih pada 5-6 tahun ke depan.

Dalam acara Hotel Fairmont selepas acara Saratoga Investment Summit, Kamis (26/1), Wakil Direktur Utama TOBA, Pandu Patria Sjahrir menyampaikan bahwa pihaknya tengah membidik 3-4 proyek pengembangan pembangkit EBT. Ia tidak merinci proyek-proyek mana saja yang dimaksud.

Baca Juga: **Pertamina Geothermal (PGEO) Tingkatkan Kapasitas Produksi Hingga 1.272 MW**

Sebelumnya, TOBA telah memiliki proyek EBT berjalan. Kontan.co.id mencatat, TOBA tengah mengembangkan proyek mini hydro (PL...) berkapasitas 2x3 MW yang berlokasi di Sungai Way Besar, Kecar... Sumber Jaya, Provinsi Lampung.

PT Adimitra Energi Hidro yaitu entitas asosiasi dengan kepemilikan... langsung sebesar 49% (data laporan keuangan interim TOBA per 30... September 2022), telah menandatangani Power Purchase Agreeme... dengan PT PLN pada 2021.

Berdasarkan kesepakatan dalam PPA dengan PLN, Commercial Operation ...ate (COD) direncanakan pada Juni 2024. Selain membangun pembangkit, ...A juga berencana akan mengakuisisi perusahaan pengembang energi

sih ataupun proyek pembangkitnya.

Baca Juga: **Adaro Green, Medco Power, dan Energi Baru TBS Kerjasama di Bisnis Rantai Pasok PLTS**

Direktur Eksekutif Institute for Essential Services Reform (IESR), Fabby Tumiwa mengatakan, ambisi Pemerintah Singapura untuk memacu bauran EBT hingga 3 GW dalam pasokan listrik nasionalnya di 2035 membuka kesempatan bagi para pengembang energi Indonesia untuk memasok kebutuhan tersebut.

“Dengan adanya dua kesempatan ini, pelaku usaha berusaha untuk memenuhi permintaan/kesempatan yang ada,” kata Fabby saat dihubungi Kontan.co.id (19/3).

Lebih lanjut, Fabby menambahkan bahwa peluang untuk memasok listrik ke Singapura menciptakan kesempatan serta permintaan untuk mendorong pertumbuhan industri hilir dan hulu.

“Saya menilai, model yang dikembangkan pemerintah Indonesia via Kemenko Marves bekerja sama dengan pemerintah Singapura adalah sesuatu terobosan. Di sini ada *technology provider* yaitu produsen sel dan modul surya tier-1, komponen PLTS, dan energy storage, dan bekerja sama langsung dengan pengembang PLTS,” kata Fabby.

Selanjutnya: Cermati Saham-Saham yang Paling Banyak Dijual Asing Selama Sepekan

Cek Berita dan Artikel yang lain di Google News

Halaman 1 2 Tampilkan Semua

INDEKS BERITA

Tag

Energi Baru Terbarukan Ebt | energi baru terbarukan | energi baru dan terbarukan | energi terbarukan | Adaro Energy Indonesia | Adaro | PT Adaro Minerals Indonesia Tbk (ADMR) | PT Adaro Energy Tbk

Berita Terkait



Industri

Anak Usaha TOBA, PT Energi Baru TBS Tandatangani MoU Pengembangan Energi



Insight

Jeli Mencari Peluang Bisnis



Industri

Adaro Green, Medco Po dan Energi Baru TBS Kerjasama di Bisnis Rant Pasok PLTS

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Industri

Dyandra Media International (DYAN) Menilik Peluang Bisnis Konser Musik pada Tahun Ini



Stock Setup

Dyandra Media (DYAN) Melirik Peluang Bisnis Konser Musik



Insight

RISE Mengintip Peluang Bisnis Hotel Tahun Ini

TERBARU

Indeks »

INDEKS BERITA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

TERPOPULER

1. Wilayah Freeport Berubah, Saham 10% Pemda Dibagi ke Pemprov Papua atau Papua Tengah?
2. Tambang Emas United Tractors (UNTR) di Sumbawa Ditargetkan Beroperasi 2024
3. Pertamina Geothermal Energy (PGEO) Catat Pendapatan US$ 747.000 dari Kredit Karbon
4. Grup Salim Lewat Indomobil (IMAS) Gencar

JANGAN LEWATKAN

1. Selain Melancarkan Pencernaan, Ini Manfaat Air Jahe Jika Diminum secara Rutin
2. 11 Gejala Utama Kolesterol Tinggi atau Banyaknya Zat Lilin dalam Darah
3. 8 Makanan & Minuman yang Bisa Bikin Penderita Asam Lambung Merasa Terbakar di Dada
4. Katalog Promo Superindo Terbaru 3-5 April 2023, Solusi Belanja Lebih Hemat!

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

KontanAcademy
Ancaman Krisis Perbankan Amerika Terhadap IHSG Supply Chain Management on Efficient Transportation Modeling (SCMETM)



PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

DESKRPSI BIBLIOGRAFI ARTIKEL JURNA; SUMBER INDONESIA ONE SARCH (IOS) PERPUSTAKAAN NASIONAL RI

001

Pranatal, Erifive, Beu, Maria Margareta Zau. **Analisa Cfd Penggunaan Duct Pada Turbin Kombinasi Darrieus-Savonius.** Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. Lppm Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (Itats) , 2018. Naval Engineering. Cfd. Duct. Energi Terbarukan, Turbin, Https://Ejurnal.Itats.Ac.Id/Iptek/Article/View/239. Https://Ejurnal.Itats.Ac.Id/Iptek/Article/View/239/158

Cfd, Duct, Energi Terbarukan, Turbin

Full Text

002

Setiawan, Wira, Hermawan, Rio, Suardi, Suardi. **Analisa Potensi Angin Dan Cahaya Matahari Sebagai Alternatif Sumber Tenaga Listrik Di Wilayah Laut Sawu**. Pusat Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Politeknik Negeri Balikpapan , 2018. Kapal Feri. Http://Jurnal.Poltekba.Ac.Id/Index.Php/Jst/Article/View/453. Http://Jurnal.Poltekba.Ac.Id/Index.Php/Jst/Article/View/453/297

Turbin Angin, Modul Surya, Laut Sawu, Energi Terbarukan

Full Text

003

Bentara, Reingga Surya, Adietya, Berlian Arswendo, Kiryanto, K.. **Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Wind Turbine Untuk Konversi Energi Pada Kapal Ikan Yang Menggunakan Sistem Pendingin Refrigrated Sea Water.** Diponegoro University , 2018. Https://Ejournal3.Undip.Ac.Id/Index.Php/Naval/Article/View/19923. Https://Ejournal3.Undip.Ac.Id/Index.Php/Naval/Article/View/19923/18828.

Turbin Angin,Analisateknis,Analisaekonomis,Energi Terbarukan, Kecepatan Angin.

Turbin Angin, Analisa Teknis, Analisaekonomis, Energi Terbarukan, Kecepatan Angin

Full Text

004

Tharo, Zuraidah, Hamdani, Hamdani. **Analisis Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Atap Skala Rumah Tangga.** Universitas Medan Area. **Article Info Application/Pdf Journal.** Universitas Medan Area , 2020. Http://Ojs.Uma.Ac.Id/Index.Php/Jesce/Article/View/3266. Http://Ojs.Uma.Ac.Id/Index.Php/Jesce/Article/View/3266/Pdf

Energi Baru Terbarukan, Plts Atap, Biaya Beban Listrik, Energi Baru Terbarukan, Plts Atap, Biaya Beban Listrik.

Full Text

005

Jabar, Maulana Abdul, Golwa, Gian Villany, Prasetyo, Candra Bagus, Kusuma, Tony Indra. **Analisis Efisiensi Keluaran Energi Listrik Sistem Pembangkit Tenaga Pico Hydro Dengan**

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Menggunakan Turbin Jenis Archimedes Screw. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung , 2020. Http://Journal.Eng.Unila.Ac.Id/Index.Php/Mech/Article/View/1412. Http://Journal.Eng.Unila.Ac.Id/Index.Php/Mech/Article/View/1412/Pdf

Energi Terbarukan, Pico Hydro, Turbin Archimedes Screw, Efisiensi Turbin, Energi Terbarukan, Pico Hydro, Turbin Archimedes Screw, Efisiensi Turbin
Full Text

006

Sutanto, Tri; Universitas Lampung, Supriyanto, Amir; Universitas Lampung, Surtono, Arif; Universitas Lampung. **Analisis Karakteristik Elektrik Limbah Kulit Singkong Berbentuk Pasta Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Terbarukan.** Universitas Lampung , 2018. Https://Jurnal.Fmipa.Unila.Ac.Id/Jtaf/Article/View/1838. Https://Jurnal.Fmipa.Unila.Ac.Id/Jtaf/Article/View/1838/1420

Fisika, Cu-Zn Electrode, Fermentation, Cassava Peel

007

Tentra Sandika, Adhe Yusphie Panca, Christover, David, Rozikin, Mohammad Saiful. **Elektroda Cu-Zn, Fermentasi, Kulit Singkong..** Pusat Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat , 2019. Http://Jurnal.Poltekba.Ac.Id/Index.Php/Jtt/Article/View/624. Http://Jurnal.Poltekba.Ac.Id/Index.Php/Jtt/Article/View/624/Pdf

Angin, Balikpapan, Daya, Kecepatan, Potensi, Angin, Balikpapan, Daya, Kecepatan, Potensi
Full Text

008

Respitawulan, Anggraeni. **Analisis Open Government Pada Direktorat Jendereal Energi Baru, Terbarukan Dan Konservasi Energi, . Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.** Yogyakarta State University , 2019. Https://Journal.Uny.Ac.Id/Index.Php/Natapraja/Article/View/21901. Https://Journal.Uny.Ac.Id/Index.Php/Natapraja/Article/View/21901/Pdf_1

Transparansi, Partisipasi Dan Kolaborasi
Full Text

009

Kholiq, Imam. **Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Subtitusi Bbm.** Lppm Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (Itats) , 2015. Https://Ejurnal.Itats.Ac.Id/Iptek/Article/View/12. Https://Ejurnal.Itats.Ac.Id/Iptek/Article/View/12/12

Renewable Energysustainability,Subtitusi Bbm

010

Setiyawan, Johan Aji. **Analisis Pengaruh Konsumsi Energi Terbarukan Dan Energi Tidak Terbarukan Terhadap Gdp Negara Anggota Oecd (Organitation For Economic Co-Operation And Development).** Fakultas Ekonomi Dan Bisnis Universitas Brawijaya , 2018. Https://Jimfeb.Ub.Ac.Id/Index.Php/Jimf

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

eb/Article/View/5159. Https://Jimfeb.Ub.Ac.Id/Index.Php/Jimfeb/Article/View/5159/4534

Konsumsi Energi Terbarukan, Konsusmi Energi Tidak Terbarukan, Gdp, Minyak Bumi, Batu Bara, Oecd

011

Mukminin, Giri Amirul; Universitas Lampung, Pauzi, Gurum Ahmad; Universitas Lampung, Warsito, Warsito. **Analisis Potensi Elektrik Berbagai Elektrolit Alam Sebagai Sumber Energi Terbarukan.** Universitas Lampung , 2018. Https://Jurnal.Fmipa.Unila.Ac.Id/Jtaf/Article/View/1830. Https://Jurnal.Fmipa.Unila.Ac.Id/Jtaf/Article/View/1830/1353.

Elektroda Cu-Zn, Elektroda C-Zn, Karakteristik Elektrik, Intensitas Cahaya.

012

Arifin, Zaenal, ,Dian Nuswantoro, Tamamy, Aries Jehan, Dian Nuswantoro, Amalia. **Analisis Potensi Energi Sinar Matahari Dan Energi Angin Di Pusat Kota Semarang.** Universitas Dian Nuswantoro Semarang, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro. Fakultas Teknik Elektro - Universitas Sultan Ageng Tirtayasa , 2019. . Https://Jurnal.Untirta.Ac.Id/Index.Php/Jis/Article/View/3999. Https://Jurnal.Untirta.Ac.Id/Index.Php/Jis/Article/View/3999/Pdf_24.

Solar Panel; Kota Semarang; Energi Terbarukan (Ebt); Waktu Efektif; Waktu Optimal; Potensi Energi

Full Text

013

Nathawibawa, A. A. Ngurah Bagus Budi, Kumara, I Nyoman Satya, Ariastina, Wayan Gede. **Analisis Produksi Energi Dari Inverter Pada Grid-Connected Plts 1 Mwp Di Desa Kayubihi Kabupaten Bangli.** Universitas Udayana , 2016. Http://Ojs.Unud.Ac.Id/Index.Php/Jte/Article/View/23536. Http://Ojs.Unud.Ac.Id/Index.Php/Jte/Article/View/23536/17980

Energi Terbarukan,Plts On-Grid, Unjuk Kerja Inverter, Produksi Energi

Full Text

014

Utari, Evrita Lusiana, Listyalina, Latifah, Irawati, Novi. **Aplikasi Teknologi Tepat Guna Melalui Pemanfaatan Energi Terbarukan Untuk Penerangan Dan Pengembangan Wisata Watu Tekek Kulonprogo.** Evrita Lusiana Utari, Universitas Respati Yogyakarta Prodi Teknik Elektro. Universitas Padjadjaran , 2019. Http://Jurnal.Unpad.Ac.Id/Dharmakarya/Article/View/22763. Http://Jurnal.Unpad.Ac.Id/Dharmakarya/Article/View/22763/12061. Http://Jurnal.Unpad.Ac.Id/Dharmakarya/Article/Downloadsuppfile/22763/4182

Solar Panel; Teknologi Tepat Guna; Watu Tekek

Full Text

015

Suhendar, Suhendar . **Audit Sistem Pencahayaan Dan Sistem Pendingin Ruangan Di Gedung Rumah Sakit Umum**

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Daerah (Rsud) Cilegon. ; . Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia. Fakultas Teknik Elektro - Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Http://Jurnal.Untirta.Ac.Id/Index.Php/Jis/Article/View/486. Http://Jurnal.Untirta.Ac.Id/Index.Php/Jis/Article/View/486/371

Full Text

016

Ariyanto, Eko, Karim, Muhammad Arief, Firmansyah, Agung. **Biobriket Enceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan. Article Info Application/Pdf Ejournal.** Dept. Of Chemical Engineering, Diponegoro University , 2014. Https://Ejournal.Undip.Ac.Id/Index.Php/Reaktor/Article/View/8188. Https://Ejournal.Undip.Ac.Id/Index.Php/Reaktor/Article/View/8188/6974

Biobriket; Energi Terbarukan; Eceng Gondok

Full Text

017

Riyanta, Aldi Budi, Nurniswati, Nurniswati, Santoso, Joko . **Biogas Kombinasi Ampas Tebu-Kotoran Sapi Sebagai Upaya Konversi Energi Terbarukan.** Pusat Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Harapan Bersama , 2017. Http://Ejournal.Poltektegal.Ac.Id/Index.Php/Parapemikir/Article/View/592. Http://Ejournal.Poltektegal.Ac.Id/Index.Php/Parapemikir/Article/View/592/513. Http://Ejournal.Poltektegal.Ac.Id/Index.Php/Parapemikir/Article/Downloadsuppfile/592/243

Ampas Tebu, Kotoran Sapi, Biogas

Full Text

018

Iyabu, Hendri, Isa, Ishak. **Biokonversi Limbah Tongkol Jagung Menjadi Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan.** Universitas Negeri Gorontalo, 2019.Http://Ejurnal.Ung.Ac.Id/Index.Php/Jjc/Article/View/2516. Http://Ejurnal.Ung.Ac.Id/Index.Php/Jjc/Article/View/2516/Pdf

Tongkol Jagung; Bioetanol; Biokonversi; Energi Terbarukan

Full Text

019

Meylida Nurrachmania, Fakhruzy, **Biopellet Bambu Betung (Dendrocalamus Asper) Sebagai Sumber Energi Terbarukan. Article Info Application/Pdf Journal.** Lppm Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat , 2018. Https://Jurnal.Umsb.Ac.Id/Index.Php/Menarailmu/Article/View/953. Https://Jurnal.Umsb.Ac.Id/Index.Php/Menarailmu/Article/View/953/832

Full Text

020

Irfan, Maulana. **Crowdfunding Sebagai Pemaknaan Energi Gotong Royong Terbarukan.** Universitas Padjadjaran , 2016. Http://Jurnal.Unpad.Ac.Id/Share/Article/View/13145. Http://Jurnal.Unpad.Ac.Id/Share/Article/View/13145/6002

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Gotong Royong,Media Sosial, Pekerja Sosial, Fundraising, Crowdfunding
Full Text

021

Effendy, Machmud, Zulyazis, Rizky Dwiki, Mardiyah, Nuralif. **Desain Power Sistem Pv Pada Dc Microgrid Berdasarkan Kombinasi Supercapacitor Dan Battery.** Universitas Muhammadiyah Surabaya , 2019. .
Http://Journal.Um-Surabaya.Ac.Id/Index.Php/Cyclotron/Article/View/3257
Http://Journal.Um-Surabaya.Ac.Id/Index.Php/Cyclotron/Article/View/3257/2196

Elektronika Daya Dan Energi Terbarukan
Full Text

022

Iskandar, Azwar, Aqbar, Khaerul, Herman, Sulkifli. **Energi Terbarukan Dan Ekonomi Syariah: Sinergitas Mewujudkan Sustainable Development.** Faculty Of Sharia And Law Uin Syarif Hidayatullah Jakarta , 2021
Https://Journal.Uinjkt.Ac.Id/Index.Php/Salam/Article/View/20347
Https://Journal.Uinjkt.Ac.Id/Index.Php/Salam/Article/View/20347/Pdf

Terbarukan, Energi, Islam, Ekonomi, Sustainable
Full Text

023

Santoso, Arif, Suwedi, Nawa, Pratama, Reba Anindyajati, Susanto, Joko Prayitno. **Energi Terbarukan Dan Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca Dari Palm Oil Mill Effluent.** Bppt. Center For Environmental Technology - Agency For Assessment And Application Of Technology , 2017.
Http://Ejurnal.Bppt.Go.Id/Index.Php/Jtl/Article/View/956
Http://Ejurnal.Bppt.Go.Id/Index.Php/Jtl/Article/View/956/1493

Biodiesel, Kelapa Sawit, Pome, Emisi Karbon, Ner

024

Haryanto, Agus, Suharyatun, Siti, Rahmawati, Winda, Triyono, Sugeng. **Energi Terbarukan Dari Jerami Padi Review Potensi Dan Tantangan Bagi Indonesia.** Perteta , 2020.
Http://Journal.Ipb.Ac.Id/Index.Php/Jtep/Article/View/26975
Http://Journal.Ipb.Ac.Id/Index.Php/Jtep/Article/View/26975/19525

Emisi Co2, Parameter Lingkungan Biofisik, Model Ann, Suhu Dan Kelembaban Tanah, Muka Air Tanah
Full Text

025

Caesaron, Dino. **Evaluasi dan Usulan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Keberlangsungan Energi Nasional.** Program Studi Teknik Industri, Universitas Bunda Mulia, Jakarta, Maimury, Yona; Program Studi Teknik Industri, Universitas Bunda Mulia, Jakarta. Universitas Bunda Mulia , 2017
Https://Journal.Ubm.Ac.Id/Index.Php/Jiems/Article/View/116
Https://Journal.Ubm.Ac.Id/Index.Php/Jiems/Article/View/116/114

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Non Renewable Energy, Renewable Energy, Energy Conservation, Fishbone Diagram, 5w1h
Full Text

026

Wardhana, Ahmad Rahma, Ma'rifatullah, Wening Hapsari. **Evaluasi Kebijakan Pembangunan Desa melalui Energi Terbarukan (Studi Kasus Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Desa Rawasari, Jambi).** Konsorsium Untuk Energi Mandiri Dan Lestari, Lakpesdam-Pbnu, Pusat Studi Energi Ugm, Pusat Studi Ekonomi Kerakyatan Ugm, Center For Civic Engagement Studies. Universitas Batanghari Jambi , 2019
Http://Ji.Unbari.Ac.Id/Index.Php/Ilmiah/Article/View/731
Http://Ji.Unbari.Ac.Id/Index.Php/Ilmiah/Article/View/731/572

Pembangunan Desa; Diversifikasi Energi; Kemandirian Energi; Energi Terbarukan
Full Text

027

Martaleo, Meity, Nawangpalupi, Catharina Badra, Pratiwi, Loren, Herawati, Yani. **Evaluasi Peraturan Pembelian Energi Terbarukan Pada Desa Peternak Sapi Untuk Meningkatkan Keamanan Energi Di Ciater, Subang.** Research Report - Engineering Science , 2015
Http://Journal.Unpar.Ac.Id/Index.Php/Rekayasa/Article/View/1096
Http://Journal.Unpar.Ac.Id/Index.Php/Rekayasa/Article/View/1096/1063

Full Text

028

Utami, Tania Surya, Arbianti, Rita, Mulyana, Guruh Mehra. **Evaluasi Produksi Listrik Sumber Energi Terbarukan Sel Elektrokimia Berbasis Mikroba Pada Volume Reaktor Yang Berbeda.** Universitas Muhammadiyah Jakarta , 2017
Https://Jurnal.Umj.Ac.Id/Index.Php/Semnastek/Article/View/1911
Https://Jurnal.Umj.Ac.Id/Index.Php/Semnastek/Article/View/1911/1563

Efisiensi, Microbial Fuel Cell, Parameter Kinetika, Peningkatan Volume Reaktor, Reaktor Tubular Tanpa Membran

029

Anggoro, Suryo. **Hybrid Solar Lighting Sebagai Alternatif Teknologi Penerangan Alami Bangunan Untuk Efisiensi Energi Dan Pemanfaatan Energi Terbarukan.** Center For Environmental Technology - Agency For Assessment And Application Of Technology , 2016.
Http://Ejurnal.Bppt.Go.Id/Index.Php/Jtl/Article/View/1483
Http://Ejurnal.Bppt.Go.Id/Index.Php/Jtl/Article/View/1483/1277

Solar Lighting, Fi Ber Optics
Full Text

029

Zulhadi, Trian, Fazli, Said. **Identifikasi Sumber Energi Terbarukan (Set).** Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyrakat , 2012.
Http://Ejournal.Uin-Suska.Ac.Id/Index.Php/Kutubkhanah/Article/View/242
Http://Ejournal.Uin-Suska.Ac.Id/Index.Php/Kutubkhanah/Article/View/242/228

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Renewable Energy Resources, (Set)
Full Text

030

Azhar, Muhamad, Satriawan, Dendy Adam. **Implementasi Kebijakan Energi Baru Dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional.** Administrative Law Department, Faculty Of Law, Universitas Diponegoro , 2018
Https://Ejournal2.Undip.Ac.Id/Index.Php/Alj/Article/View/3837
Https://Ejournal2.Undip.Ac.Id/Index.Php/Alj/Article/View/3837/2153

Kebijakan Energi, Energy Terbarukan, Ketahanan Energi Nasional
Full Text

031

Thamrin, Taqwan, Susanty, Wiwin. **Implementasi Rumah Listrik Berbasis Solar Cell.** Universitas Bandar Lampung (Ubl), 2018.
Http://Jurnal.Ubl.Ac.Id/Index.Php/Explore/Article/View/1084
Http://Jurnal.Ubl.Ac.Id/Index.Php/Explore/Article/View/1084/1136

Photovoltaic, Energi Terbarukan, Solar Cell, Rumah Listrik

032

Budiyanto, Budiyanto, Setiabudy, Rudy. **Jaringan Mikro Arus Searah (Dc Microgrid) Sebagai Upaya Ketersediaan Energi Listrik Dalam Pengembangan Energi Terbarukan.** Universitas Muhammadiyah Jakarta , 2014
Https://Jurnal.Umj.Ac.Id/Index.Php/Semnastek/Article/View/238
Https://Jurnal.Umj.Ac.Id/Index.Php/Semnastek/Article/View/238/213

Jaringan Listrik Mikro Arus Searah, Energi Terbarukan, Pembangkit Listrik Terdistribusi,
Konverter Dua Arah, Energi Listrik
Full Text

033

Putri, Fenoria, Arnoldi, Dwi, Seprianto, Dicky. **Kaji Eksperimental Mesin Stirling Tipe B Menggunakan Variasi Bahan Bakar Biomassa.** Austenit , 2013.
Http://Jurnal.Polsri.Ac.Id/Index.Php/Austenit/Article/View/811
Http://Jurnal.Polsri.Ac.Id/Index.Php/Austenit/Article/View/811/615

Mesin Stirling, Energi Terbarukan, Pembakaran Luar
Full Text

034

Sidabutar, Victor Tulus Pangapoi. **Kajian Peningkatan Potensi Ekspor Pelet Kayu Indonesia Sebagai Sumber Energi Biomassa Yang Terbarukan.** Persatuan Sarjana Kehutanan. Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada , 2018.
Https://Journal.Ugm.Ac.Id/Jikfkt/Article/View/34125
Https://Journal.Ugm.Ac.Id/Jikfkt/Article/View/34125/20370

Potensi Eksporpelet Kayuenergi Terbarukandukungan
Pemerintahsumber Energ
Full Text

035

Rauf, Rosnita; Universitas Eka Sakti Padang. **Konsep Integrasi Pembangkit Berbasis Energi Terbarukan Sebagai Sistem Mikrogrid Di Kabupaten Pesisir Selatan. Article Info Application/Pdf Ejournal.**

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas , 2013
Http://Jnte.Ft.Unand.Ac.Id/Index.Php/Jnte/Article/View/89
Http://Jnte.Ft.Unand.Ac.Id/Index.Php/Jnte/Article/View/89/84

Energy, Mikrogrid, Homer, Matlab, Scada

036

Parinduri, Luthfi, Parinduri, Taufik. **Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. .**Jet (Journal Of Electrical Technology) , 2020
Https://Jurnal.Uisu.Ac.Id/Index.Php/Jet/Article/View/2885
Https://Jurnal.Uisu.Ac.Id/Index.Php/Jet/Article/View/2885/1918

Energi Fosil, Energi Biomassa, Konversi Energikonversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan
Full Text

037

Norsujianto, Tinton. **Konversi Limbah Plastik Menjadi Minyak Sebagai Bahan Bakar Energi Baru Terbarukan.** Politala Press , 2015
Http://Je.Politala.Ac.Id/Index.Php/Je/Article/View/21
Http://Je.Politala.Ac.Id/Index.Php/Je/Article/View/21/21

Pirolisis, Limbah Plastik Ldpe, Minyak Pirolisis, Katalis
Full Text

038

Suryadi, Ismadji**. Kulit Durian Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bio-Oil: Sumber Energi Terbarukan.** , 2012. Tp155 Chemical Engineering
Http://Eprints.Upnjatim.Ac.Id/4108/1/A.9.Pdf
Http://Eprints.Upnjatim.Ac.Id/4108/

Bio-Oil, Pirolisis, Kulit Durian
Full Text

039

Amheka, Adrianus. **Memahami Pembangunan Ekonomi Provinsi Nusa Tenggara Timur Berbasis Energi Baru Dan Terbarukan.** Diponegoro University , 2020.
Https://Ejournal2.Undip.Ac.Id/Index.Php/Tataloka/Article/View/5279
Https://Ejournal2.Undip.Ac.Id/Index.Php/Tataloka/Article/View/5279/Pdf

Provinsi Ntt, Energi, Eknomi, Ebt
Full Text

040

Nuha, Gardina Aulin, Nastiti, Ari Sita. **Menelisik Dampak Penggunaan Energi Terbarukan Pada Laporan Keuangan.** Universitas Jember , 2020/
Https://Jurnal.Unej.Ac.Id/Index.Php/Jauj/Article/View/17938
Https://Jurnal.Unej.Ac.Id/Index.Php/Jauj/Article/View/17938/8443
Accounting,Annual Report, Financial Statement, Fixed Asset, Renewable Energy

041

Suwignyo. **Mengembangkan Potensi Energi Terbarukan Di Jaringan Irigasi Dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh).** Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Malang. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammmadiyah Malang , 2012
Http://Ejournal.Umm.Ac.Id/Index.Php/Jmts/Article/View/1120

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Http://Ejournal.Umm.Ac.Id/Index.Php/Jmts/Article/View/1120/3144
Key Words: Power, Micro Hydro, Irrigation Channels
Full Text

042

Febriani, Nufian S, Avicenna, Fitria. **Mengukur Dan Merancang Model Ketahanan Energi Melalui Perubahan Perilaku Konsumen Energi Terbarukan.** Fakultas Seni Rupa Dan Desain Itb , 2021.
Https://Journals.Itb.Ac.Id/Index.Php/Sostek/Article/View/15038
Https://Journals.Itb.Ac.Id/Index.Php/Sostek/Article/View/15038/5162

Energi Terbarukan, Survei, Perilaku Konsumen, Energi Mandiri, Model Perilaku
Full Text

043

Yandri, Erkata, Ariati, Ratna, Ibrahim, Riki Firmandha. **Meningkatkan Keamanan Energi Melalui Perincian Indikator Energi Terbarukan Dan . Efisiensi Guna Membangun Ketahanan Nasional Dari Daerah.** Ristek - Dikti. Universitas Gadjah Mada , 2018
Https://Jurnal.Ugm.Ac.Id/Jkn/Article/View/30999
Https://Jurnal.Ugm.Ac.Id/Jkn/Article/View/30999/2189

Keamanan Energi, Pemerintah Daerah, Energi Terbarukan, Efisiensi Energi, Indikator Rinci
Full Text

044

Gultom, Sarman Oktovianus; Universitas Papua. **Mikroalga: Sumber Energi Terbarukan Masa Depan.** Department Of Marine Sciences, Trunojoyo University Of Madura, Indonesia , 2018.
Http://Journal.Trunojoyo.Ac.Id/Jurnalkelautan/Article/View/3802
Http://Journal.Trunojoyo.Ac.Id/Jurnalkelautan/Article/View/3802/3133

Microalgae, Biodiesel, Cultivation, Energy
Full Text

045

Amin, Sarmidi. **Mikroalgae Sebagai Sumber Energi Terbarukan Yang Ramah Lingkungan.** Center For Environmental Technology - Agency For Assessment And Application Of Technology , 2016.
Http://Ejurnal.Bppt.Go.Id/Index.Php/Jtl/Article/View/1502
Http://Ejurnal.Bppt.Go.Id/Index.Php/Jtl/Article/View/1502/1296

Biofuel; Oil Production; Microalgae; Thermoche-Mical; Biochemical
Full Text

046

Ramdani, Deni Fauzi, Febriasari, Arifina . M**odel Kebijakan Pengembangan Energi Baru Dan Terbarukan Di Provinsi Banten.** Universitas Medan Area , 2018.
Http://Ojs.Uma.Ac.Id/Index.Php/Adminpublik/Article/View/1900
Http://Ojs.Uma.Ac.Id/Index.Php/Adminpublik/Article/View/1900/1773

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Model Kebijakan,Kebijakan Energi, Potensi Energi Baru Terbarukan,
Full Text

047

Triyono, Budi, Prasetyo, Yuli, Budi Triyono. **Multi Input Energi Terbarukan Pada Sistem Dc Bus Menggunakan Buck Boost Converter.** Geuthèë Institute, Aceh , 2019.
Http://Journal.Geutheeinstitute.Com/Index.Php/Jg/Article/View/37
Http://Journal.Geutheeinstitute.Com/Index.Php/Jg/Article/View/37/60
Http://Journal.Geutheeinstitute.Com/Index.Php/Jg/Article/Downloadsuppfile/37/21

Electrical, Power Electronic
Full Text

048

T. Haryono, Arif Febriansyah Juwito , Sasongko Pramonohadi. **Optimalisasi Energi Terbarukan Pada Pembangkit Tenaga Listrik Dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi Di Margajaya.** __,; Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Jurnal Semesta Teknika , 2015
Http://Journal.Umy.Ac.Id/Index.Php/St/Article/View/440
Http://Journal.Umy.Ac.Id/Index.Php/St/Article/View/440/590
Energy, Self-Sufficient, Village, Hybrid System, Microhydro, Biomass, Pv-Array, Homer
Full Text

049

Wikanta, Deddy Kurniawan, Arifan, Fahmi, Azmi, Luthfiana, Widyaningsih, Oktisya Devi, Septriani, Remita; Gupita, Pinandita Rekyan, Nurjannah, Anis Siti. **Optimalisasi Limbah Serbuk Kayu Menjadi Bioetanol Sebagai Energi Alternatif Terbarukan Menggunakan Distilasi Gelombang Mikro.** Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik , 2013
Http://Publikasiilmiah.Unwahas.Ac.Id/Index.Php/Prosiding_Snst_Ft/Article/View/680
Http://Publikasiilmiah.Unwahas.Ac.Id/Index.Php/Prosiding_Snst_Ft/Article/View/680/796

Full Text

050

Artiani, Gita Puspa, Siswoyo, Sriyono D. **Optimalisasi Ruang Terbuka Hijau Berupa Taman Energi Baru Terbarukan Sebagai Upaya Pemanfaatan Lahan Kosong Di Lingkungan Kampus (Studi Kasus Kampus Stt-Pln, Jakarta).** Universitas Muhammadiyah Jakarta , 2020.
Https://Jurnal.Umj.Ac.Id/Index.Php/Konstruksia/Article/View/5652
Https://Jurnal.Umj.Ac.Id/Index.Php/Konstruksia/Article/View/5652/3821

Lahan Kosong, Perencanaan, Taman Energi Baru Terbarukan
Full Text

051

Heriansyah, Istiqphara, Swadexi, Adliani, Nur. **Optimasi Sistem Cerdas Pada Pengering Tanaman Obat Berbasis Internet Of Thing Dengan Memanfaatkan Sumber Energi**

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Terbarukan. Department Of Electrical Engineering, Faculty Of Engineering, Universitas Lampung , 2020
Http://Electrician.Unila.Ac.Id/Index.Php/Ojs/Article/View/2140
Http://Electrician.Unila.Ac.Id/Index.Php/Ojs/Article/View/2140/362

Smart Fuzzy, Basis Aturan, Logika, Tanaman Obat, Temperatur Ruang
Full Text

052
Mubarok, Husein, Whiancaka, Bibie Albar. **Optimasi Sistem Turbin Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracking (Mppt) Dengan Metode Particle Swarm Optimization (Pso): (Studi Kasus Di Plth Bayu Baru, Bantul Yogyakarta).** Fakultas Teknik Elektronika Dan Komputer Universitas Kristen Satya Wacana , 2020.
Http://Ojs.Jurnaltechne.Org/Index.Php/Techne/Article/View/226
Http://Ojs.Jurnaltechne.Org/Index.Php/Techne/Article/View/226/178
Optimasi, Energi Terbarukan, Turbin Angin, Mppt, Pso

053
Imani, Rizaldi Lukman, Siswanto, Agus, Suprijadi, Sugeng. **Optimisasi Energi Terbarukan Pada Micro Grid Di Pulau Rakit Indramayu Menggunakan Homer.** Universitas Widyagama Malang , 2018
Http://Publishing-Widyagama.Ac.Id/Ejournal-V2/Index.Php/Ciastech/Article/View/675
Http://Publishing-Widyagama.Ac.Id/Ejournal-V2/Index.Php/Ciastech/Article/View/675/626
Photovoltaic, Homer, Turbin Angin, Mikrogrid, Npc
Full Text

054
Prasetyo, Yuli, Triyono, Budi, Arifin, Agus Choirul. **Optimization Of Output Power Dual Axis Solar Tracker With Umbrella System.** Politeknik Negeri Madiun. **Article Info Application/Pdf Journal.** Geuthèë Institute, Aceh , 2019
Http://Journal.Geutheeinstitute.Com/Index.Php/Jg/Article/View/41
Http://Journal.Geutheeinstitute.Com/Index.Php/Jg/Article/View/41/70
Http://Journal.Geutheeinstitute.Com/Index.Php/Jg/Article/Downloadsuppfile/41/25
Energi Terbarukan, Energi Matahari, Panel Surya, Solar Tracker
Full Text

055
Kustanto, Muh. Nurkoyim, Ilminnafik, Nasrul, Darsin, Mahros, Sugara, Imam Rudi, Andrianto, Deny Tomy, Fawaid, Ahmad Iqbal. **Pelatihan Pembuatan Bahan Bakar Minyak Nyamplung (Calophyllum Inophyllum) Bagi Masyarakat Banyuwangi Jawa Timur.** Cv Firmos , 2021
Https://Jamsi.Jurnal-Id.Com/Index.Php/Jamsi/Article/View/154
Https://Jamsi.Jurnal-Id.Com/Index.Php/Jamsi/Article/View/154/82

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Bahan Bakar Bio, Energi Terbarukan,Minyak Biji Nyamplung

056
Silaban, Mawardi
Peluang Energi Terbarukan Di Industri Pemanfaatan Termal Surya Pada Proses Pengeringan Kayu. Deputi Tirbr-Bppt , 2019
Http://Ejurnal.Bppt.Go.Id/Index.Php/Mipi/Article/View/3639
Http://Ejurnal.Bppt.Go.Id/Index.Php/Mipi/Article/View/3639/3037
Pengeringan Kayu, Efisiensi Termal, Energi Surya, Kolektor

057
Arhamsyah, Arhamsyah. **Pemanfaatan Biomassa Kayu Sebagai Sumber Energi Terbarukan.** Kementerian Perindustrian , 2010
Http://Ejournal.Kemenperin.Go.Id/Jrihh/Article/View/914
Http://Ejournal.Kemenperin.Go.Id/Jrihh/Article/View/914/803

Biomassa, Kayu, Konversi Energi, Gasifikasi
Full Text

058
Ariyanto, Danang, Satoto, Sapto Wiratno. **Pemanfaatan Energi Terbarukan Sebagai Sumber Energi Listrik Pada Desain Kapal Wisata Di Kepulauan Riau.** Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi , 2019
Http://Ejurnal.Bppt.Go.Id/Index.Php/Jurnalwave/Article/View/3866
Http://Ejurnal.Bppt.Go.Id/Index.Php/Jurnalwave/Article/View/3866/Pdf

Energi Terbarukan, Sel Surya, Kapal Wisata, Kepulauan Riau, Wisata
Full Text

059
Utari, Evrita Lusiana. **Pemanfaatan Energi Terbarukan Untuk Perancangan Sistem Rotary Dryer Pada Tahap Pengeringan Daun Teh Hijau Di Kulonprogo.** Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia , 2019
Https://Journal.Uii.Ac.Id/Jurnal-Teknoin/Article/View/11451
Https://Journal.Uii.Ac.Id/Jurnal-Teknoin/Article/View/11451/8838

Solar Cell, Rotary Dryer, Photovoltaic.
Full Text

060
Meidiana, Christia, Perdanasari, Zhuniart Ayu, Dinanti, Dian. **Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Energi Terbarukan Melalui Pembangunan Biodigester Komunal.** Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya , 2020
Https://Rekayasamesin.Ub.Ac.Id/Index.Php/Rm/Article/View/701
Https://Rekayasamesin.Ub.Ac.Id/Index.Php/Rm/Article/View/701/445

Spatial Cluster Analysis, Biogas, Overlay Technique, Livestock Manure Waste.
Full Text

061
Wintazon, Setyo Pramudiyanto, Anang, Nur Hidayat, Eko. **Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Laut Atau Angin Laut Dengan**

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pengendali Gravitasi Bumi. Politeknik Bumi Akpelni , 2019.
Https://E-Journal.Akpelni.Ac.Id/Index.Php/Gema-Maritim/Article/View/1
Https://E-Journal.Akpelni.Ac.Id/Index.Php/Gema-Maritim/Article/View/1/1

Energi, Energi Terbarukan Dan Energi Ramah Lingkungan
Full Text

062

Jalaluddin, ., Jalil, Abdul Rasyid, Tarakka, Rustan, Wardi. P**emberdayaan Masyarakat Dengan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Pada Tambak Udang.** Institut Pertanian Bogor , 2016.
Http://Journal.Ipb.Ac.Id/Index.Php/J-Agrokreatif/Article/View/11098
Http://Journal.Ipb.Ac.Id/Index.Php/J-Agrokreatif/Article/View/11098/8593

Kincir Aerator,Penerapan Selphotovoltaik,Sumber Energi Terbarukan
Full Text

063

Taufik, Mohammad. **Pembuatan Dan Pemasangan Lampu Tenaga Surya Di Desa Naluk Kecamatan Cimalaka Kabupaten Sumedang.** Universitas Padjadjaran , 2018
Http://Jurnal.Unpad.Ac.Id/Pkm/Article/View/20325
Http://Jurnal.Unpad.Ac.Id/Pkm/Article/View/20325/9866

Lampu Tenaga Surya, Energi Terbarukan
Full Text

064

Yuningsih, Ai, Masduki, Ahmad. **Penelitian Potensi Energi Arus Laut Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan Di Perairan Toyapakeh Nusa Penida Bali.** Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi Kelautan , 2016
Http://Ejournal.Mgi.Esdm.Go.Id/Index.Php/Jgk/Article/View/194
Http://Ejournal.Mgi.Esdm.Go.Id/Index.Php/Jgk/Article/View/194/184

Energi Arus Laut, Turbin Arus Laut, Energi Baru Terbarukan, Selat Toyapakeh
Full Text

065

Noprita, Puji Herwina, Mustakim, Mustakim, Annisa, Rahmatul, Rizaldi, Said Thaufik. **Penerapan Algoritma Smarter-Roc Untuk Scoring Wilayah Potensial Pengembangan Energi Terbarukan Dari Limbah Kelapa Sawit.** Puzzle Research Data Technology. Uin Sultan Syarif Kasim Riau , 2019
Http://Ejournal.Uin-Suska.Ac.Id/Index.Php/Sntiki/Article/View/7990
Http://Ejournal.Uin-Suska.Ac.Id/Index.Php/Sntiki/Article/View/7990/4457
Kata Kunci: Smarter-Roc, Energi Terbarukan, Limbah Pabrik Kelapa Sawit
Full Text

066

Abdullah, Kamaruddin, Tambunan, Armansyah H, Soepardjo, Harsono. **Penerapan Energi Terbarukan Untuk Proses Thermal Bagian I. Pengeringan**

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Hasil Pertanian. Institut Pertanian Bogor , 2013
Http://Journal.Ipb.Ac.Id/Index.Php/Jipi/Article/View/6574
Http://Journal.Ipb.Ac.Id/Index.Php/Jipi/Article/View/6574/5095
Energy Storage, Momentum And Mass Transfer, Recirculation Dryer, Renewable Energy Conversion, Simultaneous Energy
Full Text

067

Rumbayan, Meita, Sompie, Sherwin, Rumbayan, Rilya. **Penerapan Teknologi Tepat Guna Berbasis Energi Terbarukan Di Desa Kiama Kabupaten Kepulauan Talaud.** Lp2m Institut Teknologi Dan Bisnis Asia Malang , 2020
Https://Jurnal.Stie.Asia.Ac.Id/Index.Php/Jpm/Article/View/297
Https://Jurnal.Stie.Asia.Ac.Id/Index.Php/Jpm/Article/View/297/135
Eknologitepatguna,Energiterbarukan,Masyarakatkepulauan, Energi Surya, Energi Angin
Full Text

068

Cahyono, M. Sigit. **Pengaruh Jenis Bahan Pada Proses Pirolisis Sampah Organik Menjadi Bio-Oil Sebagai Sumber Energi Terbarukan.** Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia , 2013
Http://Journal.Uii.Ac.Id/Index.Php/Jstl/Article/View/3495
Http://Journal.Uii.Ac.Id/Index.Php/Jstl/Article/View/3495/3088

Katakunci: Sampah Organik, Bio-Oil, Pirolisis, Rendemen, Nilai Kalor
Full Text

069

Jonoadji, Ninuk, Sutrisno, Sutrisno, Anggono, Willyanto, Sugondo, Amelia, Septhian, Ezra, Simanjuntak, Melvin Emil**. Pengaruh Penambahan Minyak Kulit Pisang Terhadap Unjuk Kerja Mesin Diese.** Institute Of Research And Community Outreach - Petra Christian University , 2020
Http://Jurnalmesin.Petra.Ac.Id/Index.Php/Mes/Article/View/22686
Http://Jurnalmesin.Petra.Ac.Id/Index.Php/Mes/Article/View/22686/20052

Biodiesel;Kulit Pisang;Energi Terbarukan;Kinerja Mesin Diesel.
Full Text

070

Arlitasari, Oni, Pujayanto, Puja, Budiharti, Rini. **Pengembangan Bahan Ajar Ipa Terpadu Bebasis Salingtemas Dengan Tema Biomassa Sumber Energi Alternatif Terbarukan.** Jurnal Pendidikan Fisika , 2013
Http://Jurnal.Fkip.Uns.Ac.Id/Index.Php/Pfisika/Article/View/1783
Http://Jurnal.Fkip.Uns.Ac.Id/Index.Php/Pfisika/Article/View/1783/1276

Bahan Ajar, Ipa Terpadu, Salingtemas, Biomassa
Full Text

071

Aryani, N P, Masturi, M, Edie, S S. **Pengembangan Briket Bonggol Jagung Sebagai Sumber Energi Terbarukan.** Universitas Negeri Semarang , 2017.
Https://Journal.Unnes.Ac.Id/Nju/Index.Php/Jm/Article/View/12466
Https://Journal.Unnes.Ac.Id/Nju/Index.Php/Jm/Article/View/12466/7125

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Briquettes; Corncobs; Energy
Full Text

072
Riawati, Nian, Eksi, Anggraeni Rr. E. W.. **Pengembangan Energi Terbarukan Melalui Evaluasi Program Konversi Minyak Tanah Ke Lpg Di Pulau Gili Raja-Sumenep (Developing Renewable Energy Through An Evaluation For A Program Of Kerosene Conversion To Lpg In Gili Raja Island - Sumenep).** Pusat Studi Lingkungan Hidup Universitas Gadjah Mada , 2014
Https://Journal.Ugm.Ac.Id/Jml/Article/View/18539
Https://Journal.Ugm.Ac.Id/Jml/Article/View/18539/11832

Evaluasisummatif,Energi Terbarukan, Kebijakan Energi,Minimum Evaluation Procedure,Programasimetris.
Full Text

073
Trisunaryanti, Wega. **Pengembangan Sumber Energi Terbarukan Secara Desentralisasi Untuk Mewujudkan Masyarakat Mandiri Energi.** Tim Mgb, Universitas Gadjah Mada. Gadjah Mada University Press , 2015
Https://Repository.Ugm.Ac.Id/136468/1/Wega%20monograf.Pdf
Https://Repository.Ugm.Ac.Id/136468/

Biomassa, Biodeiessell, Biofuel
Full Text

074
Wijanto, Eddy, Harsono, Budi, Renandy, Rendy, Septian, Ade, Sutanto, Kevin. **Pengujian Sistem Konversi Energi Suara Menjadi Energi Listrik Menggunakan Piezoelektrik.** Fakultas Teknik Elektronika Dan Komputer Universitas Kristen Satya Wacana , 2018
Http://Ojs.Jurnaltechne.Org/Index.Php/Techne/Article/View/172
Http://Ojs.Jurnaltechne.Org/Index.Php/Techne/Article/View/172/158
Energi Terbarukan, Energi Suara, Konversi Energi, Piezoelektrik
Full Text

075
Budianto, Agus, Ilhamsyah, Iwan, Akbar, Iman. **Penyimpanan Energi Listrik Dalam Bentuk Hidrogen Melalui Proses Hidrolisis Larutan Kalium Hidroksida.** Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya , 2020
Https://Ejurnal.Itats.Ac.Id/Sntekpan/Article/View/1286
Https://Ejurnal.Itats.Ac.Id/Sntekpan/Article/View/1286/1048
Energi, Fosil, Hidrogen, Laju Alir, Terbarukan
Full Text

076
Al Hasibi, Rahmat Adiprasetya; Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. **Peran Sumber Energi Terbarukan Dalam Penyediaan Energi Listrik Dan Penurunan Emisi Co2 Di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.** Jurnal Semesta Teknika , 2016
Http://Journal.Umy.Ac.Id/Index.Php/St/Article/View/716
Http://Journal.Umy.Ac.Id/Index.Php/St/Article/View/716/867

Energi, Fosil, Hidrogen, Laju Alir, Terbarukan.
Full Text

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

077

Utari, Evrita Lusiana. **Perancangan Alat Inducsion Heating Pada Pengolahan Teh Sangrai Dengan Teknologi Energi Terbarukan (Solar Cell).** Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia , 2018
Https://Journal.Uii.Ac.Id/Jurnal-Teknoin/Article/View/10635
Https://Journal.Uii.Ac.Id/Jurnal-Teknoin/Article/View/10635/8255

Solar Cell, Inductin Heating, Photovoltaic
Full Text

078

Rumokoy, Stieven Netanel, Simanjuntak, Christopel Hamonangan, I Gede Para, Mappadang, Jusuf Luther . **Perancangan Konsep Alat Praktek Plts Skala Rumah Tangga Berbasis Pv Roof Top Installation.** Fakultas Teknik Elektro - Universitas Sultan Ageng Tirtayasa , 2020
Https://Jurnal.Untirta.Ac.Id/Index.Php/Jis/Article/View/7751
Https://Jurnal.Untirta.Ac.Id/Index.Php/Jis/Article/View/7751/Pdf_72
Energi Surya, Panel Surya, Energi Terbarukan.
Full Text

079

Dewantara, Belly Yan. **Perancangan Perahu Nelayan Ramah Lingkungan Menggunakan Motor Listrik Bertenaga Surya.** Universitas Muhammadiyah Surabaya , 2019
Http://Journal.Um-Surabaya.Ac.Id/Index.Php/Cyclotron/Article/View/2530
Http://Journal.Um-Surabaya.Ac.Id/Index.Php/Cyclotron/Article/View/2530/1774
Surya, Motor Dc, Energi Terbarukan, Perahu Nelayan.
Full Text

080

Umam, Faikul. **Perancangan Thermoelectric Generator (Teg) Sebagai Sumber Energi Terbarukan.** Universitas Trunojoyo Madura , 2017.
Https://Journal.Trunojoyo.Ac.Id/Rekayasa/Article/View/6345
Https://Journal.Trunojoyo.Ac.Id/Rekayasa/Article/View/6345/4009
Media Ajar, Energi Terbarukan, Teg
Full Text

081

Liun, Edwaren, Sunardi, Sunardi. **Perbandingan Harga Energi Dari Sumber Energi Baru Terbarukan Dan Fosil.** Badan Tenaga Nuklir Nasional , 2015
Http://Jurnal.Batan.Go.Id/Index.Php/Jpen/Article/View/2521
Full Text

082

Majedi, Farid, Susanto, Fredy, Munarwan, Edi. **Perubahan Kuantitas Dan Nilai Kalor Char Dengan Variasi Temperatur Pada Pirolisis Limbah Brem.** Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta , 2019
Https://Jurnal.Umj.Ac.Id/Index.Php/Jurtek/Article/View/3268
Https://Jurnal.Umj.Ac.Id/Index.Php/Jurtek/Article/View/3268/3292
Mesin Otomotif Dan Energi Terbarukan, Pirolisis, Limbah Brem, Massa, Nilai Kalor, Energi Terbarukan
Full Text

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

083

Kurniawan, Andi. **Perubahan Skema Kerja Sama Pemanfaatan Energi Baru Dan Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik Menggunakan Tenaga Air.** Ui Scholars Hub , 2021
Https://Scholarhub.Ui.Ac.Id/Dharmasisya/Vol1/Iss2/7
Https://Scholarhub.Ui.Ac.Id/Cgi/Viewcontent.Cgi?Article=1047&Amp;Context=Dharmasisya
Energi Terbarukan, Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik, Kerja Sama
Full Text

084

Ahmad, Deni Nasir, Setyowati, Luluk, Novianti, Desi. **Pkm Pelatihan Pembuatan Briket Kulit Kelapa Sawit Dalam Mewujudkan Alternatif Energi Terbarukan.** Politeknik Harapan Bersama , 2019
Https://Ejournal.Poltektegal.Ac.Id/Index.Php/Abdimas/Article/View/1424
Https://Ejournal.Poltektegal.Ac.Id/Index.Php/Abdimas/Article/View/1424/966
Briket, Kelapa Sawit, Energi Terbarukan
Full Text

085

Modjo, Suci. **Pln Vs Energi Terbarukan: Peraturan Menteri Esdm Terkait Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap.** Indonesian Center For Environmental Law , 2020
Https://Jhli.Icel.Or.Id/Index.Php/Jhli/Article/View/89
Https://Jhli.Icel.Or.Id/Index.Php/Jhli/Article/View/89/92
Pln, Esdm, Plts
Full Text

086

Parera, Lory Marcus, Pelamonia, Conny Emilda. **Potensi Energi Baru Terbarukan Untuk Pengembangan Pariwisata Di Kota Ambon.** Pusat Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3m) Politeknik Negeri Ambon , 2019
Http://Ejournal-Polnam.Ac.Id/Index.Php/Jurnalsimetrik/Article/View/311
Http://Ejournal-Polnam.Ac.Id/Index.Php/Jurnalsimetrik/Article/View/311/204
Spektrum Radiasi, Tenaga Surya, Fotovoltaik, Hemat Energi
Full Text

087

Prabintoro, Nugraho Sistu. **Potensi Energi Terbarukan Di Kabupaten Kediri Propinsi Jawa Timur.** Universitas Negeri Yogyakarta , 2017
Https://Journal.Uny.Ac.Id/Index.Php/Geomedia/Article/View/15412
Https://Journal.Uny.Ac.Id/Index.Php/Geomedia/Article/View/15412/9657
Jawa Timur, Kediri, Potensi, Energi Terbarukan.
Full Text

088

Fauzi, Fauzi. **Potensi Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan Di Wilayah Kalimantan Barat.** Faculty Of Engineering, Universitas Tanjungpura , 2017
Http://Jurnal.Untan.Ac.Id/Index.Php/Elkha/Article/View/24356
Http://Jurnal.Untan.Ac.Id/Index.Php/Elkha/Article/View/24356/75676575994

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Http://Jurnal.Untan.Ac.Id/Index.Php/Elkha/Article/Downloadsuppfile/24356/1776
Palm Oil, Biomass Waste, Energy, Environment
Full Text

089

Rizkasari, Defi, Wilopo, Wahyu, Ridwan, Mohammad Kholid. **Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Untuk Plts Di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral (Pup-Esdm) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.** Universitas Islam Indonesia , 2020. Magister Teknik Sistem
Https://Journal.Uii.Ac.Id/Jattec/Article/View/15110
Https://Journal.Uii.Ac.Id/Jattec/Article/View/15110/10289
Energi Terbarukan,Fotovoltaik, Helioscope, Produksi Energi
Full Text

090

Noviyanto, - **Produksi Gas Metana Dari Limbah Jerami Padi Dengan Inokulasi Mikroorganisme Rumen Sebagai Sumber 58 Energi Terbarukan.** Departement Of Chemical Engineering , 2015
Http://Eprints.Upnjatim.Ac.Id/6975/1/5._Peningkatan_Produksi_Gas_Metana_Dari_Limbah_Jerami_Padi_Dengan_Inokulasi_Mikroorganisme_Rumen_Sebagai_Sumber_Energi_Terbarukan.Pdf
Http://Eprints.Upnjatim.Ac.Id/6975/
Biogas, Fermentasi Anaerobik, Limbah Jerami Padi, Mikroorganisme Rumen
Full Text

091

Puspita Sari, Dian Dwi, Setiawan, Bakti. **Prospek Keberlanjutan Wisata Energi Terbarukan Di Pantai Baru, Kabupaten Bantul.** Puslitdimas Stp Trisakti , 2019
Http://Jurnalpariwisata.Stptrisakti.Ac.Id/Index.Php/Jip/Article/View/1241
Http://Jurnalpariwisata.Stptrisakti.Ac.Id/Index.Php/Jip/Article/View/1241/108
Supply-Demand, Sustainability
Full Text

092

Permana, Yogi, Soleh, Mohammad, Siswanto, Agus. **Prototype Sumber Energi Solar Cell Sebagai Penerangan Untuk Hama Ladang Bawang Daerah Pancalang Kuningan.** Universitas Widyagama Malang , 2018
Http://Publishing-Widyagama.Ac.Id/Ejournal-V2/Index.Php/Ciastech/Article/View/676
Http://Publishing-Widyagama.Ac.Id/Ejournal-V2/Index.Php/Ciastech/Article/View/676/627
Solar Cell, Hama, Penghematan Energi, Sumber Energi Baru, Terbarukan, Prototype
Full Text

093

Maulana, Iyus, Nurdiansyah, Agung, Asep Rustandi, Ujang , Nata, Yudi. **Rancang Bangun Dan Implementasi Kincir Angin Di Pantai Selatan Jampang Kulon.** Universitas Nusa Putra , 2016
Https://Rekayasa.Nusaputra.Ac.Id/Article/View/167
Https://Rekayasa.Nusaputra.Ac.Id/Article/View/167/180
Hawt, Kincir Angin, Energi Terbarukan, Turbin Angina
Full Text

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

094
Sukoco, Didik. **Rancang Bangun Sistem Pengendali Dan Monitoring Baterai Dengan Algoritma Numerik Untuk Sumber Energi Listrik Terbarukan.** Universitas Negeri Malang
Http://Journal.Um.Ac.Id/Index.Php/Teknik-Mesin/Article/View/3814
Http://Journal.Um.Ac.Id/Index.Php/Teknik-Mesin/Article/View/3814/2080
Model Batteray, Interpolasi Lagrange, Energi Terbarukan
Full Text

095
Kurniawan, Septian Ari, Taufik, Mohammad. **Rancang Bangun Solar Tracker Sumbu Tunggal Berbasis Motor Stepper Dan Real Time Clock.** Universitas Gunadarma , 2021
Https://Ejournal.Gunadarma.Ac.Id/Index.Php/Tekno/Article/View/3685
Https://Ejournal.Gunadarma.Ac.Id/Index.Php/Tekno/Article/View/3685/2205
Energi Terbarukan, Motor Stepper, Panel Surya, Solar Tracker
Full Text

096
Herliati, Herliati, Prasetyo, Septian Bagus, Verinaldy, Yogi. **Review: Potensi Limbah Plastik Dan Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dengan Proses Pirolisis.** Universitas Jayabaya , 2019
Http://Jurnalftijayabaya.Ac.Id/Index.Php/Jtek/Article/View/13
Http://Jurnalftijayabaya.Ac.Id/Index.Php/Jtek/Article/View/13/Pdf
Biomass, Fossil Fuels, Liquid Fuels, Plastics Waste, Pyrolysis
Full Text

097
Irman Hermadi, Mustakim, Agus Buono Dan. **Scoring Keputusan Penentuan Pusat Pengembang Energi Terbarukan Berdasarkan Cluster Wilayah Menggunakan Metode Sawp.** Jurnal Teknologi Industri Pertanian , 2016
Http://Journal.Ipb.Ac.Id/Index.Php/Jurnaltin/Article/View/11793
Http://Journal.Ipb.Ac.Id/Index.Php/Jurnaltin/Article/View/11793/9180
Analytical Hierarchy Process, Energi Terbarukan, K-Means Clustering, Simple Additive Weighting, Weighting Product
Full Text

098
Hendrayana, Hendrayana. **Simulasi Sistem Hibrid Pembangkit Energi Surya, Angin, Dan Generator Untuk Mengoptimalkan Pemanfaatan Daya Energi Terbarukan.** Pte Ftk Uin Ar-Raniry , 2017
Https://Jurnal.Ar-Raniry.Ac.Id/Index.Php/Circuit/Article/View/1381
Https://Jurnal.Ar-Raniry.Ac.Id/Index.Php/Circuit/Article/View/1381/1011
Hybrid, Energy Terbarukan, Generator
Full Text

099
Efendi. **Sistem Catu Daya Antarmuka Grid Berdasarkan Energi Baru Terbarukan.** Universitas Nusa Putra , 2021
Https://Fidelity.Nusaputra.Ac.Id/Article/View/88
Https://Fidelity.Nusaputra.Ac.Id/Article/View/88/48
Distributed Generation, Fuel Cell (Fc), Grid Interface, Power Conditioning Unit,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Power Quality, Pulse Width, Modulation (Pwm) Inverter, Stand-Alone System.
Full Text

100

Rusdi, Muhamad, Hariyanto, Hariyanto, Cipto, Cipto. **Sosialisasi Pemanfaatan Energi Terbarukan Dan Pelatihan Teknologi Tepat Guna Berbasis Solarcell Untuk Pelajar Smpit Ibnu Sina Merauke.** Cv Infinite Corporation , 2021
Https://Jpmi.Journals.Id/Index.Php/Jpmi/Article/View/20
Https://Jpmi.Journals.Id/Index.Php/Jpmi/Article/View/20/12
Energi Terbarukan, Konservasi Energi, Solar Cell, Teknologi Tepatguna
Full Text

101

Yadnya, Made Sutha, Zubaidah, Teti, Zainuddin, Abdullah, Kanata, Bulkis, Paniran, Paniran. **Sosialisasi Potensi Energi Terbarukan Angin (Bayu) Antara Universitas Mataram (Unram) Bekersama Dengan Uversitas Teknologi Sumbawa (Uts) Di Pulau Sumbawa.** Universitas Mataram , 2019
Http://Gemangabdi.Unram.Ac.Id/Index.Php/Gemangabdi/Article/View/13
Http://Gemangabdi.Unram.Ac.Id/Index.Php/Gemangabdi/Article/View/13/Pdf
Energi, Angin, Terbarukan
Full Text

102

Ruslan, Ruslan. **Status Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan Dan Opsi Nuklir Dalam Bauran Energi Nasional.** Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional , 2021
Http://Jurnal.Batan.Go.Id/Index.Php/Jpen/Article/View/6161
Http://Jurnal.Batan.Go.Id/Index.Php/Jpen/Article/View/6161/5529
Ebt, Ken, Nuklir, Gas Rumah Kaca
Full Text

103

Heyko, Eduardo. **Strategi Pengembangan Energi Terbarukan: Studi Pada Biodiesel, Bioethanol, Biomassa, Dan Biogas Di Indonesia.** Fakultas Ekonomi Dan Bisnis Universitas Brawijaya , 2013
Https://Jimfeb.Ub.Ac.Id/Index.Php/Jimfeb/Article/View/763
Https://Jimfeb.Ub.Ac.Id/Index.Php/Jimfeb/Article/View/763/700
Bioenergi, Energi Terbarukan, Strategi Pengembangan
Full Text

104

Caturwati, Angga. **Studi Awal Pengolahan Sampah Kota Sebagai Energi Baru Terbarukan Dengan Anaerobic Biodigester.** Faculty Of Engineering, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa , 2015
Https://Jurnal.Untirta.Ac.Id/Index.Php/Ju-Tek/Article/View/6649
Https://Jurnal.Untirta.Ac.Id/Index.Php/Ju-Tek/Article/View/6649/4610
Sampah, Biodigester, Startetr, Biogas
Full Text

105

Ariyanto, Eko. **Studi Biobriket Enceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan.** Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan , 2015
Http://Jurnal.Upnyk.Ac.Id/Index.Php/Kejuangan/Article/View/496
Http://Jurnal.Upnyk.Ac.Id/Index.Php/Kejuangan/Article/View/496/456

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Water Hyacinth, Bio-Briquette, Renewable Energy
Full text

106

Pramurti, Adeguna Ridlo. **Studi Desain Generator Magnet Permanen Fluks Radial Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Kecepatan Putaran Rendah.** Universitas Muhammadiyah Surabaya , 2020
Http://Journal.Um-Surabaya.Ac.Id/Index.Php/Cyclotron/Article/View/4302
Http://Journal.Um-Surabaya.Ac.Id/Index.Php/Cyclotron/Article/View/4302/2585
Daya Keluaran, Generator Magnet Permanen Fluks Radial, Pemasangan Lebar Gigi-Gigi Stator, Stator Ganda, Dan Tegangan Keluaran
Full Text

107

Tira, Hendry Sakke, Natsir, Abdul, Anwar, Muhamad Saiful. **Studi Eksperimental Pada Emulator Surya Berdasarkan Intensitas Matahari Terhadap Unjuk Kerja Sel Surya 10 Wp Tipe Polycristalline.** Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro , 2017
Https://Ejournal.Undip.Ac.Id/Index.Php/Rotasi/Article/View/16452
Https://Ejournal.Undip.Ac.Id/Index.Php/Rotasi/Article/View/16452/12004
Emulator Surya, Energi Terbarukan, Intensitas Matahari, Intensitas Lampu
Full Text

108

Ghufron, Muhammad, Istiroyah, Istiroyah, Perwita, Cholisina A., Gobay, Levinus, Ramadhan, Fakhrusy Rizki, Pranata, Kurriawan Budi. **Studi elajuan Elektrolit Terhadap Kapasitas Baterai Dinamis Asam Timbal Sel Tunggal.** Universitas Sebelas Maret , 2020
Https://Jurnal.Uns.Ac.Id/Prosidingsnfa/Article/View/148-156
Https://Jurnal.Uns.Ac.Id/Prosidingsnfa/Article/View/148-156/29281
Asam Timbal, Energi Terbarukan, Laju Elektrolit, Kapasitas, Batera
Full Text

109

Rahmat, Saepul, Purnata, Hendi, Abdi Musyafiq, Afrizal. **Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Cilaki Kapasitas 5000 Kw.** Universitas Negeri Malang , 2021
Http://Journal2.Um.Ac.Id/Index.Php/Tekno/Article/View/19827
Http://Journal2.Um.Ac.Id/Index.Php/Tekno/Article/View/19827/Pdf
Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro, Turbin Francis, Sungai Cilaki, Energi Terbarukan
Full Text

110

Arimbawa, Aries, Kumara, Satya; Udayana University, Hartati, Rukmi Sari. **Studi Pemanfaatan Catu Daya Hibrida Plts 3,7 Kwp Dan Pln Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Desa Pemecutan Kaja Denpasar Bali.** Universitas Udayana , 2016
Http://Ojs.Unud.Ac.Id/Index.Php/Jte/Article/View/Id20105
Energi Terbarukan, Plts, Pembangkit Listrik Hybrid, Pengolahan Limbah, Model Pengelolaan
Full Text

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

111
Putri, Renny Eka, Andasuryani, Andasuryani, Pratiwi, Intan. **Studi Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Sumber Biogas Di Nagari Aie Tajun Kecamatan Lubuk Alung Kabupaten Padang Pariaman.** Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas , 2019
Http://Jurnaldampak.Ft.Unand.Ac.Id/Index.Php/Dampak/Article/View/184
Http://Jurnaldampak.Ft.Unand.Ac.Id/Index.Php/Dampak/Article/View/184/97
Http://Jurnaldampak.Ft.Unand.Ac.Id/Index.Php/Dampak/Article/Downloadsuppfile/184/20
Biogas; Kotoran Sapi; Energi Terbarukan
112
Islamy, Zawahar, Sudrajad, Agung. **Studi Perencanaan Atap Panel Surya Di Hotel The Royale Krakatau Cilegon.** Jurnal Energi Dan Manufaktur , 2015
Http://Ojs.Unud.Ac.Id/Index.Php/Jem/Article/View/14207
Panel Surya, Energi Terbarukan
Full Text
113
Amin, Rafiqi Rajauddin, Sova, Rimbi Rodiyana, Laily, Dewinta Intan, Maharani, Dina Kartika. **Studi Potensi Limbah Tembakau Menjadi Bio-Oil Menggunakan Metode Fast-Pyrolysis Sebagai Energi Terbarukan.** Universitas Negeri Surabaya. Universitas Airlangga , 2020
Http://E-Journal.Unair.Ac.Id/Jkr/Article/View/22513
Http://E-Journal.Unair.Ac.Id/Jkr/Article/View/22513/13026
Limbah, Tembakau, Bio-Oil, Energi Terbarukan, Fast-Pyrolisis
Full Text
114
Hidayat, Rahmad. **Sumber Daya Wireless Untuk Menghasilkan Energi Listrik Terbarukan.** Universitas Mercu Buana , 2016
Http://Publikasi.Mercubuana.Ac.Id/Index.Php/Sinergi/Article/View/720
Http://Publikasi.Mercubuana.Ac.Id/Index.Php/Sinergi/Article/View/720/606
Daya, Energi, Gelombang Elektromagnetik, Frekuensi Radio, Wpt
Full Text
115
Mulyatun, Mulyatun. **Sumber Energi Terbarukan Dan Pupuk Organik Dari Limbah Kotoran Sapi.** Lp2m Of Institute For Research And Community Servises-State Islamic University (Uin) Wali , 2016
Http://Journal.Walisongo.Ac.Id/Index.Php/Dimas/Article/View/898
Http://Journal.Walisongo.Ac.Id/Index.Php/Dimas/Article/View/898/797
Limbah Kotoran Sapi, Biogas, Pupuk Organik
Full Text
116
Mustakim, Mustakim, Buono, Agus, Hermadi, Irman. **Support Vector Regression Untuk Prediksi Produktivitas Kelapa Sawit Di Provinsi Riau.** Computer Science Bogor Agricultural University. Fakultas Sains Dan Teknologi , 2015
Http://Ejournal.Uin-Suska.Ac.Id/Index.Php/Sitekin/Article/View/990
Http://Ejournal.Uin-Suska.Ac.Id/Index.Php/Sitekin/Article/View/990/1006

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Energi Terbarukan, Kelapa Sawit, Radial Basis Function, Support Vector Regression
Full Text

117

Kurniadi, Hanif, Yuliani, Arifah Dwi, Khairunnisa, Ismah Atikah, Putri, Syadza Siskayani, Wardoyo, Eko, Nugraheni, Imma Redha. **Survei Penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Di Tanah Laut Berdasarkan Citra Radar Banjarmasin.** Universitas Sebelas Maret , 2019
Https://Jurnal.Uns.Ac.Id/Prosidingsnfa/Article/View/35920
Https://Jurnal.Uns.Ac.Id/Prosidingsnfa/Article/View/35920/24951
Energi Terbarukan, Pltb, Radar Cuaca, Angin

118

Nunuk Febriananingsih. **Energi Terbarukan, Pltb, Radar Cuaca, Angin.** Badan Pembinaan Hukum Nasional Kementerian Hukum Dan Ham Ri , 2019
Http://Mhn.Bphn.Go.Id/Index.Php/Mhn/Article/View/31
Http://Mhn.Bphn.Go.Id/Index.Php/Mhn/Article/View/31/9
Ketenagalistrikan, Energi Baru Terbarukan, Ebt
Full Text

119

Winanda, Pasca Hariyadi; Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Sudarmanta, Bambang; Institut Teknologi Sepuluh Nopember. **Uji Unjuk Kerja Dan Durability 5000 Km Mobil Bensin 1497 Cc Berbahan Bakar Campuran Bensin-Bioetanol.** Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat (Lppm), Its , 2017
Http://Ejurnal.Its.Ac.Id/Index.Php/Teknik/Article/View/20737
Http://Ejurnal.Its.Ac.Id/Index.Php/Teknik/Article/View/20737/3442
Energi Terbarukan, Ethanol, Premium, Durability, Unjuk Kerja.
Full Text

120

Kiryanto, Kiryanto, Chrismianto, Deddy, Puskhah, Eny. **Upaya Pemanfaatan Sumberdaya Pedesaan Berbasis Pengembangan Kelompok Peternak Melalui Pengolahan Limbah Kotoran Menjadi Produk Energi Terbarukan Dan Produk Yang Bermanfaat Untuk Kesejahteraan Masyarakat Desa Branjang Kabupaten Semarang.** Universitas Pgri Semarang , 2018
Http://Journal.Upgris.Ac.Id/Index.Php/E-Dimas/Article/View/1810
Http://Journal.Upgris.Ac.Id/Index.Php/E-Dimas/Article/View/1810/2097
Branjang, Kotoran Sapi, Energi Terbarukan Biogas, Pupuk Kompos
Full Text

121

Purba, Noir Primadona. **Variabilitas Angin Dan Gelombang Laut Sebagai Energi Terbarukan Di Pantai Selatan Jawa Barat.** Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan , 2014
Http://Jurnal.Unpad.Ac.Id/Akuatika/Article/View/3699
Http://Jurnal.Unpad.Ac.Id/Akuatika/Article/View/3699/2422
Angin, Gelombang, Energi, Pantai Selatan Jawa Barat
Full Text

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

INDEKS JUDUL ARTIKEL JURNAL
SUMBER: INDONESIA ONE SEARCH (IOS)

A

Analisa Cfd Penggunaan Duct Pada Turbin Kombinasi Darrieus-Savonius, 001

Analisa Potensi Angin Dan Cahaya Matahari Sebagai Alternatif Sumber Tenaga Listrik Di Wilayah Laut Sawu, 002

Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Wind Turbine Untuk Konversi Energi Pada Kapal Ikan Yang Menggunakan Sistem Pendingin Refrigrated Sea Water, 003

Analisis Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Atap Skala Rumah Tangga, 004

Analisis Efisiensi Keluaran Energi Listrik Sistem Pembangkit Tenaga Pico Hydro Dengan Menggunakan Turbin Jenis Archimedes Screw, 005

Analisis Karakteristik Elektrik Limbah Kulit Singkong Berbentuk Pasta Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Terbarukan, 006

Analisis Open Government Pada Direktorat Jendereal Energi Baru, Terbarukan Dan Konservasi Energi, 008

Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Subtitusi Bbm, 009

Analisis Pengaruh Konsumsi Energi Terbarukan Dan Energi Tidak Terbarukan Terhadap Gdp Negara Anggota Oecd (Organitation For Economic Co-Operation And Development), 010

Analisis Potensi Elektrik Berbagai Elektrolit Alam Sebagai Sumber Energi Terbarukan, 011

Analisis Potensi Energi Sinar Matahari Dan Energi Angin Di Pusat Kota Semarang, 012

Analisis Produksi Energi Dari Inverter Pada Grid-Connected Plts 1 Mwp Di Desa Kayubihi Kabupaten Bangli, 013

Aplikasi Teknologi Tepat Guna Melalui Pemanfaatan Energi Terbarukan Untuk Penerangan Dan Pengembangan Wisata Watu Tekek Kulonprogo, 014

Audit Sistem Pencahayaan Dan Sistem Pendingin Ruangan Di Gedung Rumah Sakit Umum Daerah (Rsud) Cilegon, 015

B

Biobriket Enceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan, 016

Biogas Kombinasi Ampas Tebu-Kotoran Sapi Sebagai Upaya Konversi Energi Terbarukan, 017

Biokonversi Limbah Tongkol Jagung Menjadi Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan, 018

Biopellet Bambu Betung (Dendrocalamus Asper) Sebagai Sumber Energi Terbarukan, 019

C

Crowdfunding Sebagai Pemaknaan Energi Gotong Royong Terbarukan, 020

D

Desain Power Sistem Pv Pada Dc Microgrid Berdasarkan Kombinasi Supercapacitor Dan Battery, 021

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

E

Elektroda Cu-Zn, Fermentasi, Kulit Singkong, 007

Energi Terbarukan Dan Ekonomi Syariah: Sinergitas Mewujudkan Sustainable Development, 022

Energi Terbarukan Dan Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca Dari Palm Oil Mill Effluent, 023

Energi Terbarukan Dari Jerami Padi Review Potensi Dan Tantangan Bagi Indonesia, 024

Energi Terbarukan, Pltb, Radar Cuaca, Angin, 118

Evaluasi dan Usulan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Keberlangsungan Energi Nasional, 025

Evaluasi Kebijakan Pembangunan Desa melalui Energi Terbarukan (Studi Kasus Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Desa Rawasari, Jambi, 026

Evaluasi Peraturan Pembelian Energi Terbarukan Pada Desa Peternak Sapi Untuk Meningkatkan Keamanan Energi Di Ciater, Subang, 027

Evaluasi Produksi Listrik Sumber Energi Terbarukan Sel Elektrokimia Berbasis Mikroba Pada Volume Reaktor Yang Berbeda, 028

H

Hybrid Solar Lighting Sebagai Alternatif Teknologi Penerangan Alami Bangunan Untuk Efisiensi Energi Dan Pemanfaatan Energi Terbarukan, 029

I

Identifikasi Sumber Energi Terbarukan , 029

Implementasi Kebijakan Energi Baru Dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional, 030

Implementasi Rumah Listrik Berbasis Solar Cell, 031

J

Jaringan Mikro Arus Searah (Dc Microgrid) Sebagai Upaya Ketersediaan Energi Listrik Dalam Pengembangan Energi Terbarukan, 032

K

Kaji Eksperimental Mesin Stirling Tipe B Menggunakan Variasi Bahan Bakar Biomassa, 033

Kajian Peningkatan Potensi Ekspor Pelet Kayu Indonesia Sebagai Sumber Energi Biomassa Yang Terbarukan, 034

Konsep Integrasi Pembangkit Berbasis Energi Terbarukan Sebagai Sistem Mikrogrid Di Kabupaten Pesisir Selatan, 035

Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan, 036

Konversi Limbah Plastik Menjadi Minyak Sebagai Bahan Bakar Energi Baru Terbarukan, 037

Kulit Durian Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bio-Oil: Sumber Energi Terbarukan , 038

M

Masyarakat Dengan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Pada Tambak Udang, 062

Memahami Pembangunan Ekonomi Provinsi Nusa Tenggara Timur Berbasis Energi Baru Dan Terbarukan,

Menelisik Dampak Penggunaan Energi Terbarukan Pada Laporan Keuangan, 040

Mengembangkan Potensi Energi Terbarukan Di Jaringan Irigasi Dengan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh, 041
Mengukur Dan Merancang Model Ketahanan Energi Melalui Perubahan Perilaku Konsumen Energi Terbarukan, 042
Meningkatkan Keamanan Energi Melalui Perincian Indikator Energi Terbarukan Dan . Efisiensi Guna Membangun Ketahanan Nasional Dari Daerah, 043
Mikroalga: Sumber Energi Terbarukan Masa Depan, 044
Mikroalgae Sebagai Sumber Energi Terbarukan Yang Ramah Lingkungan, 045
Model Kebijakan Pengembangan Energi Baru Dan Terbarukan Di Provinsi Banten, 046
Multi Input Energi Terbarukan Pada Sistem Dc Bus Menggunakan Buck Boost Converter, 047

O

Optimalisasi Energi Terbarukan Pada Pembangkit Tenaga Listrik Dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi Di Margajaya, 048
Optimalisasi Limbah Serbuk Kayu Menjadi Bioetanol Sebagai Energi Alternatif Terbarukan Menggunakan Distilasi Gelombang Mikro, 049
Optimalisasi Ruang Terbuka Hijau Berupa Taman Energi Baru Terbarukan Sebagai Upaya Pemanfaatan Lahan Kosong Di Lingkungan Kampus (Studi Kasus Kampus Stt-Pln, Jakarta), 050
Optimasi Sistem Cerdas Pada Pengering Tanaman Obat Berbasis Internet Of Thing Dengan Memanfaatkan Sumber Energi Terbarukan, 051
Optimasi Sistem Turbin Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracking (Mppt) Dengan Metode Particle Swarm Optimization (Pso): (Studi Kasus Di Plth Bayu Baru, Bantul Yogyakarta), 052
Optimisasi Energi Terbarukan Pada Micro Grid Di Pulau Rakit Indramayu Menggunakan Homer, 053
Optimization Of Output Power Dual Axis Solar Tracker With Umbrella System, 054

P

Pelatihan Pembuatan Bahan Bakar Minyak Nyamplung (Calophyllum Inophyllum) Bagi Masyarakat Banyuwangi Jawa Timur, 055
Peluang Energi Terbarukan Di Industri Pemanfaatan Termal Surya Pada Proses Pengeringan Kayu, 056
Pemanfaatan Biomassa Kayu Sebagai Sumber Energi Terbarukan, 057
Pemanfaatan Energi Terbarukan Sebagai Sumber Energi Listrik Pada Desain Kapal Wisata Di Kepulauan Riau, 058
Pemanfaatan Energi Terbarukan Untuk Perancangan Sistem Rotary Dryer Pada Tahap Pengeringan Daun Teh Hijau Di Kulonprogo, 059
Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Energi Terbarukan Melalui Pembangunan Biodigester Komunal, 060
Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Laut Atau Angin Laut Dengan Pengendali Gravitasi Bumi, 061
Pembuatan Dan Pemasangan Lampu Tenaga Surya Di Desa Naluk Kecamatan Cimalaka Kabupaten Sumedang, 063
Penelitian Potensi Energi Arus Laut Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan Di

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Perairan Toyapakeh Nusa Penida Bali, 064
Penerapan Algoritma Smarter-Roc Untuk Scoring Wilayah Potensial Pengembangan Energi Terbarukan Dari Limbah Kelapa Sawit, 065
Penerapan Energi Terbarukan Untuk Proses Thermal Bagian I. Pengeringan Hasil Pertanian, 066
Penerapan Teknologi Tepat Guna Berbasis Energi Terbarukan Di Desa Kiama Kabupaten Kepulauan Talaud, 067
Pengaruh Jenis Bahan Pada Proses Pirolisis Sampah Organik Menjadi Bio-Oil Sebagai Sumber Energi Terbarukan, 068
Pengaruh Penambahan Minyak Kulit Pisang Terhadap Unjuk Kerja Mesin Diese, 069
Pengembangan Bahan Ajar Ipa Terpadu Bebasis Salingtemas Dengan Tema Biomassa Sumber Energi Alternatif Terbarukan, 070
Pengembangan Briket Bonggol Jagung Sebagai Sumber Energi Terbarukan, 071
Pengembangan Energi Terbarukan Melalui Evaluasi Program Konversi Minyak Tanah Ke Lpg Di Pulau Gili Raja-Sumenep (Developing Renewable Energy Through An Evaluation For A Program Of Kerosene Conversion To Lpg In Gili Raja , 072
Pengembangan Sumber Energi Terbarukan Secara Desentralisasi Untuk Mewujudkan Masyarakat Mandiri Energi, 073
Pengujian Sistem Konversi Energi Suara Menjadi Energi Listrik Menggunakan Piezoelektrik, 074
Penyimpanan Energi Listrik Dalam Bentuk Hidrogen Melalui Proses Hidrolisis Larutan Kalium Hidroksida, 075
Peran Sumber Energi Terbarukan Dalam Penyediaan Energi Listrik Dan Penurunan Emisi Co2 Di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, 076
Perancangan Alat Inducsion Heating Pada Pengolahan Teh Sangrai Dengan Teknologi Energi Terbarukan (Solar Cell, 077
Perancangan Konsep Alat Praktek Plts Skala Rumah Tangga Berbasis Pv Roof Top Installation, 078
Perancangan Perahu Nelayan Ramah Lingkungan Menggunakan Motor Listrik Bertenaga Surya, 079
Perancangan Thermoelectric Generator (Teg) Sebagai Sumber Energi Terbarukan, 080
Perbandingan Harga Energi Dari Sumber Energi Baru Terbarukan Dan Fosil, 081
Perubahan Kuantitas Dan Nilai Kalor Char Dengan Variasi Temperatur Pada Pirolisis Limbah Brem, 082
Perubahan Skema Kerja Sama Pemanfaatan Energi Baru Dan Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik Menggunakan Tenaga Air, 083
Pkm Pelatihan Pembuatan Briket Kulit Kelapa Sawit Dalam Mewujudkan Alternatif Energi Terbarukan, 084
Pln Vs Energi Terbarukan: Peraturan Menteri Esdm Terkait Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap, 085
Potensi Energi Baru Terbarukan Untuk Pengembangan Pariwisata Di Kota Ambon, 086
Potensi Energi Terbarukan Di Kabupaten Kediri Propinsi Jawa Timur, 087
Potensi Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Terbarukan Di Wilayah Kalimantan Barat, 088
Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Untuk Plts Di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral (Pup-Esdm) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, 089
Produksi Gas Metana Dari Limbah Jerami Padi Dengan Inokulasi Mikroorganisme Rumen Sebagai Sumber 58 Energi Terbarukan, 090
Prospek Keberlanjutan Wisata Energi Terbarukan Di Pantai Baru, Kabupaten Bantul, 091
Prototype Sumber Energi Solar Cell Sebagai Penerangan Untuk Hama Ladang Bawang Daerah Pancalang Kuningan, 092

R

Rancang Bangun Dan Implementasi Kincir Angin Di Pantai Selatan Jampang Kulon, 093
Rancang Bangun Sistem Pengendali Dan Monitoring Baterai Dengan Algoritma Numerik Untuk Sumber Energi Listrik Terbarukan, 094
Rancang Bangun Solar Tracker Sumbu Tunggal Berbasis Motor Stepper Dan Real Time Clock, 095
Review: Potensi Limbah Plastik Dan Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dengan Proses Pirolisis, 096

S

Scoring Keputusan Penentuan Pusat Pengembang Energi Terbarukan Berdasarkan Cluster Wilayah Menggunakan Metode Sawp, 097
Simulasi Sistem Hibrid Pembangkit Energi Surya, Angin, Dan Generator Untuk Mengoptimalkan Pemanfaatan Daya Energi Terbarukan, 098
Sistem Catu Daya Antarmuka Grid Berdasarkan Energi Baru Terbarukan, 099
Sosialisasi Pemanfaatan Energi Terbarukan Dan Pelatihan Teknologi Tepat Guna Berbasis Solarcell Untuk Pelajar Smpit Ibnu Sina Merauke, 100
Sosialisasi Potensi Energi Terbarukan Angin (Bayu) Antara Universitas Mataram (Unram) Bekersama Dengan Uversitas Teknologi Sumbawa (Uts) Di Pulau Sumbawa, 101
Status Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan Dan Opsi Nuklir Dalam Bauran Energi Nasional, 102
Strategi Pengembangan Energi Terbarukan: Studi Pada Biodiesel, Bioethanol, Biomassa, Dan Biogas Di Indonesia, 103
Studi Awal Pengolahan Sampah Kota Sebagai Energi Baru Terbarukan Dengan Anaerobic Biodigester, 104
Studi Biobriket Enceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan, 105
Studi Desain Generator Magnet Permanen Fluks Radial Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Kecepatan Putaran Rendah, 106
Studi Eksperimental Pada Emulator Surya Berdasarkan Intensitas Matahari Terhadap Unjuk Kerja Sel Surya 10 Wp Tipe Polycristalline, 107
Studi elajuan Elektrolit Terhadap Kapasitas Baterai Dinamis Asam Timbal Sel Tunggal, 108
Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Cilaki Kapasitas 5000 Kw, 109

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Studi Pemanfaatan Catu Daya Hibrida Plts 3,7 Kwp Dan Pln Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Desa Pemecutan Kaja Denpasar Bali, 110
Studi Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Sumber Biogas Di Nagari Aie Tajun Kecamatan Lubuk Alung Kabupaten Padang Pariaman, 111
Studi Perencanaan Atap Panel Surya Di Hotel The Royale Krakatau Cilegon, 112
Studi Potensi Limbah Tembakau Menjadi Bio-Oil Menggunakan Metode Fast-Pyrolysis Sebagai Energi Terbarukan, 113
Sumber Energi Terbarukan Dan Pupuk Organik Dari Limbah Kotoran Sapi, 115
Support Vector Regression Untuk Prediksi Produktivitas Kelapa Sawit Di Provinsi Riau, 116
Survei Penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Di Tanah Laut Berdasarkan Citra Radar Banjarmasin, 117

U

Uji Unjuk Kerja Dan Durability 5000 Km Mobil Bensin 1497 Cc Berbahan Bakar Campuran Bensin-Bioetanol, 119
Untuk Menghasilkan Energi Listrik Terbarukan, 114
Upaya Pemanfaatan Sumberdaya Pedesaan Berbasis Pengembangan Kelompok Peternak Melalui Pengolahan Limbah
Kotoran Menjadi Produk Energi Terbarukan Dan Produk Yang Bermanfaat Untuk Kesejahteraan Masyarakat Desa Branjang Kabupaten Semarang, 120

V

Variabilitas Angin Dan Gelombang Laut Sebagai Energi Terbarukan Di Pantai Selatan Jawa Barat, 121

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

INDEKS JUDUL ARTIKEL
KOLEKSI ERESOURCE PERPUSTAKAAN NASIONAL RI

A. JURNAL DALAM NEGERI

A

A Renewable Energy Joint Strategy For The Implementation Of Local Action Plans For Renewable Energy

Air Laut Melalui Proses Elektrolisis Sebagai Energi Terbarukan

Alokasi Optimal Dg Sumber Energi Terbarukan Menggunakan Algoritme Multi-Verse Optimizer

Alternatif Anoda Limbah Kulit Udang Dan Cangkang Telur

Analisis Dampak Sosial Ekonomi Budaya Kegiatan Eksplorasi Panasbumi Di Wkp Baturraden (Studi Kasus Di Desa Karangtengah, Kecamatan Cilongok, Kabupaten Banyumas

Analisis Kecepatan Angin Pesisir Pantai Monpera Sebagai Sumber Energi Terbarukan Kota Balikpapan

Analisis Kinerja Solar Cell Di Gedung Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia, Ketenagalistrikan, Energi Baru Dan Terbarukan Dan Konservasi Energi

Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Subtitusi Bbm

Analisis Performa Model Eco-Cooler Sebagai Alternatif Bukaan Alami

B

Biobriket Enceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan

Biodiesel Sebagai Sumber Energi Terbarukan: Proses Dan Teknologi Terkini

D

Dampak Ekspansi Biomassa Sebagai Energi Terbarukan: Kasus Energi Terbarukan Indonesia

Diseminasi Teknologi Energi Terbarukan Berbasis Sampah Sayuran Untuk Mendukung Desa Wisata Alam Desa Selo Boyolali

E

Efektivitas Pemanfaatan Energi Terbarukan Biogas Di Kabupaten Sumba Timur

Eksplorasi Potensi Nipah Untuk Restorasi Ekosistem Dan Mitigasi Perubahan Iklim, Penghidupan Masyarakat Berkelanjutan Dan Energi Terbarukan

Energi Terbarukan Dan Ekonomi Syariah: Sinergitas Mewujudkan Sustainable Development

Energi Terbarukan Dari Sampah Plastik Di Tpa Puuwatu Engan Memanfaatkan Teknologi Pirolisis Guna Mendukung Masyarakat Mandiri Energi Di Kota Kendari

H

Hambatan Penerapan Kebijakan Energi Terbarukan Di Indonesia

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

I

Impact Of The Renewable Energy Sources On The Energy Security
Implementasi Kebijakan Energi Baru Dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional
Implementasi Kebijakan Energi Baru Dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional
Implementasi Pompa Air Pada Tambak Udang Dengan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan

K

Kajian Kelayakan Penempatan Solar Pond Sebagai Sumber Energi Terbarukan Di Jeneponto
Kajian Sinergitas Agroindustri Kelapa Sawit Dan Usaha Mikro Kecil Untuk Memproduksi Energi Terbarukan
Keadilan Ekologis Dan Kebijakan Elektrifikasi Perdesaan Berbasis Energi Terbarukan Lepas Jaringan Di Jawa
Kelayakan Finansial Near Zero Energy Building Dengan Peraturan Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral No. 49 Tahun 2018 Mengenai Insentif Energi Terbarukan
Kinerja Pembangkit Biolistrik Salt Bridge Microbial Fuel Cell Variasi Rasio Karagenan- Karboksimetil Selulosa: The Performance Of Salt Bridge Microbial Fuel Cell Bioelectric Generator In Variated Carrageenan-Carboxymethyl Cellulose Ratio
Konsep Legislasi Hijau Regional (Regional Green Legislation): Mendukung Capaian Tpb 2030 Nomor 7 Tentang Energi

M

Manfaat Sosial Ekonomi Energi Terbarukan:Kasus Negara-Negara Asean
Menelisik Dampak Penggunaan Energi Terbarukan Pada Laporan Keuangan
Menggali Potensi Energi Listrik “Energi Baru Terbarukan” Bersumber Dari Produksi Kelapa Sawit Biomassa Di Aceh Tamiang
Mengukur Dan Merancang Model Ketahanan Energi Melalui Perubahan Perilaku Konsumen Energi Terbarukan
Meningkatkan Keamanan Energi Melalui Perincian Indikator Energi Terbarukan Dan Efisiensi Guna Membangun Ketahanan Nasional Dari Daerah
Metode Penelitian Untuk Energi Terbarukan
Mikroalga: Sumber Energi Terbarukan Masa Depan
Model Pemberdayaan Berbasis Pemanfaatan Sumberdaya Alam Berkelanjutan: Studi Pada Program Energi Terbarukan Di Kabupaten Jombang

O

Optimasi Sistem Cerdas Pada Pengering Tanaman Obat Berbasis Internet Of Thing Dengan Memanfaatkan Sumber Energi Terbarukan
Optimisasi Energi Terbarukan Pada Micro Grid Di Pulau Rakit Indramayu Menggunakan Homer

P

Peluang Energi Terbarukan Di Industri Pemanfaatan Termal Surya Pada Proses Pengeringan Kayu

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pemahaman Siswa Pada Pemanfaatkan Energi Terbarukan Sebagai Energi Alternatif Di Sman 4 Praya Lombok Tengah | Jurnal Pepadu

Pemanfaatan Dan Penelitian Energi Medan Magnet Bumi Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan Dengan Layang-Layang

Pemanfaatan Energi Terbarukan Dalam Upaya Swasembada Listrik Di Kawasan Wisata Edukasi Pedesaan

Pemanfaatan Energi Terbarukan Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Komunitas: Menuju Desa Mandiri Energi

Pemanfaatan Energi Terbarukan Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Komunitas: Menuju Desa Mandiri Energi

Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Energi Terbarukan Melalui Pembangunan Biodigester Komunal

Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu Didesa Ranjok Kecamatan Gunung Sari Kabupaten Lombok Barat Menjadi Biomass Pellet Sebagai Sumber Energi Terbarukan | Jurnal Pepadu

Pembuatan Mesin Pengering Kelapa Menggunakan Sumber Energi Terbarukan Untuk Meningkatkan Pendapatan Masyarakat Kecamatan Pondok Kelapa Kabupaten Bengkulu Tengah

Pendidikan Magister Energi Terbarukan Untuk Lintasan Karir Anda Di Era Milenial

Penerapan Teknologi Energi Terbarukan Melalui Model Science Techno Park Di Desa Kiama Kepulauan Talaud

Pengaruh Jenis Bahan Pada Proses Pirolisis Sampah Organik Menjadi Bio-Oil Sebagai Sumber Energi Terbarukan

Pengaruh Penerapan Model Pembelajaran Project Based Learning Terhadap Kreativitas Siswa Pada Materi Energi Terbarukan

Pengembangan Desa Mandiri Energi (Dme) . Berbasis Energi Terbarukan (Biogas) Di Desa Gunungsari Kota Batu

Pengembangan Potensi Energi Alternatif Dengan Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan Di Kabupaten Kotawaringin Timur

Pengembangan Teknik Kultivasi Spirulina Sp. Sebagai Sumber Biomassa Energi Terbarukan Dalam Fotobioreaktor Airlift

Pengembangan Teknologi Energi Terbarukan Terpadu Melalui Pemanfaatan Mikrohidro Dan Biogas Komunal Pada Kawasan Tertinggal Desa Gelang Kabupaten Jember

Pengolahan Sampah Organik Menjadi Biobriket Sebagai Energi Terbarukan

Pengujian Sistem Konversi Energi Suara Menjadi Energi Listrik Menggunakan Piezoelektrik

Peran Pemuda Dalam Pengembangan Eduwisata Energi Terbarukan Dan Implikasinya Terhadap Ketahanan Ekonomi Wilayah (Studi Di Desa Poncosari Kecamatan Srandakan Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta

Perancangan Thermoelectric Generator (Teg) Sebagai Sumber Energi Terbarukan

Pkm Pelatihan Pembuatan Briket Kulit Kelapa Sawit Dalam Mewujudkan Alternatif Energi Terbarukan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pln Vs Energi Terbarukan: Peraturan Menteri Esdm Terkait Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap
Potensi Penerapan Energi Terbarukan Sebagai Upaya Mewujudkan Kemandirian Desa: Studi Kasus Desa Lendang Nangka Lombok Timur
Potensi Sumber Energi Terbarukan Dari Biomassa Yang Berasal Dari Sumber Daya Alam Di Balikpapan
Produksi Bioetanol Sebagai Energi Terbarukan Dari Rumput Laut Ulva Reticulata Asal Pulau Timor
Prospek Utama Pengembangan Energi Terbarukan Di Negara-Negara Asean
Prototipe Sistem Monitoring Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro
Proyeksi Masa Depan Kendaraan Listrik Di Indonesia: Analisis Perspektif Regulasi Dan Pengendalian Dampak Perubahan Iklim Yang Berkelanjutan
Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan (Studi Wilayah Ambon Dan Sekitarnya

R

Rancang Bangun Alat Uji Biomassa Untuk Mengetahui Emisi Gas Buang Sebagai Sumber Energi Terbarukan
Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Untuk Penggerak Pompa Hidroponik
Rancang Bangun Penjejak Matahari 2 Sumbu Menggunakan Data Rtc (Real Time Clock) Untuk Panel Surya
Rancangan Alat Peraga Kapal Tenaga Surya Sebagai Media Konversi Energi
Review: Potensi Limbah Plastik Dan Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dengan Proses Pirolisis

S

Sistem Biogas Sebagai Energi Terbarukan Skala Rumah Tangga Dengan Memanfaatkan Limbah Kotoran Burung Puyuh
Sistem Kendali Distribusi Gas Buang Pada Waste Heat Recovery Power Generation Untuk Dikonversi Menjadi Energi Terbarukan Di Indarung V, Pt. Semen Padang, Indonesia
Sistem Kendali Distribusi Gas Buang Pada Waste Heat Recovery Power Generation Untuk Dikonversi Menjadi Energi Terbarukan Di
Sosialisasi Dan Instalasi Panel Surya Sebagai Energi Terbarukan Menuju Kesadaran Lingkungan Indonesia Bebas Emisi
Sosialisasi Pemanfaatan Energi Terbarukan Dan Pelatihan Teknologi Tepat Guna Berbasis Solarcell Untuk Pelajar Smpit Ibnu Sina Merauke
Studi Potensi Energi Terbarukan Di Kawasan Timur Indonesia Berbasis Analisis Retscreen International
Studi Potensi Energiangin Daerah Pantai Purworejo Untuk Mendorong Penyediaan Listrik Menggunakan Sumber Energi Terbarukan Yang Ramah Lingkungan ((The Study Of Wind Energy Potential At The Cost Area Of Purworejo District To Stimulate The Electricity
Studi Potensi Limbah Tembakau Menjadi Bio-Oil Menggunakan Metode Fast-Pyrolysis Sebagai Energi Terbarukan

T

Tata Kelola Energi Terbarukan Di Sektor Ketenaglistrikan Dalam Kerangka Pembangunan Hukum Nasional
Transisi Energi Terbarukan Di Indonesia: Dinamika Kendaraan Listrik Dengan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Pendekatan Self-Organization Di Kota Jakarta

U

Upaya Pemanfaatan Sumberdaya Pedesaan Berbasis Pengembangan Kelompok Peternak Melalui Pengolahan Limbah Kotoran Menjadi Produk Energi Terbarukan Dan Produk Yang Bermanfaat Untuk Kesejahteraan Masyarakat Desa Branjang Kabupaten Semarang
Upaya Pemanfaatan Sumberdaya Pedesaan Berbasis Pengembangan Kelompok Peternak Melalui Pengolahan Limbah Kotoran Menjadi Produk Energi Terbarukan Dan Produk Yang Bernanfaat Untuk Kesejahteraan Masyarakat Desa Branjang Kabupaten Semarang
Urgensi Pengaturan Pengembangan Energi Terbarukan Sebagai Wujud Mendukung Ketahanan Energi Nasional

W

World On The Road To 100% Renewable Energy

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

B. JURNAL LUAR NEGERI

A

A multi-integrated renewable energy system in a commercial building in Beijing: lessons learnt from an operating analysis

A Review on Green Cooling: Exploring the Benefits of Sustainable Energy-Powered District Cooling with Thermal Energy Storage

A Systematic Review of Carbon Capture, Utilization and Storage: Status, Progress and Challenges

An Artificial-Intelligence-Based Renewable Energy Prediction Program for Demand-Side Management in Smart Grids

An Incentives Planning Framework for Residential Energy Retrofits: A Life Cycle Thinking-Based Analysis under Uncertainty

Application research of compressed-air energy storage under high proportion of renewable energy

B

Bibliometric Analysis of the Use of Biodiesel Production from Essential Oils as Biofuels

C

Clean Energy Based Multigeneration System for Sustainable Cities: Thermodynamic, and Stability Analyses

Community-Focused Renewable Energy Transition with Virtual Power Plant in an Australian City—A Case Study

E

Economic, environmental and energy analysis of the utilization of renewable energy based on Analytic Hierarchy Process: a case study

Energetic, environmental and economic aspects of a hybrid renewable energy system: a case study

Enewable Energy Systems: Optimal Planning and Design

G

Green Conversion of Carbon Dioxide and Sustainable Fuel Synthesis

I

Is Feed-In-Tariff Policy Effective for Increasing Deployment of Renewable Energy in Indonesia

Isolation and Characterization of Lignocellulolytic Bacteria from Municipal Solid Waste Landfill for Identification of Potential Hydrolytic Enzyme

M

Medical and dental applications of renewable energy systems

O

Optimal integration of battery energy-storage system with high penetration of

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

renewable energy in radial distribution network

P

Portfolio optimization of power plants by using renewable energy in Iran

Potential for renewable energy–assisted harvesting of potatoes in Scotland

T

Tidal and Ocean Current Energy

W

Wind Energy and the Energy Transition: Challenges and Opportunities for Mexico

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

INDEKS JUDUL BERITA MEDIA MASSA ONLINE MENGENAI ENERGI TERBARUKAN

A

Alarm Krisis Iklim Makin Kencang, Transisi Energi Mendesak

Apa Saja Sumber Energi Terbarukan yang Ada di Indonesia

B

Bauran EBT

Biaya Pengembangan Energi Terbarukan Semakin

BRIN Kaji Kesiapan Energi Terbarukan dan Nuklir

Butuh Upaya Out of The Box Capai Target

C

Catatan Akhir Tahun: Melihat Capaian Energi Terbarukan 2022, Bagaimana Peluang Tahun Depan?

China akan Luncurkan Skema Percontohan Perdesaan untuk Energi Terbarukan

D

DEN sebut Papua memiliki potensi besar pengembangan energi terbarukan

E

Energi Terbarukan Sulit Kejar Peningkatan Energi Fosil

I

Ini Cara Dorong Bauran Energi Nasional Lewat Pembangunan PLTS

J

Jenis-Jenis Sumber Energi di Bumi, Terbarukan dan Tak Terbarukan

K

Kapasitas Produksi Energi pada Beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi di Indonesia

Komitmen Hijau, Entitas TBS Utama (TOBA) Teken Pengembangan Energi Terbarukan

L

Lewat Perpres, Daerah Diberi Kewenangan Kelola Energi Terbarukan

M

Miris! Punya Harta Karun Ini, Tapi RI Gak Punya Pabriknya. CNBC Indonesia

O

OPINI: Catatan Atas Rancangan Undang-undang Energi Baru dan Terbarukan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

P

Pengembangan Energi Terbarukan Diberi Insentif

Penyimpanan Energi, Kunci Menuju Integrasi Energi Terbarukan di Indonesia

Potensi Raksasa Industri Panel Surya

Produksi Energi Terbarukan di Seluruh Dunia Meningkat Signifikan

Ramai-Ramai Mencuil Peluang Bisnis di Energi Baru Terbarukan

Pemanfaatan Energi Surya di Indonesia Masih Sulit Berkembang

Pertamina Buka Kompetisi Program PFsains. SWA.Co.Id

PLTS Atap, Indonesia Perlu Belajar dari Pergulatan Vietnam

R

Rencana Pengembangan Pembangkit Nasional Beri Porsi EBT Lebih Besar

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

INDEKS PENGARANG ARTIKEL JURNAL
SUMBER: INDONESIA ONE SEARCH (IOS)

A

Abdi Musyafiq, 108
Abdul Rasyid, 061
Abdul, 106
Abdullah, 065
Abdullah, 100
Ade, 073
Adeguna Ridlo. 105
Adhe Yusphie Panca, 007
Adliani, 050
Adrianus. 038
Afrizal. 108
Agung, 014
Agung, 092
Agung. 111
Agus 053
Agus Buono, 096
Agus, 022
Agus, 052
Agus, 074
Agus, 115
Agus. 091
Ahmad Iqbal. 054
Ahmad Rahma, 024
Ahmad, 083
Ahmad. 063
Ai, 063
Akbar, 074
Aldi Budi, 015
Amalia, 011
Amelia, 068
Amheka, 038
Amin, 044
Amin, 112
Amir, 006
Anang, 060
Andasuryani, 110

Andasuryani, 110

Andi. 082
Andrianto, 054
Angga. 103
Anggono, 068
Anggoro, 027
Anggraeni Rr. E. W. 071
Anggraeni. 008
Anis Siti. 048
Annisa, 064
Anwar, 106
Aqbar, 020
Arbianti, 026
Arhamsyah, 056
Arhamsyah. 056
Ari Sita. 039
Ariastina, 011
Ariati, 042
Aries Jehan, 011
Aries, 109
Arif Febriansyah Juwito , 047
Arif, 006
Arif, 021
Arifah Dwi, 116
Arifan, 048
Arifin, 053
Arifin, Zaenal, 011
Arifina. 045
Arimbawa, 109
Ariyanto, 057
Ariyanto, 104
Ariyanto, Eko, Karim, 014
Arlitasari, 069
Armansyah H, 065
Arnoldi, Dwi, 032
Artiani, 049
Aryani, N P, 070
Asep Rustandi, 092

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Avicenna, Fitria. 041
Azhar, 029
Azmi, 048
Azwar, 020

B

Bakti. 090
Bambang, 118
Belly Yan. 078
Bentara, 003
Berlian Arswendo, 003
Bibie Albar. 051
Budi Triyono. 046
Budi, 046
Budi, 053
Budi, 073
Budianto, 074
Budiharti, 069
Budiyanto, 031
Budiyanto, 031
Bulkis, 100
Buono, 115

C

Caesaron, 023
Cahyono, 067
Candra Bagus, 005
Catharina Badra, 025
Caturwati, 103
Choirul. 053
Cholisina A., 107
Chrismianto, 119
Christia, 059
Christopel Hamonangan, 077
Christover, David, 007
Cipto, 099
Cipto. 099
Conny Emilda. 085

D

Danang, 057
Darsin, 054
Deddy Kurniawan, 048
Deddy, 119
Defi, 088
Dendy Adam. 029
Deni Fauzi, 045
Deni Nasir, 083
Deny Tomy, 054
Desi. 083
Dewantara, 078
Dewinta Intan, 112
Dian Dwi, 090
Dian Nuswantoro, 011
Dian Nuswantoro, 011
Dian. 059
Dicky. 032
Didik. 093
Dina Kartika. 112
Dinanti, 059
Dino. 023

E

Eddy, 073
Edi. 081
Edie, S S. 070
Eduardo. 102
Edwaren, 080
Efendi. 098
Effendy, 019
Eko, 116
Eko. 060
Eko. 104
Eny. 119
Erkata, 042
Evrita Lusiana, 012
Evrita Lusiana. 058
Evrita Lusiana. 076
Ezra, 068

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

F

Fahmi, 048
Faikul. 079
Fakhrusy Rizki, 107
Fakhruzy, 017
Farid, 081
Fauzi, 087
Fauzi. 087
Fawaid, 054
Fazli, 028
Febriani, 041
Febriasari, 045
Fenoria, 032
Firmansyah, 014
Fredy, 081

G

Gardina Aulin, 039
Ghufron, 107
Gian Villany, 005
Giri Amirul, 010
Gita Puspa, 049
Gobay, 107
Golwa, 005
Gultom, 043
Gupita, 048
Guruh Mehra, 026
Gurum Ahmad, 010

H

Hamdani, 004
Hamdani, 004
Hanif, 116
Hariyanto, 099
Hariyanto, 099
Harsono, 073
Harsono. 065
Hartati, Rukmi Sari. 109
Haryanto, 022
Hendi, 108
Hendrayana, 097
Hendrayana. 097
Hendri, 016
Hendry Sakke, 106
Herawati, Yani025
Heriansyah, I050
Herliati, 095
Herliati, 095
Hermadi, 115
Herman, 020
Hermawan, Rio, 002
Heyko, 102
Hidayat, Rahmad. 113
Husein, 051

I

I Gede Para, 077
I Nyoman Satya, 011
Ibrahim, 042
Ilhamsyah, 074
Ilminnafik, 054
Imam Rudi, 054
Imam, 009
Iman. 074
Imani, 052
Imma Redha. 116
Intan. 110
Irawati, 012
Irfan, 018
Irman Hermadi, 096
Irman. 115
Isa, 016
Ishak, 016
Iskandar, 020
Islamy, 111
Ismadji. 037
Ismah Atikah, 116
Istiroyah, 107
Istiroyah, 107

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Iwan, 074
Iyabu, 016
Iyus, 092

J

Jabar, 005
Jalaluddin, ., 061
Jalil, 061
Johan Aji, 009
Joko Prayitno. 021
Jonoadji, 068
Jusuf Luther, 077

K

Kamaruddin, 065
Kanata, 100
Kevin. 073
Khaerul, 020
Khairunnisa, 116
Kholiq, 009
Kiryanto, 119
Kiryanto, K003
Kiryanto, 119
Kumara, 011
Kumara, 109
Kurniadi, 116
Kurniawan, 082
Kurniawan, 094
Kurriawan Budi. 107
Kustanto, 054
Kusuma, 005

L

Laily, 112
Latifah, 012
Levinus, 107
Listyalina, 012
Liun, 080
Loren, 025
Lory Marcus, 085
Luluk, Novianti, 083
Luthfi, 035
Luthfiana, 048

M

M. Sigit. 067
Machmud, 019
Made Sutha, 100
Maharani, 112
Mahros, 054
Majedi, 081
Mappadang, 077
Mardiyah, 019
Maria Margareta Zau, 001
Ma'rifatullah, 024
Martaleo, 025
Masduki, 063
Masturi, M, 070
Maulana Abdul, 005
Maulana, 092
Maulana. 018
Mawardi055
Meidiana, 059
Meita, 066
Meity, 025
Melvin Emil. 068
Meylida Nurrachmania, 017
Modjo, 084
Mohammad Kholid. 088
Mohammad Saiful, 007
Mohammad, 091
Mohammad. 062
Mohammad. 094
Mubarok, 051
Muh. Nurkoyim, 054
Muhamad Saiful. 106
Muhamad, 029
Muhamad, 099
Muhammad Arief, 014

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Muhammad, 107
Mukminin, 010
Mulyana, 026
Mulyatun, 114
Mulyatun. 114
Munarwan, 081
Mustakim, 064
Mustakim, 096
Mustakim, 115
Mustakim, 064
Mustakim, 115

N

Nasrul, 054
Nastiti, 039
Nata, 092
Nathawibawa, A. A. 011
Natsir, 106
Nawa, 021
Nawangpalupi, 025
Ngurah Bagus Budi, 011
Ninuk, 068
Noir Primadona, 120
Noprita, 064
Norsujianto, 036
Novi, 012
Nufian S, 041
Nugraheni, 116
Nugraho Sistu. 086
Nuha, 039
Nunuk Febriananingsih. 117
Nur Hidayat, 060
Nur. 050
Nuralif. 019
Nurdiansyah, 092
Nurjannah, 048
Nurniswati, 015
Nurniswati, 015

O

Oktisya Devi, 048
Oni, 069

P

Paniran, 100
Paniran. 100
Parera, 085
Parinduri, 035
Parinduri, 035
Pasca Hariyadi, 118
Pauzi, 010
Pelamonia, 085
Perdanasari, 059
Permana, 091
Perwita, 107
Pinandita Rekyan, 048
Prabintoro, 086
Pramurti, 105
Pranata, 107
Pranatal, Erifive, Beu, 001
Prasetyo, 005
Prasetyo, 046
Prasetyo, 053
Prasetyo, 095
Pratama, 021
Pratiwi, 025
Pratiwi, 110
Puja, 069
Pujayanto, 069
Puji Herwina, 064
Purba, 120
Purnata, 108
Puskhah, 119
Puspita Sari, 090
Putri, 032
Putri, 116
Putri, Renny Eka, 110

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

R

Rafiqi Rajauddin, 112
Rahmat, 108
Rahmatul, 064
Rahmawati, 022
Ramadhan, 107
Ramdani, 045
Ratna, 042
Rauf, 034
Reba Anindyajati, 021
Reingga Surya, Adietya, 003
Renandy, 073
Rendy, 073
Respitawulan, 008
Riawati, Nian, Eksi, 071
Riki Firmandha. 042
Rilya. 066
Rimbi Rodiyana, 112
Rini. 069
Rita, 026
Riyanta, 015
Rizaldi Lukman, 052
Rizaldi, 064
Rizkasari, 088
Rizky Dwiki, 019
Rosnita, 034
Rozikin, 007
Rudy. 031
Rumbayan, 066
Rumbayan, 066
Rumokoy, 077
Rusdi, 099
Ruslan, 101
Ruslan. 101
Rustan, 061

S

Saepul, 108
Said Thaufik. 064
Said, 028
Santoso, 015
Santoso, 021
Sapto Wiratno. 057
Sarman Oktovianus, 043
Sarmidi. 044
Sasongko Pramonohadi. 047
Satoto, 057
Satriawan, 029
Satya, 109
Seprianto, 032
Septhian, 068
Septian Ari, 094
Septian Bagus, 095
Septian, 073
Septriani, Remita; 048
Setiabudy, 031
Setiawan, 003
Setiawan, 090
Setiyawan, 009
Setyo Pramudiyanto, 060
Setyowati, 083
Sherwin, 066
Sidabutar, 033
Silaban, 055
Simanjuntak, 068
Simanjuntak, 077
Siswanto, 052
Siswanto, 091
Siswoyo, 049
Siti, 022
Soepardjo, 065
Soleh, 091
Sompie, 066
Sova, 112
Sriyono D. 049
Stieven Netanel, 077
stiqphara, 050
Suardi, Suardi002
Suci. 084
Sudarmanta, 118
Sudrajad, 111

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Sugara, 054
Sugeng. 022
Sugeng. 052
Sugondo, 068
Suharyatun, 022
Suhendar 013
Suhendar, 013
Sukoco, 093
Sulkifli. 020
Sunardi, 080
Sunardi. 080
Suprijadi, 052
Supriyanto, 006
Surtono, 006
Suryadi, 037
Suryo. 027
Susanto, 021
Susanto, 081
Susanty, 030
Sutanto, 073
Sutanto, Tri, 006
Sutrisno, 068
Sutrisno, 068
Suwedi, 021
Suwignyo. 040
Swadexi, 050
Syadza Siskayani, 116

T

T. Haryono, 047
Tamamy, 011
Tambunan, 065
Tania Surya, 026
Taqwan, 030
Tarakka, 061
Taufik, 062
Taufik, 094
Taufik. 035
Tentra Sandika, 007
Teti, 100
Thamrin, 030
Tharo, 004
Tinton. 036
Tira, 106
Tony Indra, 005
Trian, 028
Trisunaryanti, 072
Triyono, 022
Triyono, 046
Triyono, 053

U

Udayana University, 109
Ujang , 092
Umam, 079
Utami, 026
Utari, 012
Utari, 058
Utari, 076

V

Verinaldy, 095
Victor Tulus Pangapoi. 033

W

Wahyu, Ridwan, 088
Wardhana, 024
Wardi. 061
Wardoyo, 116
Warsito. 010
Wayan Gede, 011
Wega. 072
Wening Hapsari. 024
Whiancaka, 051
Widyaningsih, 048
Wijanto, 073
Wikanta, 048
Willyanto, 068
Wilopo, 088

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Winanda, 118
Winda, 022
Wintazon, 060
Wira, 002
Wiwin, 030

Y

Yadnya, 100
Yandri, 042
Yogi, 091
Yogi. 095
Yudi. 092
Yuli, 046
Yuli, 053
Yuliani, 116
Yuningsih, 063

Z

Zainuddin, 100
Zawahar, 111
Zhuniart Ayu, 059
Zubaidah, 100
Zulhadi, 028
Zulyazis, 019
Zuraidah, 004

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

INDEKS PENGARANG ARTIKEL JURNAL
SUMBER: E-RESOURCES
PERPUSTAKAAN NASIONAL RI

A. JURNAL DALAM NEGERI

A

A. Cahyo Legowo; 023
Abd Kadir; 016
Abdul Ghofur; 023
Abdul Rasyid Jalil, 021
Ade Septian, 055
Adhe Yusphie Panca Tentra Sandika, 005
Agung Ari Wibowo, 010
Agung Firmansyah, 009
Agus Prasetya , 056
Agus Siswanto, 038
Albert Gunadhi; 041
Andre Eldrian; Irene; 025
Andrew F. Miyata, 041
Andrew Joewono; 041
Andrian Dwi Kurniawan, 065
Anizar Indriani, 045
Anna Nur Nazilah Chamim, 064
Annisa U Choirun, 051
Ansar Suyuti, Imran Amin, 076
Ardhana Yulisma, 063
Ardhana Yulisma; 028
Ari Sita Nastiti, 029
Arif Dwi Hartanto, 035
Ario Bintang Koesalamwardi; 025
Asrul Ibrahim Nur, 065
Awal Afrizal Zubir; T. M. Zulfikar; 011
Azwar Iskandar, 015

B

Beni Widiawan,
Boas Aritonang; 030
Budi Harsono, 055
Budi Prijo Sembodo, 040
Budiman Sudia; 016
Bustami Ibrahim, 026

C

Cecep Aminudin, 024
Cecep E. Rustana. 078
Christia Meidiana, 044
Cipto Cipto, 075

D

David Christover, 005
Deddy Chrismianto, 083
Deddy Chrismianto, Eny Puskhah, 082
Delik Hudalah, 081
Delvi Yanti, 067
Dendy Adam Satriawan, 019
Dendy Adam Satriawan, 020
Deni Nasir Ahmad, 058
Deni Septiadi, 066
Desi Novianti, 058
Desi Putri, 074
Dewinta Intan Laily, 079
Dharma Abiyyu Allam, 003.
Dhea Veranica Isabella; 027
Dian Dinanti, 044
Diana L. Antonia; 041
Dina Kartika Maharani, 079
Dion Bagus Ds, 069

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

E

Eddy Elfiano, 071
Eddy Wijanto, 055
Edhi Martono, 056
Eko Ariyantom Muhammad Arief Karim, 009
Eko Suyanto, 049
Eko Suyanto, 050
Elvira Sukma Wahyuni, 042
Elvira Sukma Wahyuni, 043
Elvyra Augutienė, 018
En Anugraini Dewi; 023
Endah Ayuningtyas, 053
Endah Lestari, 074
Eny Fuskhah, 083
Eri Gas Ekaputra, 067
Erkata Yandri, 032
Erwin Randjawali, 013

F

Faikul Umam, 057
Faisal Faisal, 084
Feri Kurniawan, 030
Fifin Hindarti, 053
Firdaus Firdaus, 002
Firmansyah Nur Budiman, 042
Firmansyah Nur Budiman, 043
Fitria Avicenna, 031
Francis Y. Rumlawang, 066

G

G. Casano, P. Piva, 001
G. M. Saragih, 054
Gardina Aulin Nuha, 029
Goro Sutarso Putra, 068

H

H. Hadiyanto, 052
Hairil Budiarto, 057
Hariyanto Hariyanto, 075
Hartono Pranjoto; 041
Haza Kurnia Dinantika, 049
Haza Kurnia Dinantika, 050
Hefri Yuliadi; 030
Hendra Hendra, 045
Heriansyah, 036
Heriansyah, 037
Herliati Herliati, 070
Hermawan Hermawan, 052
Hernadewita Hernadewita, 045
Hesty Heryani; 023
Husein Mubarok, 042
Husein Mubarok, 043

I

I. Dewa Putu Nyeneng, 049
I. Dewa Putu Nyeneng, 050
I. Putu Dody Lesmana,
Ihza Nursina Salam Aklan, 078
Ilma Fatimah Yusuf, 056
Imam Arif Rahardjo, 006
Imam, 007
Indar Chaerah Gunadin, 022
Iqbal Tri Junaidy, 067
Iriansyah Bm Sangadji, 074
Irma Wirantina Kustanrika, 074

J

Jalaluddin Haddada, 021
Jefry Presson, 062
Juozas Augutis, 018

K

Kadir Kadir; 016
Kelola Sendang Zsl, 014
Kevin Sutanto, 055
Khaerul Aqbar, 015
Kiryanto Kiryanto, 082
Kiryanto Kiryanto, 083
Kun Harismah, 012

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Kunnu Purwanto, 064
Kuswaji Dwi Priyono, 012

L

La Karimuna; 016
La Ode Magribi; 016
Lanny Agustine; 041
Lilis Nur, 003.
Linas Martišauskas, 018
Lucas Magalhaes, 035
Lukas Kano Mangalla; 016
Luluk Setyowati, 058
Lupita Sari, 027

M

M. Sigit Cahyono , 048
M. Souissa, 066
Marhadi Marhadi, 054
Mawardi Silaban, 039
Meita Rumbayan, 047
Mhd Fitra Zambak; 030
Mohammad Saiful Rozikin, 005
Mohd Shahbudin Masdar, 071
Muhamad Azhar, 019
Muhamad Azhar, 020
Muhamad Rusdi, 075
Muhammad Cendekia Fadhilah, 071
Muhammad Fadil Ramadhan, 004
Muhammad Jazuli, 010
Muhammad Nizar, 063
Muhammad Sofyan, 074
Muhammad Yakob, 069
Muhammad Zainal Ibad, 081
Mukhtar Effendi, 004
Muslihudin Muslihudin, 004

N

Nadjamuddin Harun, 076
Nasir Ibrahim; 011
Nasrul Harun, 072
Nasrul Harun, 073
Nasrul Nasrul, 016
Nelly Nelly; 011
Nia Febrianti, Firilia Filiana, 061
Nima Norouzi, Maryam Fani, V

Niniek Pratiwi, 008
Nufian S. Febriani, 031
Nunuk Febriananingsih, 080
Nur Adliani, 036
Nur Adliani, 037
Nur Azizah Lubis, 069
Nur Fadliah Baso, 022
Nursiah Chairunnisa, 023

O

Ontoseno Penangsang, 002

P

Peter R. Angka; 041
Pieldrie Nanlohy, 066
Pricilia Amfotis, 062
Primadina Hasanah, 061
Puspita Dirgahayani, 081
Putriansyah; Massus Subekti; 006

Q

Qomarun Qomarun, 012

R

Radhiana Radhiana; 011
Rafiqi Rajauddin Amin, 079
Rahmad Purnama; 030
Ramadoni Syahputra, 064
Ranti Hidayawanti, 074
Rasional Sitepu; 041
Ratna Ariati, 032
Rendy Renandy, 055
Revi Muhammad Fasha, 064
Ričardas Krikštolaitis, 018

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Ridway Balaka; 016
Riki Firmandha Ibrahim, 032
Rilya Rumbayan, 047
Rimbi Rodiyana Sova, 079
Riyanto Riyanto, 051
Rizaldi Lukman Imani, 038
Rony Seto Wibowo, 002
Rosa Tri Hertamawati,
Rr Mekar Ageng Kinasti, 074
Ruslan Wirosoedarmo, 051
Rusnam, 067
Rustan Tarakka, 021

S

S M Nur. 033
Sabtiyan Khasanudin, 040
Safrina Dyah Hardiningtyas, 026
Sahid Yudhakusuma Kalpikajati, 017
Salwa Nabilla Antiqasari, 081
Samsul Kamal, 077
Sandra Malin Sutan, 051
Sapto Hermawan, 017
Sarman Oktovianus Gultom , 034
Sefrinus Maria Dolfi Kolo, 062
Septian Bagus Prasetyo, 070
Setyawan Wahyu Pratomo, 042
Setyawan Wahyu Pratomo. 043
Shafwan Amrullah, 060
Sherwin Sompie, 047
Siti Miftachul Jannah, 003.
Sri Sutarni Arifin, 008
Sri Wahyuni, 057
Steffen, 026
Suci Modjo, 059
Sugeng Suprijadi, 038
Sulkifli Herman, 015
Swadexi Istiqphara, 036
Swadexi Istiqphara, 037
Syaifuddin Yana, 063
Syaifuddin Yana; 011
Syaifuddin Yana; 028
Syukri M. Nur, 046

T

T. M. Zulfikar, 028

U

Umar, 002

V

Valdi Rizki Yandri, 072
Valdi Rizki Yandri, 073

W

Wakhyu Dwiono, 068
Wardi, 021
Wellie Tjahyadi, 025
Widya A. Weliamto; 041

Y

Yenni Suhartini, 045
Yogi Verinaldy, 070
Yulia Defriati, 054
Yulian Mara Alkusma, 052
Yuliati Yuliati; 041
Yulisma, 011
Yuspian Gunawan; 016
Yusran Yusran, 022

Z

Zhuniart Ayu Perdanasari, 044
Zuhda Mila Fitriana; 027

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

B. JURNAL LUAR NEGERI

A
Ahmed Al-Nini, 002
Alfredo Peña, 021
Amal I. Hassan, 012
Amir Mahmood Soomro, 016
Andrea Noemí Hahmann, 021

B
Bin Feng, Bo Yu, 006

C
Channing Arndt, 013
Chengyang Liu, 009

D
Daniel Alejandro Pacheco-Rojas, 021
Daocheng Wang, 003
Denis A. Pustokhin, 004
Dewi Yuliani, 013
Douglas Arent, 013

E
Emad Mohammad, 008
Enbin Liu, 003
Ersin Akyuz, Zuhal Oktay, 011
Eva Segura, 020

F
Fahad Alqahtani, Mohammed Alkahtani, 008
Fatemeh Mohamadian, 015
Finn Tarp, 013

H
Hafsa Imra Sheikh, 016
Hamdan Haji Ya, 002
Hamza Aamir, 008
Hayder M. A. Ghanimi, 004
Hilmi Hussin 002
Hosam M. Saleh, 012
Hossein Bakhoda, 010
Husnul Azan Tajarudin, 014

I
Ibrahim Dincer, 011
Irina V. Pustokhina, 004

J
Jiatong Zhang, 009
Jiufa Chen, 001

K
Kaige Wang, 009
Kasun Hewage, 005
Khurram Kamal, 008
Krishnamoorthy, 004

L
Luis Salvador García-Hernández, 021

M
Mackay Miller, 013
Mahboob Alam, 014
Mahesh Kumar Rathi, 016
Majid Ameri. 017
Markus Sebastian Gross, 021
Masoom Raza Siddiqui, 014
Mehmet Ali Biberci, 007
Meshal Alharbi, 004
Moath Alatefi, 008
Mohammad Hossein Ahmadi, 015
Mohammad Hossein Ahmadi, 017
Mohd Rafatullah, 014
Morteza Almassi, 010

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

N
Najib Al-Mahbashi, 002
Nazila Akbarianrad, 015
Norli Ismail, 014

O
Ogechukwu Bose Chukwuma, 014
Owen Zinaman, 013

P
Parkavi, 004

R
Rafael Morales, 020
Rebecca Yang, 009
Rehan Sadiq, 005
Riti Thapar Kapoor, 014

R
Rory Dowell, 018

S
Salam Ollah Mohammadi-Aylar, 010
Seyed Mojtaba Mirlohi, 017
Seyedeh Asra Ahmadi, 017
Sudhakar Sengan, 004

T
Tahir Abdul Hussain Ratlamwala, 008
Tariq Muneer, 018
Tharindu Prabatha, 005

U
Umberto Berardi, 001
Uzair Bhatti, 008

V
Vanesa Magar, 021
Vidya Sagar Ponnam, 004
Vinothini Arumugham, 004

X
Xudong Lu, 003

Y
Yashar Haghighi Bardineh, 015
Yibo Chen, 001
Yosoon Choi, 019

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

INDEKS PENGARANG BERITA MEDIA MASSA ONLINE MENGENAI ENERGI TERBARUKAN

A
Affairs, In C., 001
AFP. (2023, Maret 22), 002
Antara News, 003
Antaranews.Com. (2023, Februari 25). 004

B
Bisnis.Com. 027
Bola.Com. (2023, Februari 16), 005
BRIN, 006

D
Data Point, 007
Data, G. 008
Developer, 009
Developer, Medcom Id. (2023b, Maret 23, 010

E
ESDM. Diambil 24 Maret 2023, 028

I
Indonesia.Go.Id, 011

J
Jakarta, K. (T.T.). 012
Jurnas.Com, 013

K
Kompas.Id. 023
Kompas.Id. 025

L
Liputan6.Com, 014
Liputan6.Com. (2023a, Maret 9), 015
Liputan6.Com. (2023b, Maret 23), 016

M
Medcom Id. (2023a, Maret 23), 009
Media, K. C. (2022, Juni 16), 017
Media, K. C. (2023, Maret 23), 018
Mediatama, G. (2023, Maret 19), 019
Muliawati, F. D. (T.T), 020

P
PERDANA, A. P. (2022, September 15). 021
PERDANA, A. P. (2023a, Februari 1). 022
PERDANA, A. P. (2023b, Februari 22). 024
PERDANA, A. P. (2023c, Maret 23). 026

S
Saturi, S. (2022, Desember 29), 029
Silawati. (2023, Maret 22), 03

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Paket informasi ini merupakan kumpulan artikel Jurnal mengenai Sumber Energi Terbarukan, yang bersumber dari:

1. Indonesia One Serach
2. E-Resources Perpustakaan Nasional RI
3. Media Massa Nasional Online

Pada paket ini terkumpul Artikel jurnal sebanyak 228 judul serta berita media massa online sebanyak 23 berita.

